


 **Centro Interdipartimentale di Ricerca in Cartografia, Fotogrammetria, Telerilevamento e SIT**

Università di Padova

C.I.R.GEO

Università degli Studi di Padova – Viale dell'Università n° 16
AGRIPOLIS – 35020 Legnaro (PD) – Italy
Tel. +39-049-8272688 Fax: +39-049-8272686
email: cirgeo@unipd.it
web: <http://www.cirgeo.unipd.it>

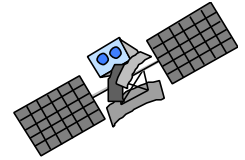
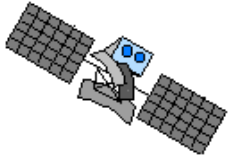
II GPS

INTRODUZIONE

AI SISTEMI DI POSIZIONAMENTO SATELLITARE



Copyright: CIRGEO - Centro Interdipartimentale di Ricerca di Cartografia,
Fotogrammetria, Telerilevamento e SIT - Università di Padova

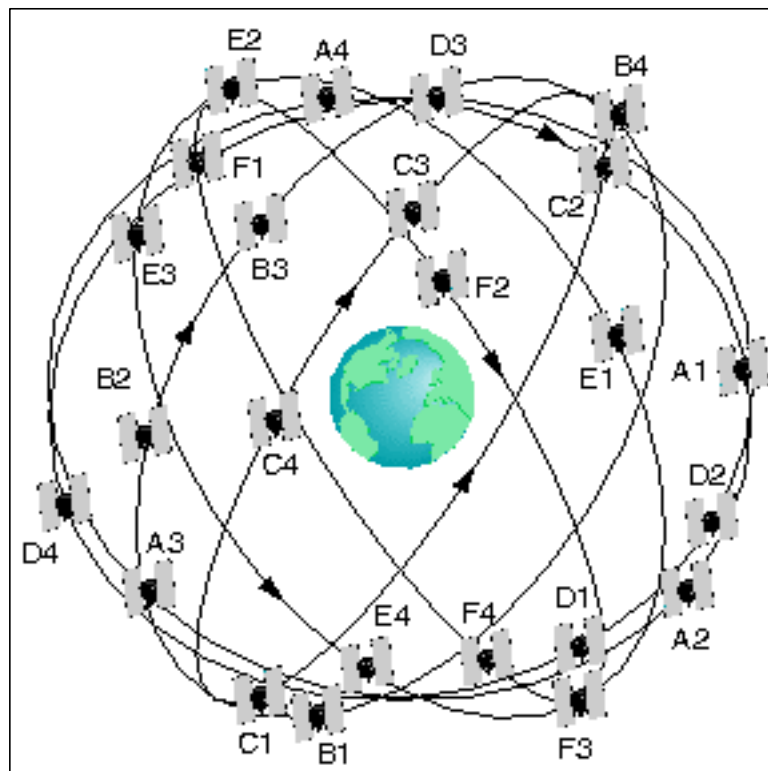


Il sistema satellitare GPS (Global Positioning System)



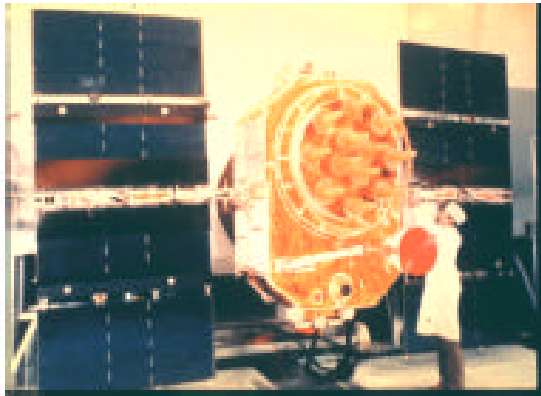
- NAVSTAR-GPS (*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*) è un sistema satellitare atto a fornire informazioni di tempo, distanza e posizione ovunque nel mondo, in ogni istante e con qualsiasi condizione climatica.
- Il sistema è stato sviluppato a partire dal 1973 dal Dipartimento della Difesa statunitense (DoD) ed il 17 Luglio 1995 è stato dichiarato completamente operativo.
- Creato inizialmente per scopi militari, grazie alla capacità di determinare con elevata precisione la posizione di oggetti fissi e mobili (aereo, auto, nave), il GPS è stato successivamente impiegato anche in campo civile, in particolare nei rilievi topografici e geodetici.
- Il sistema GPS è costituito da tre sezioni principali : *space segment* , *control segment* e *user segment*.

Segmento Spaziale

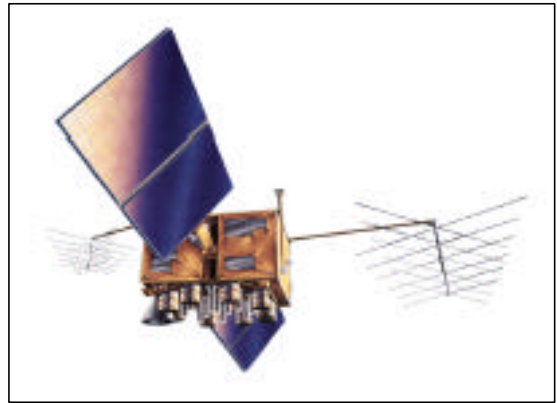


- 31 satelliti, di cui 28 costantemente operativi e 3 di riserva
- 6 piani orbitali
- 55 gradi di inclinazione rispetto all'equatore
- 4 satelliti per piano orbitale
- altezza da terra di 20200 km
- periodo di rivoluzione orbitale di circa 12 ore

Questa configurazione consente di disporre di almeno 4 satelliti in qualunque parte del globo 24 ore al giorno. A seconda dell'angolo di elevazione è peraltro possibile disporre di un maggior numero di satelliti: ad esempio con un angolo di 10° se ne possono osservare per brevi periodi fino a 10. Chiaramente quanti più satelliti si mantengono agganciati tanto più precise sono le misure.



Satellite della serie I



Satellite della serie IIR

La costellazione satellitare è in continua evoluzione a causa della mortalità dei SV (vita media stimata 7.5 anni) e del conseguente continuo invio di nuove unità.

Anche la tecnologia dei satelliti è in continua evoluzione, ci sono già state:

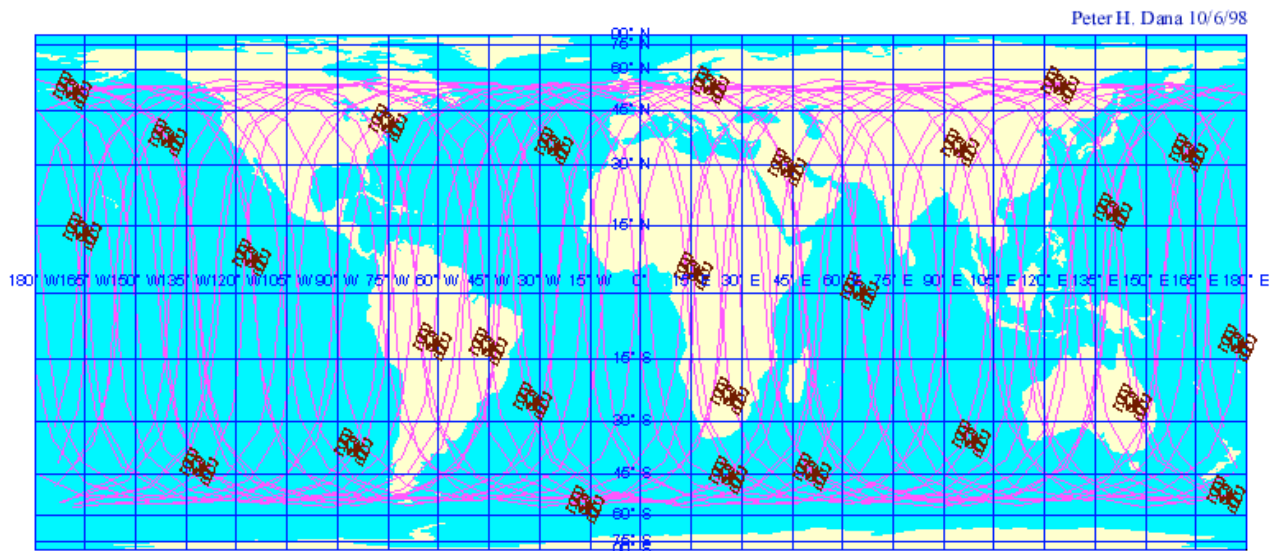
- la serie I, la serie II, la serie IIA (Advanced), la serie IIR (Replacement);
- la successiva serie IIF (Follow on) è ancora in via di completa definizione e gli esemplari di questo tipo saranno lanciati nei prossimi anni.

L'evoluzione tecnica dei veicoli spaziali va nel senso di una più lunga vita media, di una maggiore precisione degli orologi interni, di una maggiore autonomia operativa, cioè minor dipendenza dalle stazioni di terra per il controllo e il mantenimento della operatività.

In data 17.7.95 è stata dichiarata la FOC (*Full Operational Capability*) in quanto la costellazione dei 24 satelliti è stata pienamente testata e ha dimostrato di garantire le performance previste.

La costellazione dei satelliti varia spesso in quanto, in funzione dei tempi di vita stimati dei satelliti, vengono periodicamente lanciate nuove unità; i satelliti che, pur avendo superato la loro aspettativa di vita funzionano correttamente, vengono ovviamente mantenuti in servizio, e questo spiega come mai il numero dei satelliti disponibili sia spesso maggiore di 24.

La copertura satellitare GPS non è estesa a tutto il globo, bensì è limitata tra le latitudini di $\pm 60^\circ$. Ciò comporta delle notevoli difficoltà di ricezione man mano che ci si avvicina ai poli. Tale situazione sarà risolta con il nuovo sistema europeo **GALILEO**, in quanto i satelliti avranno un'orbita circumpolare.



Global Positioning System Satellites and Orbits
for 27 Operational Satellites on September 29, 1998

Satellite Positions at 00:00:00 9/29/98 with 24 hours (2 orbits) of Ground Tracks to 00:00:00 9/30/98

A titolo di curiosità si riporta la consistenza della costellazione riferita a momenti diversi degli ultimi anni.

- Ottobre 1999. Erano attivi 27 satelliti: 8 della serie II, 18 della serie IIA e uno della serie IIR.
- Dicembre 2000. Erano attivi 27 satelliti: 5 della serie II, 18 della serie IIA e 4 della serie IIR.
- Gennaio 2002. Sono attivi 28 satelliti: 4 della serie II, 18 della serie IIA e 6 della serie IIR.

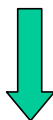
E' utile familiarizzarsi con alcuni ordini di grandezza riguardanti i satelliti. Assumeremo un'orbita circolare avente un'altezza rispetto alla terra di 20200 Km. Ricordando che il raggio della terra è di circa 6370 Km,

Le orbite dei satelliti GPS	
Altezza orbita satelliti	$h_S = 20200 \text{ Km}$
Raggio medio terrestre	$R_T = 6370 \text{ Km}$
Raggio orbita	$R_S = R_T + h_S = 26570 \text{ Km}$
Lunghezza orbita	$L_S = 2\pi R_S = 166944 \text{ Km}$
Periodo orbita	$T_S = 12 \text{ h} = 43200 \text{ sec}$
Velocità media satelliti	$v = L_S/T_S = 3864 \text{ m sec}^{-1}$ $= 13912 \text{ Km h}^{-1}$
Velocità luce nel vuoto	$c = 299792458 \text{ m sec}^{-1}$
Tempo di volo di un segnale	$t = h_S/c = 0.067 \text{ sec}$
Spostamento del satellite	$\Delta s = tv = 260 \text{ m}$

Principali ordini di grandezza delle orbite dei satelliti

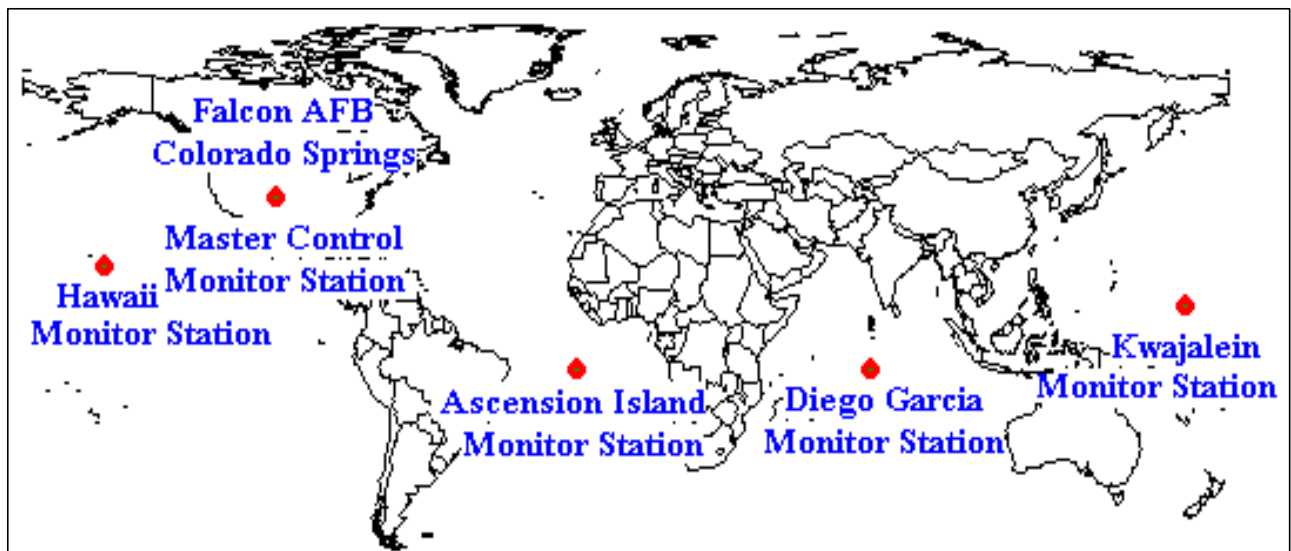
Osservazione:

I segnali emessi si muovono alla velocità della luce ($c=299792458 \text{ m/s}$) e impiegano 0.067 secondi a raggiungere la terra; nel frattempo il satellite che li ha emessi si sposta di 260 metri !



Nel trattamento dei dati GPS, dev'essere trattata con cautela persino l'idea che, al momento della trasmissione-ricezione, un satellite occupasse una certa posizione, in quanto, nel tempo in cui il segnale viaggia, il satellite si sposta in modo tutt'altro che trascurabile.

Segmento di Controllo



Il centro di controllo che presiede al governo del sistema (*Master Control Station*) è situato presso la Falcon Air Base a Colorado Springs, ed è gestito dallo USAF Space Command. Altre cinque stazioni di controllo (*Monitor Stations*) sono installate, rispettivamente, presso le isole Hawaii, la base di Diego Garcia, l'isola di Ascensione e l'atollo di Kwajalein .

Funzioni:

- controllare lo stato operativo della costellazione (*health status*)
- determinare la posizione dei satelliti nello spazio
- correggere le loro orbite grazie ad alcuni razzi direzionali pilotabili da terra
- correzione del tempo GPS e l'elaborazione dei modelli di propagazione ionosferica e troposferica
- l'aggiornamento dell'almanacco

Le stazioni secondarie controllano continuamente i satelliti in orbita inviando poi i dati alla MCS in Colorado che provvede ad elaborarli. I dati così processati vengono ritrasmessi alle stazioni secondarie e da queste ai satelliti, rendendoli disponibili agli utenti tramite le *Effemeridi*.

Segmento Utente

L'utenza del servizio GPS è costituita anzitutto da

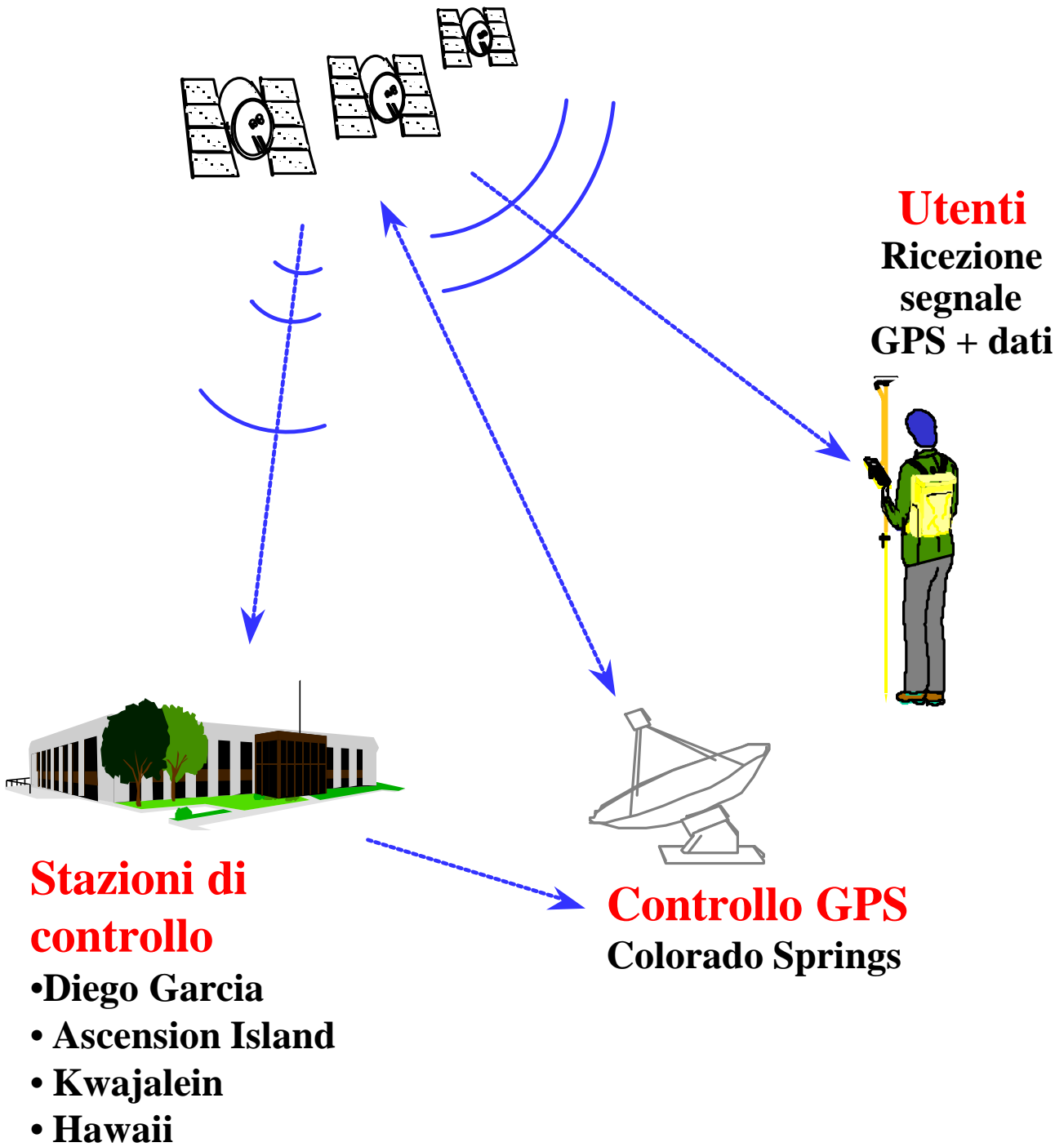
- **antenne**, capaci di captare i segnali inviati dai satelliti,
- **ricevitori** aventi lo scopo di analizzare i segnali, di effettuare calcoli e misure (di correlazione e sfasamento, per esempio) e di memorizzare dati;
- **software** e **computer** adeguati per elaborare i dati raccolti e pervenire alla determinazione delle coordinate dei punti incogniti.

In particolare, le funzioni principali svolte dal ricevitore GPS sono le seguenti :

- selezionare uno o più satelliti “visibili”
- acquisire i segnali GPS
- mantenere l’aggancio con i satelliti selezionati
- estrarre i dati di navigazione dal segnale
- fornire i valori calcolati di posizione e/o velocità



Interazione tra i tre segmenti del sistema GPS

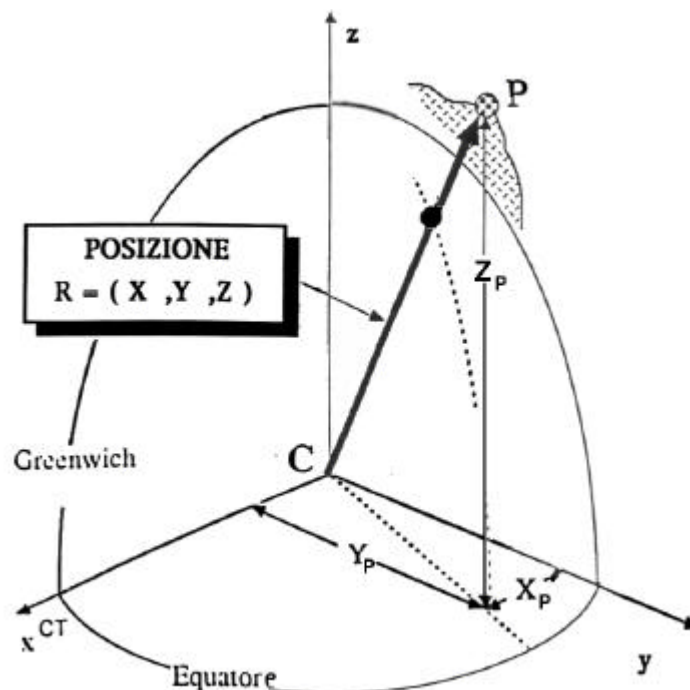


Il sistema di riferimento WGS-84

Le coordinate dei punti rilevati mediante GPS sono espresse in un sistema di riferimento denominato **WGS-84** (*World Geodetic System 1984*), sottoforma di

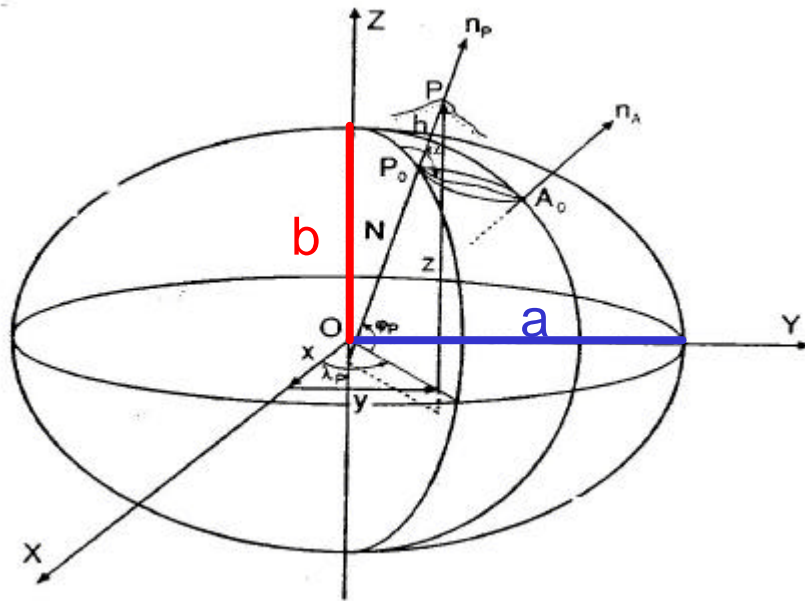
- coordinate cartesiane geocentriche (X, Y, Z)
- coordinate geografiche ellissoidiche (Latitudine, Longitudine, Quota ellissoidica)

Si tratta di un ellissoide geocentrico stimato attraverso le orbite dei satelliti della costellazione GPS stessa, avente l'origine delle coordinate coincidente con il centro di massa della terra e asse Z diretto verso il Polo Nord terrestre convenzionale medio alla data del 1984. L'asse X è dato dall'intersezione tra il piano passante per il meridiano zero (Greenwich) ed il piano equatoriale, mentre l'asse Y completa la terna di assi ortogonali destrorsi e giace 90° a est dell'asse X sul piano equatoriale.



I parametri caratteristici del WGS-84, che lo definiscono in forma e dimensione sono i seguenti:

- $a = 6378137,00$ m (Semiasse maggiore) $b = 6356752,31$ m (Semiasse minore)
- $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 0,00669438$ (Eccentricità)



La posizione di un punto P sulla superficie di un ellissoide può essere espressa secondo due differenti sistemi di coordinate:

- cartesiane ellissocentriche: X, Y, Z
- geografiche ellissoidiche: l, j, h

Alcune definizioni

- Meridiano ellissoidico: piano formato dall'asse polare e dalla normale all'ellissoide in un punto P.
- Latitudine ellissoidica (φ): angolo complementare dell'angolo formato dalla normale n all'ellissoide in un punto P e la direzione dell'asse polare.
- Longitudine ellissoidica (λ): angolo formato dal meridiano di riferimento e dal meridiano per P.

Il meridiano di riferimento è stato scelto in sede internazionale come quello passante per l'asse dell'osservatorio astronomico di Greenwich (Londra).

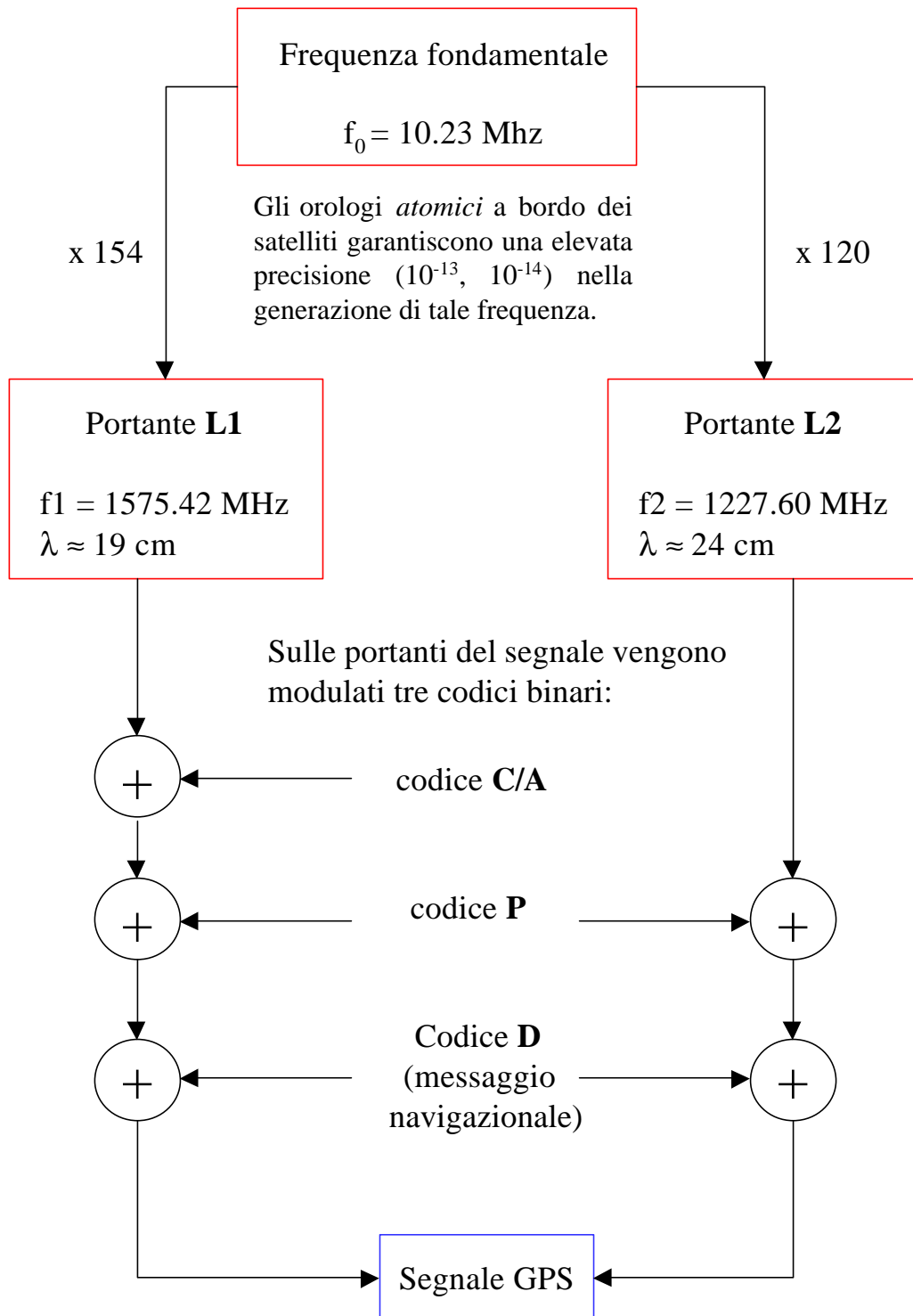
Passaggio da coordinate geografiche a coordinate cartesiane :

$$X = (N+h) \cos j \cos l$$

$$Y = (N+h) \cos j \sin l$$

$$Z = [N(1-e^2) + h] \sin j$$

Struttura del segnale GPS - 1



$$L1(t) = a_1 P(t) D(t) \cos(f_1 t) + a_1 C/A(t) D(t) \sin(f_1 t)$$

$$L2(t) = a_2 P(t) D(t) \cos(f_2 t)$$

Struttura del segnale GPS - 2

Codice C/A (*Coarse Acquisition Code*)



- Sequenza pseudocasuale generata a 1.023 Mbps, si tratta cioè di 1023 bits ripetuti ogni ms in modo da favorire un rapido aggancio sul ricevitore.
- *Code Length*, distanza coperta dal segnale nel tempo necessario per una ripetizione completa del codice: 300 km
- *Chip Length*, distanza coperta dal segnale nel tempo che intercorre fra la generazione di due chip (bits) del codice: 300m.
- E' trasmesso soltanto sulla portante L1.
- Ogni satellite ha un suo proprio codice C/A.

Il codice C/A appartiene alla famiglia dei *Gold Code*, codici pseudorandom. Poiché tali codici sono caratterizzati da una bassa cross-correlazione è facile e rapido per un ricevitore GPS confrontare i codici C/A ricevuti in un certo istante con quelli presenti in una libreria, di cui ogni ricevitore è dotato. In tal modo il ricevitore è in grado di riconoscere quale satellite gli ha inviato il segnale che sta ricevendo.

Codice P (*Precision Code*)



- Il codice P (Precision) è usato in modo analogo al codice C/A, ma ha caratteristiche differenti che permettono prestazioni migliori.
- Sequenza pseudocasuale generata a 10.23 Mbps.
- *Chip Length*: 30m.
- E' trasmesso su entrambe le portanti L1 e L2.

La frequenza di ripetizione dell'intero codice è di 37 settimane (267 giorni) e a ogni satellite viene assegnato un pezzo del codice avente una lunghezza di una settimana, dunque questo è il tempo di ripetizione della parte di codice assegnata a ogni satellite.

Di conseguenza tutti i satelliti possono trasmettere sulla stessa frequenza e ognuno di essi può essere identificato anche in base alla porzione di codice P che trasmette.

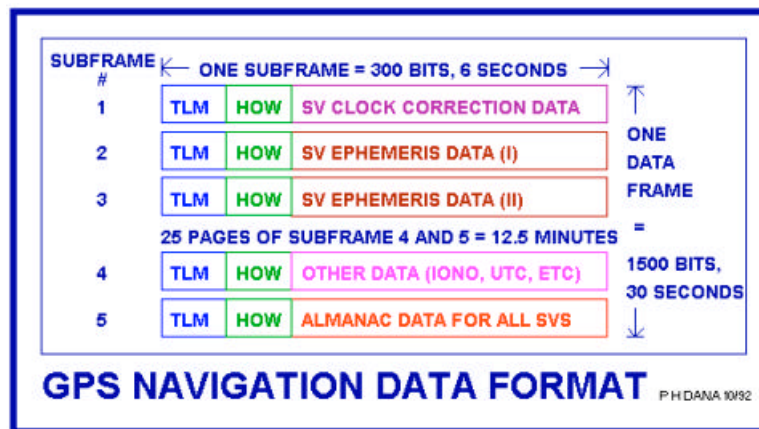
Il codice P è più preciso del C/A, per tale motivo è criptato e risulta generalmente inutilizzabile dagli utenti civili

Struttura del segnale GPS - 3

Il Messaggio navigazionale



- Ha lo scopo di fornire ai ricevitori una lunga serie di informazioni necessarie per portare a termine il posizionamento GPS.
- Il messaggio consiste di 25 frame, ognuno composto da 1500 bit, e trasmesso ad un bit-rate di 50 bps, inferiore quindi a quello del codice C/A.
- Ogni frame necessita di 30 secondi per la trasmissione, mentre il messaggio completo richiede 12 minuti e 30 secondi.



Il messaggio contiene moltissime informazioni, alcune delle quali riguardano tutta la costellazione, mentre altre sono relative al solo satellite emittitore.

- l'**almanacco** dei satelliti: contiene il codice PRN identificativo del satellite emittitore ed informazioni grossolane su tutte le orbite dei satelliti (precisione di alcuni km), rimane valido per alcuni mesi. Questi dati consentono all'utente di pianificare la sua sessione di osservazione, in quanto indicano per ogni giorno quali satelliti sono visibili e per quale arco di tempo nella stessa giornata.
- le **effemeridi trasmesse** (*broadcast*): informazioni necessarie a calcolare un breve tratto dell'orbita del satellite. Consentono di stimare la posizione del SV con una precisione di circa 30 m. Sono trasmesse ogni ora ai SV dalle stazioni a terra (MS) e possono essere utilizzate per circa quattro ore.
- informazioni sullo stato di salute di tutti i satelliti della costellazione.
- una stima degli errori degli orologi di bordo del satellite rispetto al tempo GPS.

Struttura del segnale GPS - 4

Osservazioni:

1) Non bisogna pensare che un ricevitore debba aspettare più di dodici minuti prima di iniziare a produrre. Infatti, ognuno di essi mantiene in memoria un almanacco (che aggiorna ogni volta che ne riceve uno completo più recente) che l'aiuta nella prima fase dopo l'accensione, cioè l'identificazione dei satelliti presenti:



avere a disposizione un almanacco piuttosto recente, e quindi affidabile, permette al ricevitore di non cercare a caso, ma di fare precise ipotesi su quali siano e dove siano i satelliti visti.

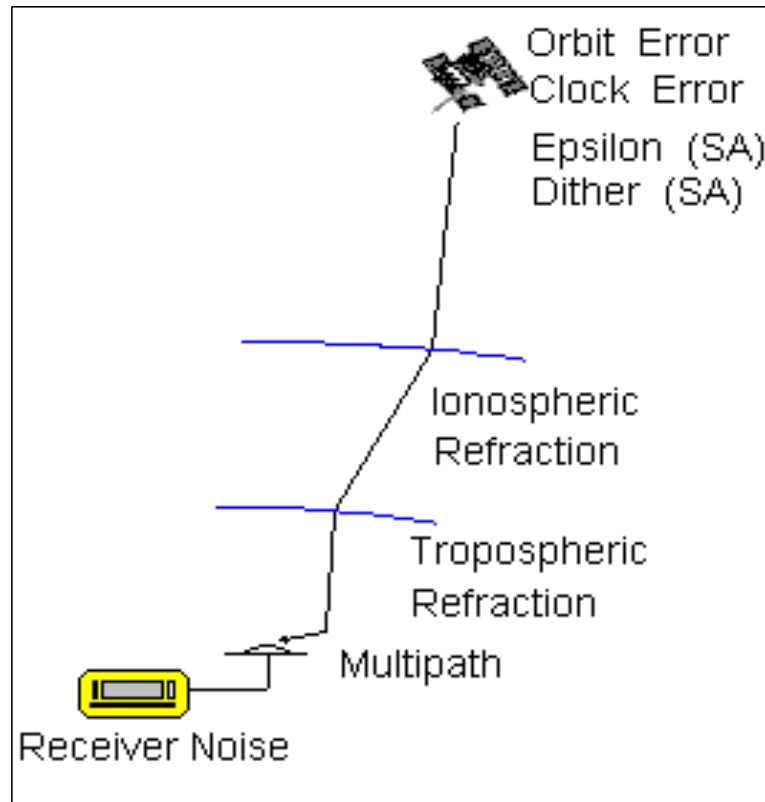
Inoltre le informazioni veramente essenziali per l'operatività, come le effemeridi e i dati sugli errori degli orologi, sono inseriti in ogni frame e vengono dunque ripetuti ogni 30 secondi.

2) Effemeridi **trasmesse** ed effemeridi **precise**:

le effemeridi trasmesse (broadcast) dal satellite al ricevitore sono quelle calcolate dal segmento di controllo a terra, sulla base delle orbite compiute dal medesimo satellite nei precedenti 8 giorni e corrette con i dati delle ultime 12/24 ore. Si tratta comunque di stime *a priori* delle orbite che dovrebbe tracciare il satellite nelle ore successive. Le effemeridi precise sono invece il risultato del calcolo a posteriori delle orbite effettivamente percorse dal satellite. Tali parametri consentono quindi una maggiore precisione nella determinazione della posizione del SV (5-6 m) e sono rese disponibili dal National Geodetic Survey (USA) il giorno successivo al rilievo.

3) **Tempo GPS**: è il risultato della composizione delle misure di tempo effettuate dagli orologi atomici a bordo dei satelliti e da quelli posti presso le stazioni di controllo a terra. Tale tempo è misurato in settimane e secondi a partire dalla mezzanotte del 5 Gennaio 1980 ed è mantenuto in fase con il tempo **UTC** (Coordinated Universal Time), noto anche col nome di **GMT** (Greenwich Mean Time) entro il microsecondo. Diversamente da questo, il tempo GPS è continuo, cioè non vengono inseriti dei secondi correttivi per mantenerlo in sincronia con la rotazione terrestre. Attualmente il tempo GPS è in anticipo rispetto all'UTC. Appositi parametri di correzione per ricavare l'UTC dal tempo GPS sono inseriti nel messaggio di navigazione.

Sorgenti di Errore



Errori nella posizione dei satelliti

Selective Availability (S/A)

Antispoofing

Effetti ionosferici

Effetti troposferici

Multipath

Errori del ricevitore

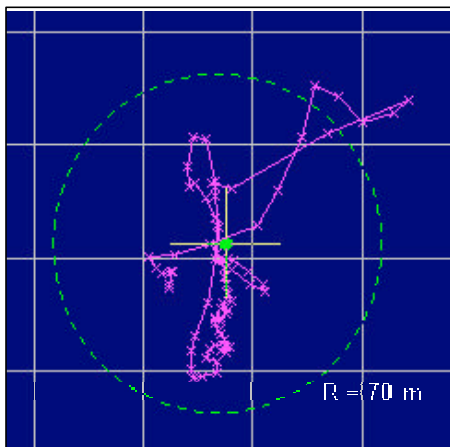
Degradazione della precisione

Selective Availability (S/A)

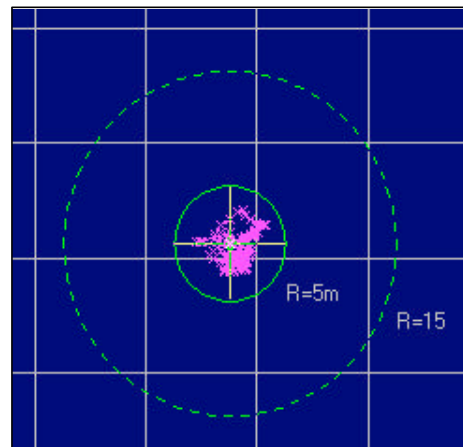
- Con tale termine si indica una degradazione del segnale GPS introdotta intenzionalmente dal DoD al fine di rendere più impreciso ad un eventuale nemico il sistema di posizionamento.
- Il disturbo si compone di due parti :
 - modifica continua della lunghezza d'onda della portante, l'effetto è il calcolo errato della distanza ricevitore-satellite tramite il codice C/A.
 - inserimento di errori nella descrizione dell'orbita trasmessa con le effemeridi, che produce un'errata valutazione della posizione del satellite stesso.
- Questa degradazione agisce sui ricevitori in grado di elaborare il solo codice C/A ed è quantitativamente diversa da satellite a satellite.
- In presenza di S/A l'errore totale di posizione può arrivare fino a circa **100 m** con un singolo ricevitore (*standalone*).

Osservazione:

Per rendersi conto se la S/A è attiva basta tenere il ricevitore in posizione fissa per un certo tempo controllando se le coordinate lette sul display cambiano notevolmente o meno. In particolare poiché alle nostre latitudini ($40^\circ - 46^\circ$) la variazione di $1''$ (in lat. e long.) corrisponde ad uno spostamento di ca. 30m, è sufficiente vedere se le coordinate geografiche variano nei primi o nei secondi.



SA attivata



SA disattivata

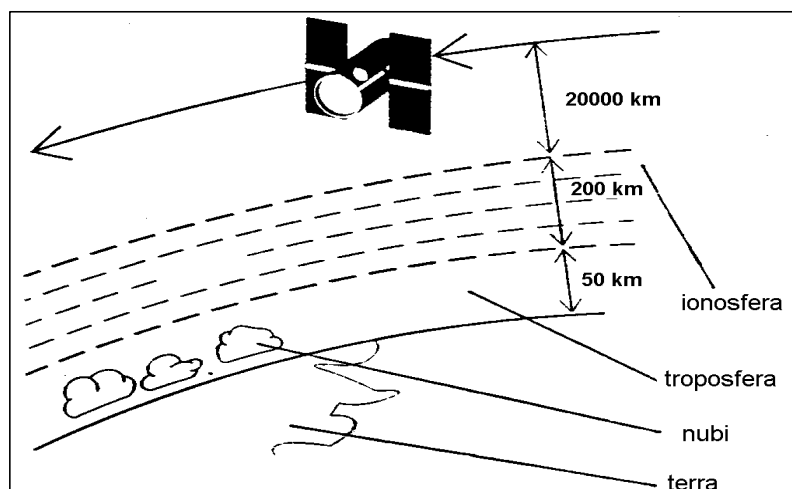
Antispoofing (AS)

- Costituisce un'ulteriore limitazione alla precisione del sistema imposta dai militari USA .
- Consiste nella sostituzione del codice P con un codice criptato (Y code) non utilizzabile dagli utenti civili. Questa cifratura viene utilizzata in situazioni di emergenza per evitare che repliche del codice P, create dal nemico, possano alterare la precisione dei dispositivi militari di navigazione.
- Attualmente tramite sofisticate procedure di *cross-correlazione* è possibile utilizzare anche questo codice per il posizionamento ad usi civili.

Errori delle orbite

- L'orbita dei satelliti è matematicamente definita, di conseguenza la posizione di ciascun satellite lungo la rispettiva orbita può essere calcolata istante per istante. Ciononostante, il movimento dei satelliti può subire delle variazioni dovute a molteplici cause, quali ad es. le asimmetrie del campo gravitazionale terrestre, attrazione di corpi celesti, pressione solare, ecc. Tali variazioni si traducono quindi in un errore nella posizione del satellite, rispetto all'orbita prevista. Poiché tale informazione è inviata ai ricevitori a terra ne deriva un errore nella misura della distanza satellite-ricevitore. E' comunque possibile acquisire i dati relativi alle orbite effettivamente percorse tramite le **effemeridi precise** fornite, *a posteriori*, dalle rilevazioni eseguite dalle stazioni di controllo a terra.
- Un'ulteriore fonte di errore è data dallo sfasamento degli orologi di bordo rispetto al tempo GPS (stabilità di 10^{-9} sec), che si traduce in un ulteriore errore nella misura della distanza tra ricevitore e satellite .

Influenza dell'atmosfera



Effetti ionosferici:

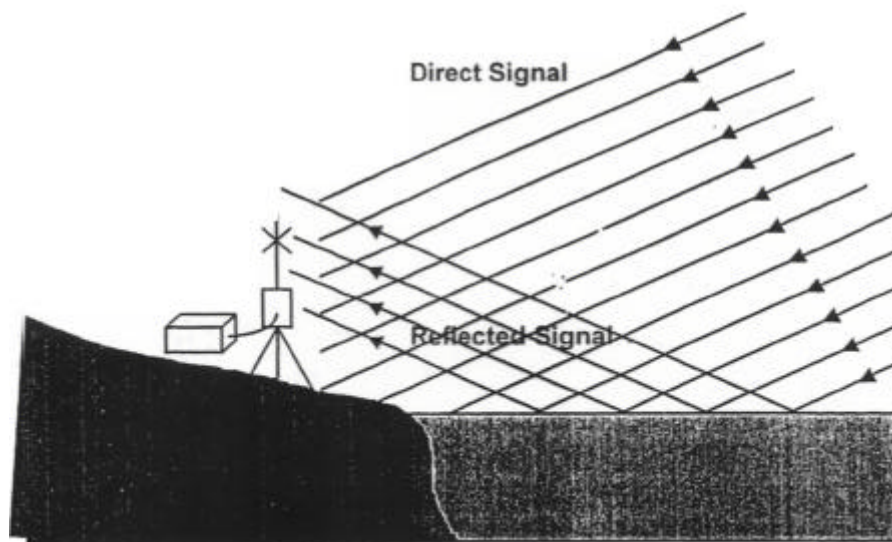
- In assenza di S/A la ionosfera costituisce una delle principali fonti di errore nel calcolo della distanza dai satelliti.
- Tale regione dell'atmosfera si estende tra 70 e 1000 Km dalla terra
- Induce un **ritardo** nella propagazione del segnale GPS trasmesso dal SV, dando luogo alla valutazione di una distanza maggiore di quella reale.
- Il ritardo introdotto dipende dalla frequenza e può essere ridotto in due modi: utilizzando entrambe le portanti L1 ed L2, di qui l'uso di Rx a doppia frequenza, oppure mediante appositi modelli matematici (*modelli ionosferici*) disponibili tramite il messaggio di navigazione. Tale strategia viene impiegata soprattutto quando si dispone solo di Rx monofrequenza.

Effetti troposferici:

- La troposfera si estende fino a 100 Km dalla superficie terrestre e **ritarda** anch'essa la propagazione del segnale GPS.
- Il ritardo non dipende dalla frequenza bensì dalle variazioni di pressione, temperatura ed umidità.
- Gli errori introdotti sono dell'ordine del metro e possono essere corretti utilizzando algoritmi basati sull'angolo di elevazione del SV sull'orizzonte (*modelli troposferici*).

Multipath

- Il segnale GPS giunge all'antenna del ricevitore seguendo vari percorsi, lungo alcuni dei quali può subire molteplici riflessioni per effetto delle superfici circostanti (ad es. edifici, alberi, ecc.).
- La parte del segnale riflessa arriva in ritardo rispetto a quella diretta falsando così la distanza dal satellite.
- *Influenza maggiormente le misure di codice e meno quelle di fase.*



Errori del ricevitore

Sono riconducibili allo sfasamento dell'orologio interno rispetto al tempo GPS, al tipo di antenna utilizzata ed al rumore di fondo dei dispositivi elettronici impiegati.



Dilution of Precision (DOP)

- Anche la **configurazione geometrica** assunta dai satelliti rispetto al ricevitore influenza la precisione delle misure.
- In modo grossolano si può dire che quanto più i satelliti agganciati dal ricevitore sono vicini tra loro, tanto maggiore è l'area di intersezione dei cerchi che individuano le possibili posizioni dello stesso e, di conseguenza, maggiore è l'errore di posizionamento. Se invece i satelliti sono più equispaziati l'errore è minore.
- L'entità della degradazione è espressa tramite un fattore adimensionale noto come **DOP** (*Dilution of Precision*).

Alcuni parametri per esprimere il DOP

HDOP (Horizontal DOP): esprime la qualità della precisione nella componente planimetrica .

VDOP (Vertical DOP): si riferisce invece alla componente altimetrica che è maggiore della precedente, poiché i satelliti sono sempre situati nella porzione di spazio sopra l'orizzonte .

TDOP (Time DOP): precisione raggiunta nella sincronizzazione degli orologi dei satelliti e del ricevitore.

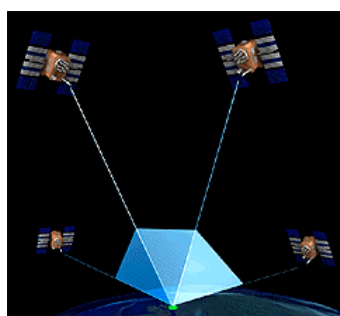
PDOP (Position DOP): combina insieme in un unico termine la precisione planimetrica e quella altimetrica .

$$(PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2)$$

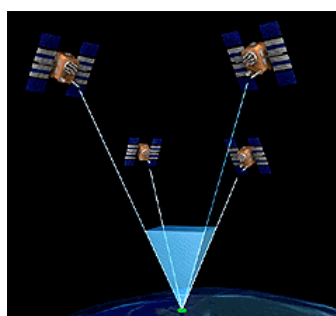
GDOP (Geometric DOP): rappresenta la qualità della geometria satellitare nelle 4 dimensioni (X, Y, Z, T) .

$$(GDOP^2 = PDOP^2 + TDOP^2)$$

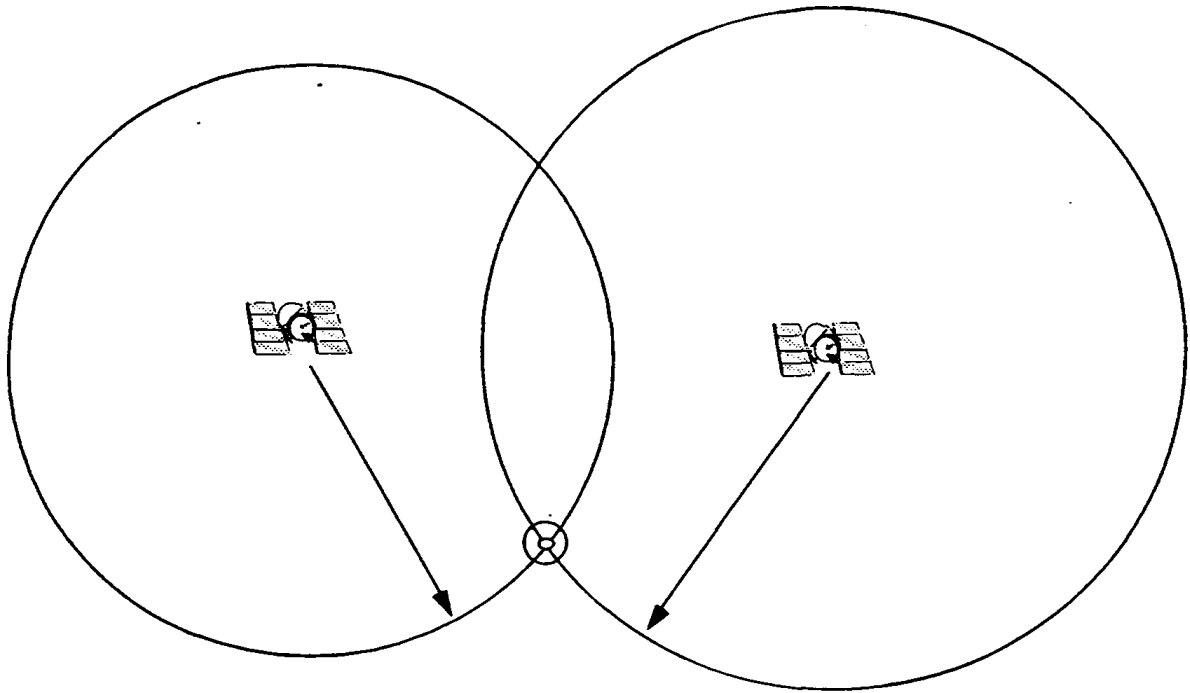
PDOP
scarso



PDOP
buono

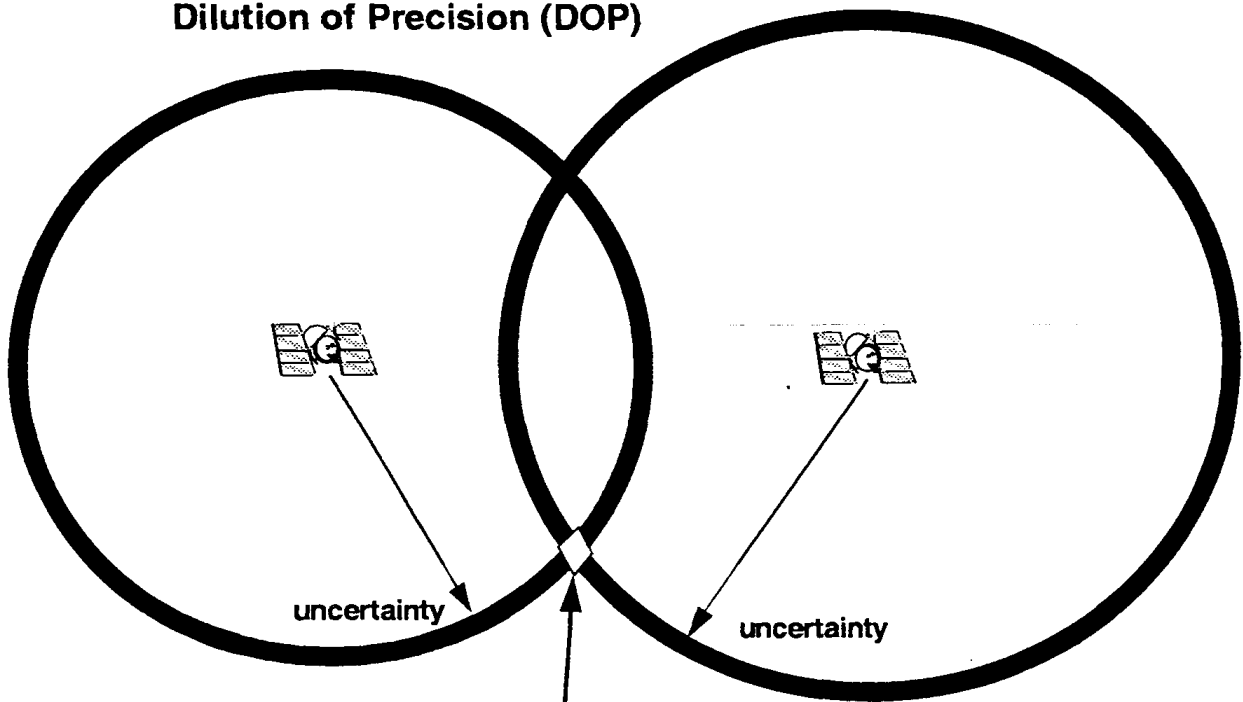


Dilution of Precision (DOP)



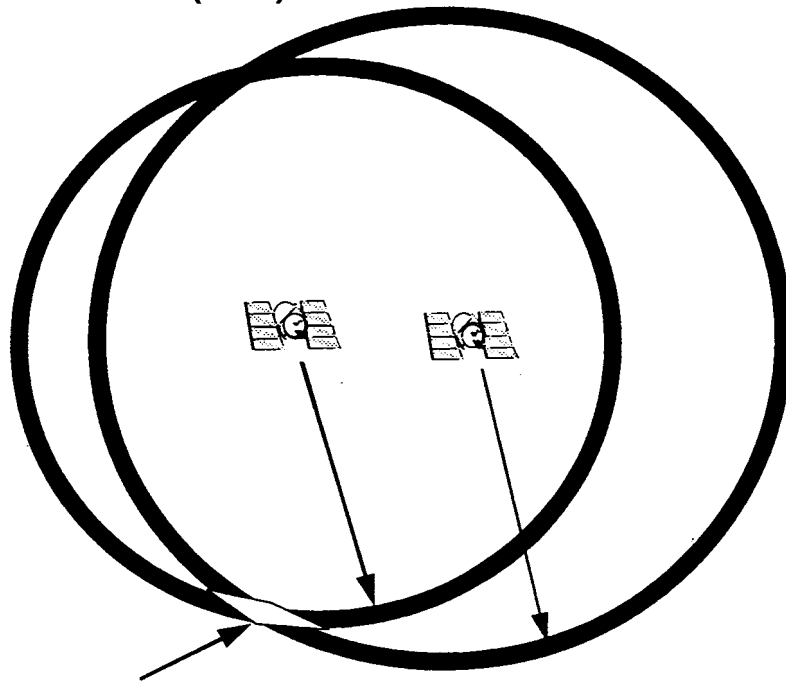
Ideally the position is a point where the two satellite ranges intersect

Dilution of Precision (DOP)



In reality the position is located in an area of uncertainty because of satellite range errors

Dilution of Precision (DOP)



The area representing position uncertainty becomes larger if the satellites are closer together

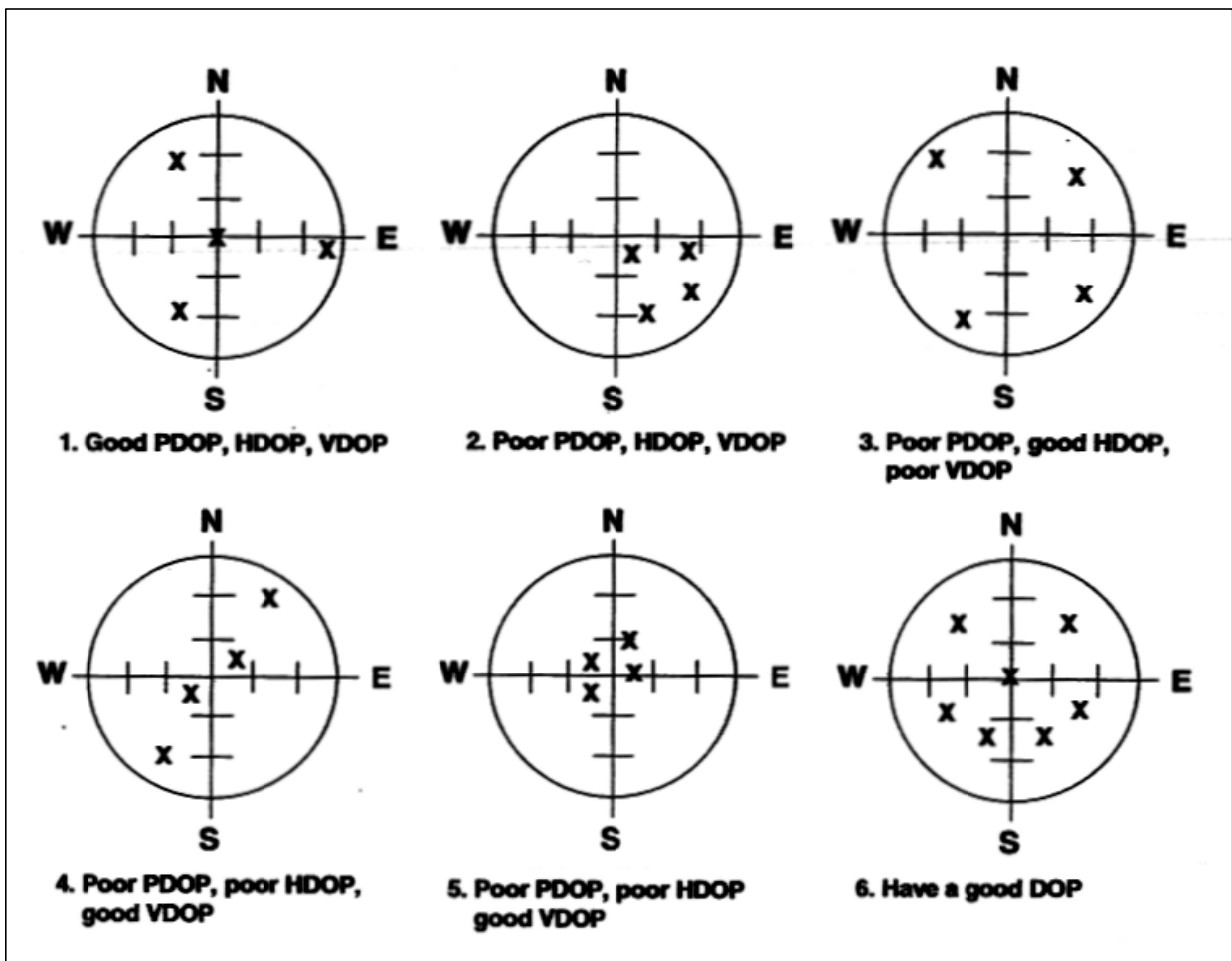
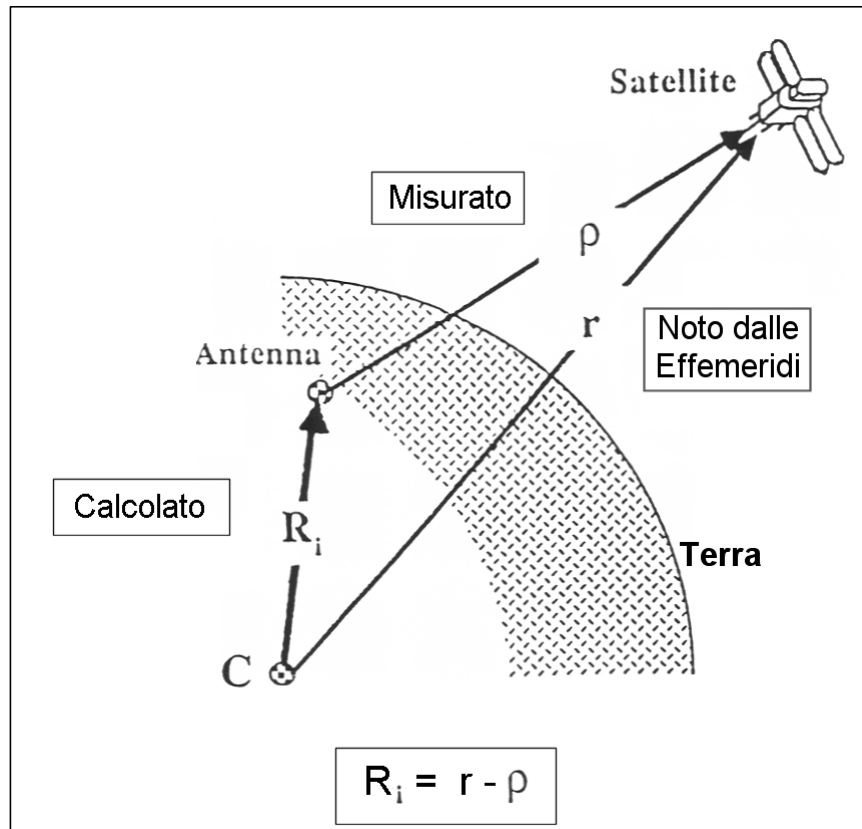


Tabella riassuntiva delle sorgenti di errori

Tipo di errore	Cause	Correzione
Decremento della precisione geometrica dei risultati	Diminuzione della precisione geometrica dei risultati causata da una cattiva configurazione della costellazione dei satelliti al momento delle osservazioni.	Esecuzione delle osservazioni nel periodo in cui la configurazione dei satelliti è la migliore
Errore delle effemeridi	Variazione della posizione teorica dei satelliti lungo la loro orbita	Esecuzione di osservazioni differenziali
Sfasamento orologi satelliti	Errore nella misura del tempo da parte dell'orologio a bordo del satellite	Esecuzione di osservazioni differenziali
Ritardo ionosferico	Rallentamento della velocità del segnale dovuto all'attraversamento della ionosfera	Esecuzione di osservazioni differenziali
Ritardo troposferico	Rallentamento della velocità del segnale dovuto all'attraversamento della troposfera	Esecuzione di osservazioni differenziali
Selective availability (SA)	Errori introdotti intenzionalmente dal DoD per ragioni di sicurezza, che riducono la precisione degli orologi dei satelliti ed introducono errori delle effemeridi.	Esecuzione di osservazioni differenziali
Sdoppiamento del percorso (Multipath)	A causa di ostruzioni od altri ostacoli parte del segnale viene riflesso ed arriva all'antenna in ritardo rispetto alla parte del segnale che arriva direttamente, provocando disturbi della ricezione.	Viene ridotto prolungando il tempo delle osservazioni (particolarmente importante nei rilevamenti cinematici)
Errore orologio ricevitore	Sfasamento nella misura del tempo di percorrenza del segnale da parte del ricevitore	Calcolato ed eliminato utilizzando le osservazioni a quattro satelliti
Rumore ricevitore	Cattiva ricezione dovuta ad ostruzioni od altre cause locali	Difficilmente eliminabile
"Stato di salute" del satellite	Errori concernenti un determinato satellite dovuti al suo cattivo funzionamento	Il satellite non può essere utilizzato

IL POSIZIONAMENTO



Si utilizza la tecnica della **trilaterazione**: in base alla posizione geocentrica r del satellite (nota dalle effemeridi) ed alla distanza ρ tra ricevitore e satellite (misurata), si può calcolare la posizione geocentrica R_i del ricevitore stesso tramite una semplice equazione:

$$R_i = r - \rho$$

Classificazione delle metodologie

La distanza ρ , nota col nome di **osservabile** GPS, viene misurata mediante due differenti tecniche:

- *code pseudorange*, calcolo della differenza di tempo tra il codice PRN emesso dal satellite e quello generato nel ricevitore,
- *phase pseudorange*, calcolo della differenza di fase tra la portante emessa dal SV e la replica generata all'interno del Rx

Il posizionamento GPS può essere eseguito in varie modalità e in particolare:

- *Posizionamento assoluto*, le coordinate di un vertice sono determinate in un sistema di riferimento "globale".
- *Posizionamento relativo*, vengono determinate le componenti del vettore *baseline* che unisce due vertici. In questa maniera si eliminano o si riducono errori sistematici (*bias*) da cui sono affette le misure nelle due stazioni.
- *Posizionamento differenziale*, simile al posizionamento assoluto ma eseguito correggendo le misure SV-Rx con una correzione differenziale calcolata da una stazione fissa ("base"). Come nel posizionamento relativo vengono eliminati o ridotti vari errori sistematici.

Le misure GPS possono essere:

- *statiche*, si permane sui punti per un certo tempo;
- *cinematiche*, il ricevitore è in continuo movimento.

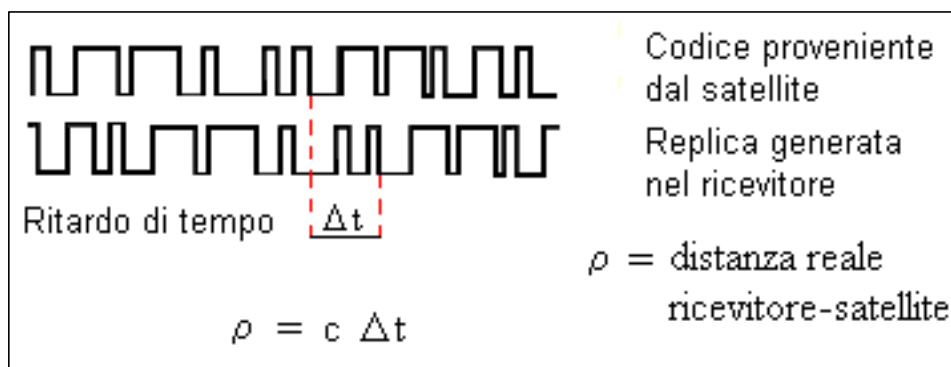
Il risultato del posizionamento GPS è ottenibile:

- *in post-elaborazione*, le coordinate di posizione delle stazioni sono disponibili successivamente al rilievo in campagna, al termine dell'elaborazione dei dati acquisiti da più ricevitori;
- *in tempo reale*, la posizione è direttamente disponibile in campagna, tramite collegamento via radio modem o GSM con una stazione fissa, in posizione nota a priori.

Il posizionamento assoluto: misure di codice (*Code Pseudorange*) - 1

- Pseudodistanza misurata tramite correlazione tra il codice PRN emesso dal satellite e quello generato nel ricevitore.

Supponiamo per un istante che il ricevitore ed il satellite siano *perfettamente sincronizzati* rispetto al sistema di tempo GPS. A causa del tempo impiegato per giungere fino a terra, il segnale GPS subisce, rispetto alla replica locale, un ritardo ΔT che può essere calcolato misurando l'intervallo di tempo necessario per portare i due codici in completa correlazione. Moltiplicando quindi tale ritardo per la velocità della luce si ottiene la pseudodistanza ρ .



Questa tecnica è resa possibile da un'ulteriore proprietà dei codici di tipo *Gold*. In quanto tali, i codici C/A e P emessi da ciascun satellite hanno bassa correlazione con le proprie copie, sfasate, generate nel ricevitore. Ciò permette ai ricevitori di determinare facilmente e senza ambiguità, il punto di massima coincidenza (correlazione) tra le due sequenze, e quindi di calcolare il tempo impiegato dai segnali a coprire la distanza satellite-ricevitore.

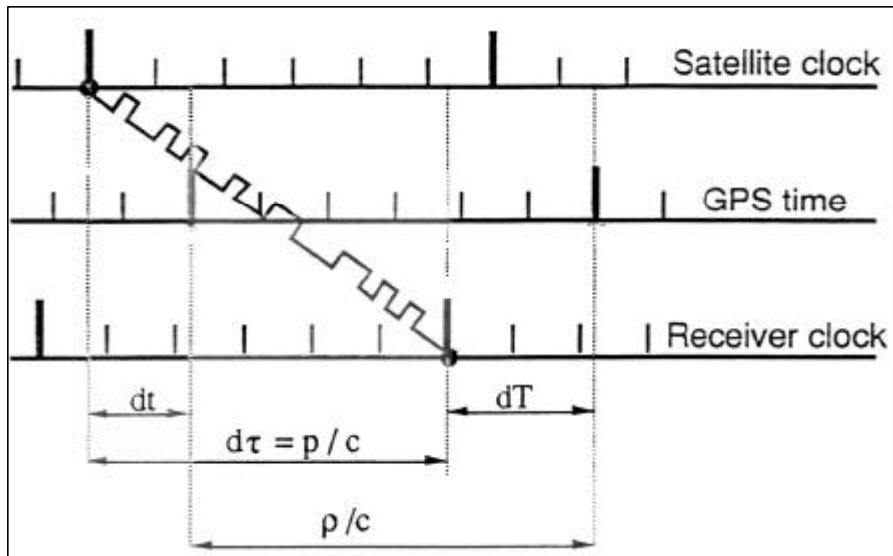
Epoca: intervallo di tempo fra due misure GPS successive.

Dopo una fase iniziale, il ricevitore rimane sempre agganciato al segnale ed esegue periodicamente un numero di misure a piacere, limitato essenzialmente dalla velocità della circuiteria del ricevitore stesso. L'epoca GPS identifica l'istante di misura. I valori più usati per le epoche vanno da 1 sec a 30 sec, a seconda del tipo di lavoro che si sta eseguendo. In alcuni ricevitori più recenti si possono fare acquisizioni anche a 10 Hz, corrispondenti a epoche di 0.1 sec.

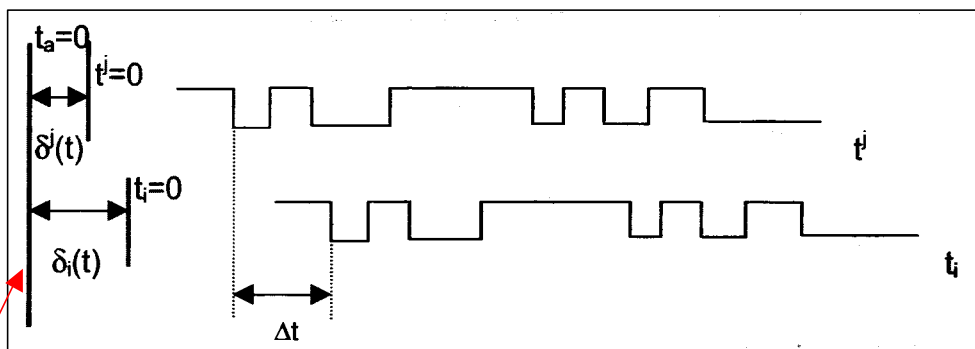
Il Posizionamento assoluto

Code Pseudorange - 2

Problema: SV e Rx non sono perfettamente sincronizzati tra loro, esiste un offset rispetto alla base dei tempi GPS.



Affinchè sia possibile misurare la distanza SV-Rx sfruttando lo sfasamento del codice è necessario riportare gli orologi (del SV e del Rx) alla medesima base dei tempi .



Origine tempo GPS

Il posizionamento assoluto

Code Pseudorange - 3

Indicando con i il ricevitore con j il satellite, si ottiene:

$$\begin{aligned}\Delta T = t_i - t^j &= [t_i(\text{GPS}) - dt_i] - [t^j(\text{GPS}) - dt^j] \\ &= \Delta t(\text{GPS}) + (dt_i - dt^j) = \Delta t(\text{GPS}) + \Delta d\end{aligned}$$

- t^j istante di emissione dal satellite del codice PRN, riferito alla base dei tempi dell'orologio di bordo
- t_i istante di ricezione del codice, riferito alla base dei tempi dello orologio del ricevitore
- $\delta^j(t)$ = offset dell'orologio del SV, modellabile matematicamente, noto dalle effemeridi trasmesse nel messaggio navigazionale
- $\delta_i(t)$ = offset orologio del Rx, variabile da istante a istante e da Rx a Rx

Considerando quindi le misure riferite allo stesso asse temporale GPS (t_a), l'espressione della *pseudodistanza* misurata diventa:

$$R_i^j(t) = \mathbf{r}_i^j(t) + c \Delta \mathbf{d}_i^j(t) = \mathbf{r}_i^j(t) + c (\mathbf{d}^j(t) - \mathbf{d}_i(t))$$

Tenendo conto anche degli effetti atmosferici, l'equazione di misura diventa:

$$R = c \Delta T + d_{ion} + d_{trop} = \mathbf{r} + c \Delta \mathbf{d} + d_{ion} + d_{trop}$$

Domanda: Quante osservazioni e quante epoche sono necessarie per calcolare la nostra posizione con il GPS?



Bisogna valutare il bilancio equazioni di osservazione - incognite

Il posizionamento assoluto

Code Pseudorange - 4

Bilancio equazioni di misura - incognite

$$\begin{array}{ccccccc} R_i^j(t) - c \mathbf{d}^j(t) & = & \mathbf{r}_i^j(t) - c \mathbf{d}_i(t) \\ \uparrow & & \uparrow & & \uparrow & & \uparrow \\ \text{Misurato} & & \text{Effemeridi} & & \text{Distanza reale} & & \text{Incognito} \end{array}$$

1) Posizionamento assoluto, **statico**:

$$\mathbf{r}_i^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_i)^2 + (Y^j(t) - Y_i)^2 + (Z^j(t) - Z_i)^2}$$

- n_j il numero di satelliti
- n_t le *epoche* di osservazione
- il prodotto $n_j n_t$ rappresenta il numero di osservazioni eseguite dal singolo Rx

Le incognite sono rappresentate da:

- 3 coordinate del vertice (X_i, Y_i, Z_i)
- un offset di orologio del Rx per ogni epoca di misura n_t (totale $3 + n_t$ incognite)

La soluzione dell'eq. di posizionamento è possibile quando è soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$n_j n_t \geq 3 + n_t$$

Es. $n_t = 1 \longrightarrow n_j \geq 3$ ($n_j = 4$)

Il posizionamento assoluto

Code Pseudorange - 5

2) Posizionamento assoluto, **cinematico**:

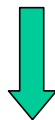
$$r_i^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_i(t))^2 + (Y^j(t) - Y_i(t))^2 + (Z^j(t) - Z_i(t))^2}$$

Le incognite sono rappresentate da:

- $3n_t$ coordinate del vertice ($X_i(t)$, $Y_i(t)$, $Z_i(t)$)
- un offset di orologio del Rx per ogni epoca di misura n_t (totale $4n_t$ incognite)

Posizionamento cinematico possibile quando:

$$n_j n_t \geq 4n_t$$



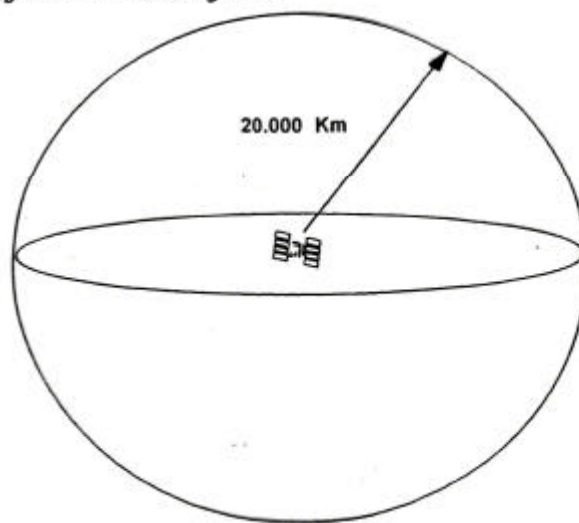
Se $n_j \geq 4$ sono sufficienti dati di un'epoca per determinare la posizione.

Ciò consente il posizionamento in **tempo reale**, molto utile in applicazioni cinematiche, in cui il ricevitore si muove.

Interpretazione geometrica - 1

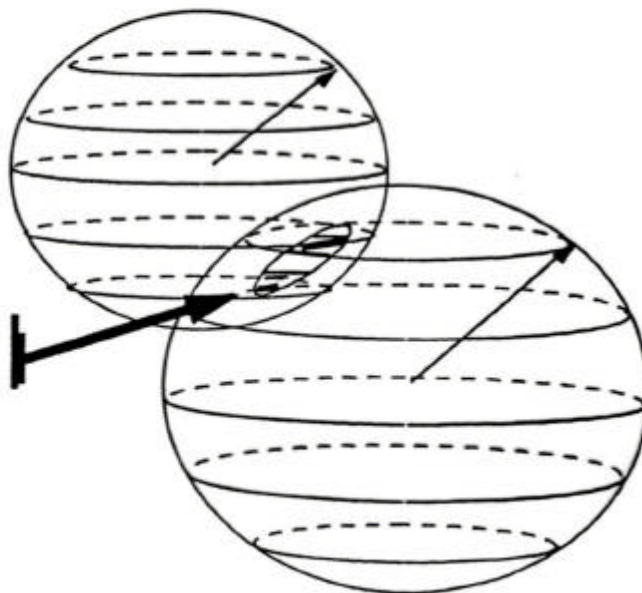
- La necessità di tracciare un quarto satellite può essere spiegata graficamente da un punto di vista **geometrico**, considerando l'intersezione nello spazio tra sfere diverse di raggio pari alla distanza Rx-SV.

Una misura costringe la nostra posizione sulla superficie di una sfera

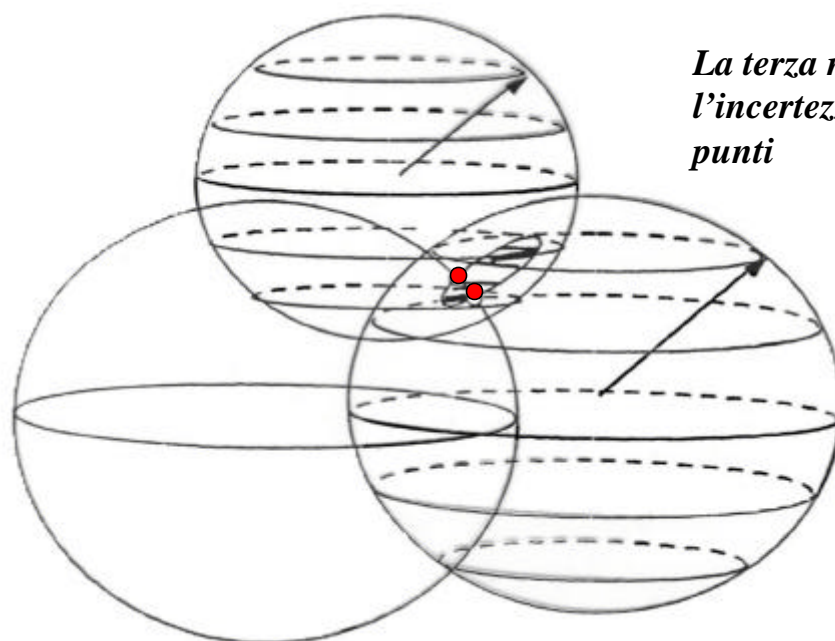


Noi siamo da qualche parte sulla superficie di questa sfera.

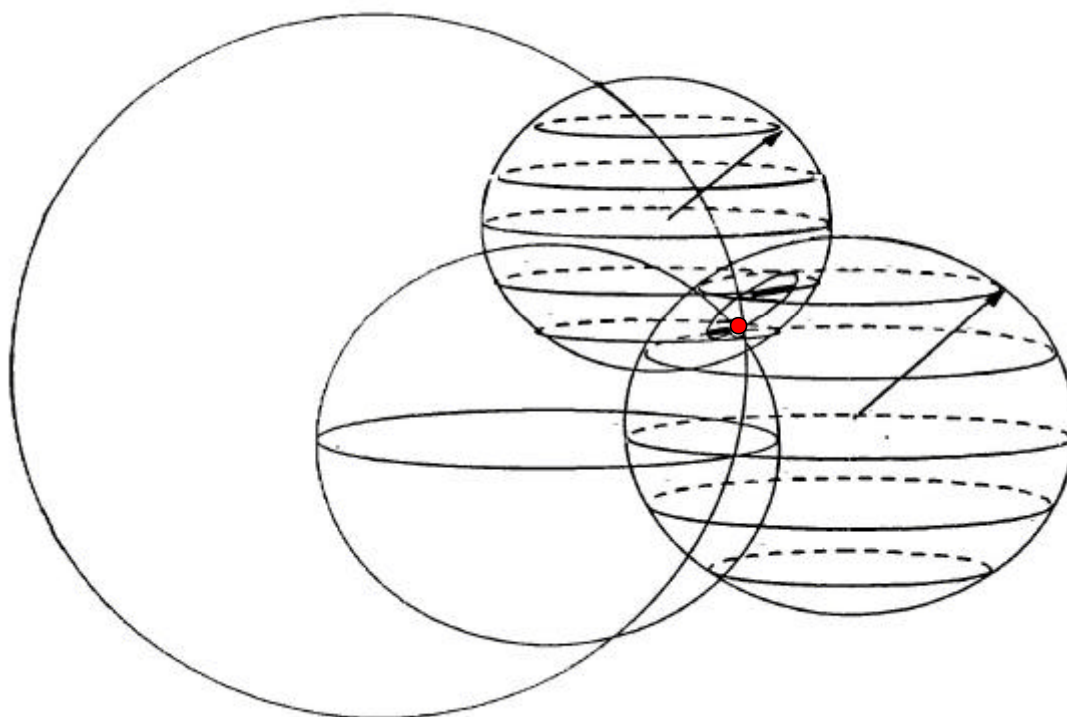
L'intersezione di due sfere e' un cerchio



Interpretazione geometrica - 2



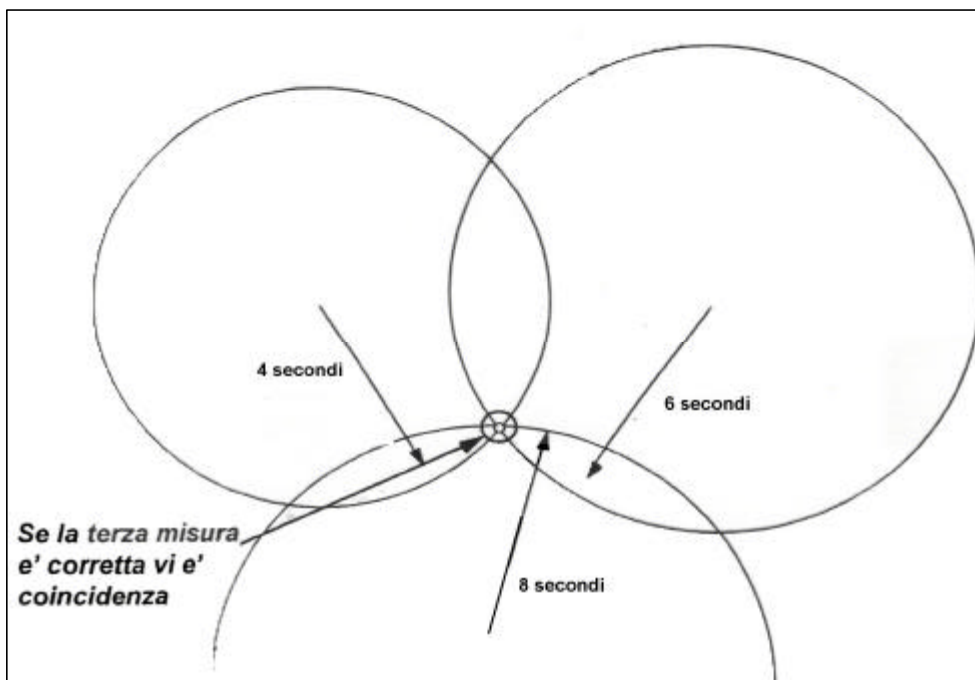
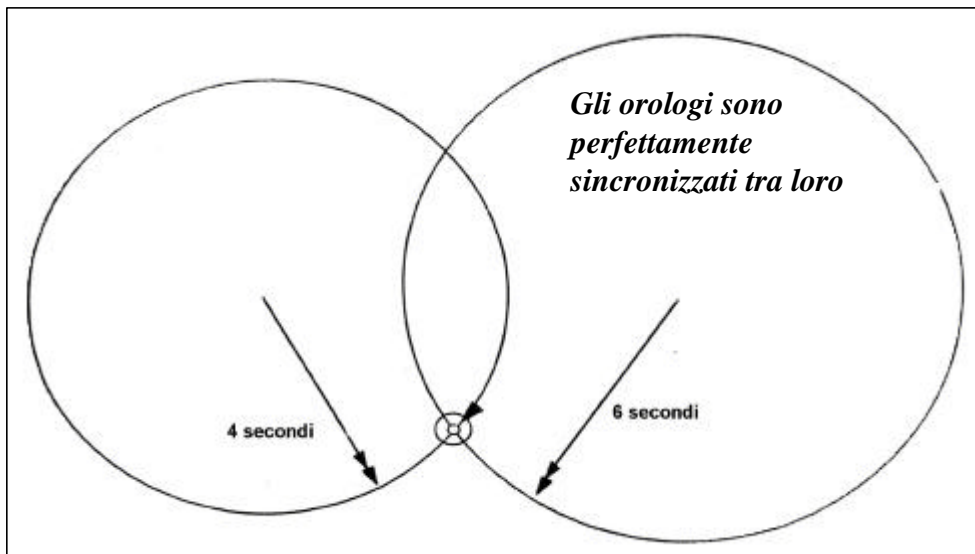
*La terza misura riduce
l'incertezza a soli a due
punti*



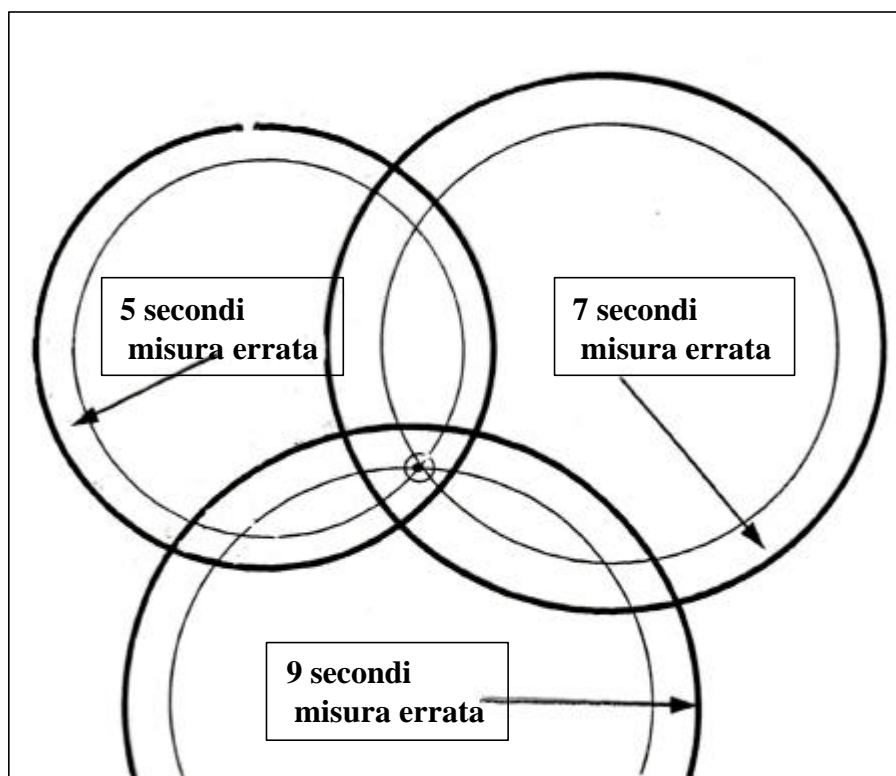
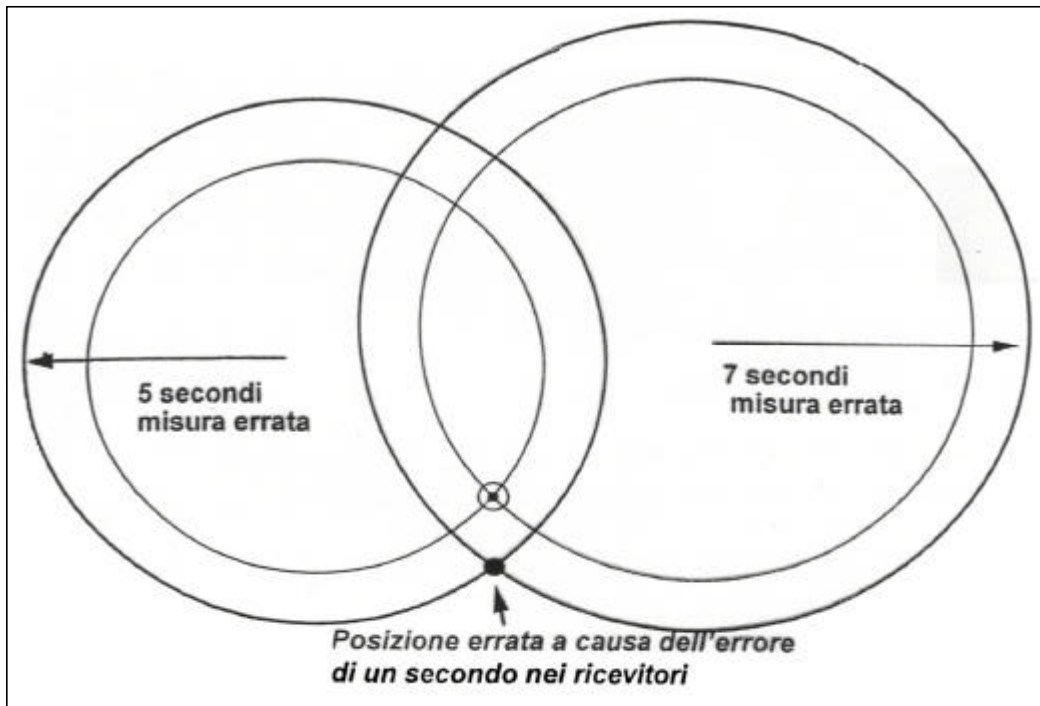
*La quarta misura decide tra i due
punti eliminando l'ambiguità.*

Interpretazione temporale - 1

- La non perfetta sincronizzazione tra gli orologi del ricevitore e dei vari satelliti comporta la necessità di tracciare un quarto satellite.
- Tale fenomeno può essere spiegato anche graficamente da un punto di vista **temporale**, qualora si esprimano le distanze Rx-SV in funzione dei corrispondenti tempi di percorrenza.

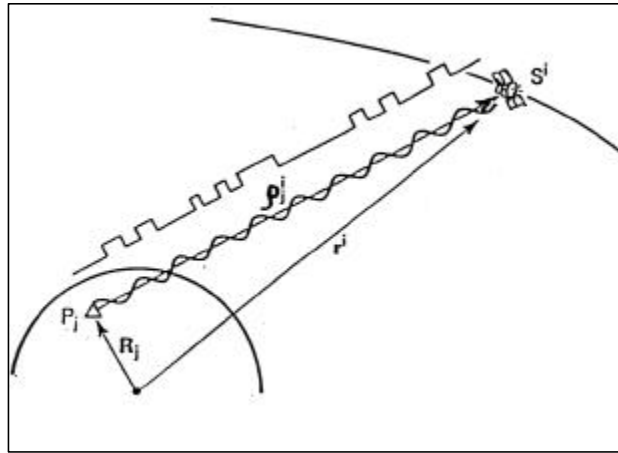


Interpretazione temporale - 2



La terza misura (anch'essa errata) genera un cerchio che interseca i precedenti in due punti distinti: la quarta misura consente al Rx di calcolare l'errore temporale ed individuare l'intersezione (unica) corretta.

Il posizionamento assoluto: misure di fase (*Phase Pseudorange*) - 1



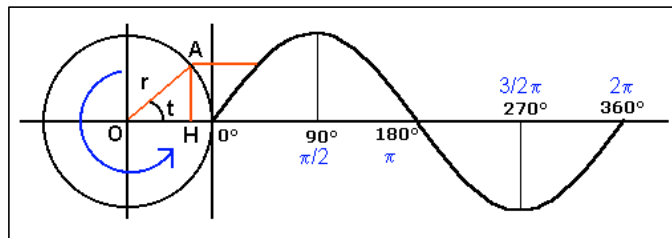
- Misura dell'osservabile GPS basata sul confronto tra la fase della portante emessa dal satellite e quella generata localmente nel ricevitore.
- Pseudodistanza calcolata in funzione della lunghezza d'onda della portante: essendo questa dell'ordine del cm si possono raggiungere precisioni maggiori rispetto alla pseudodistanza di codice.

Funzionamento:

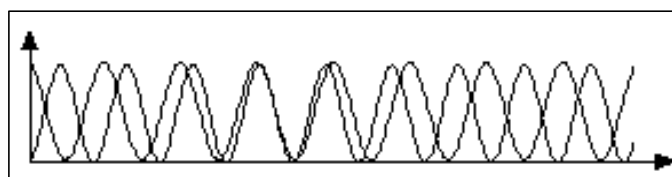
- A causa della distanza percorsa, l'onda emessa dal SV arriva sfasata nel Rx rispetto a quella generata localmente.
- La differenza di fase è proporzionale alla distanza percorsa.

Relazione tra il moto sul cerchio e la funzione seno.

Fase di un segnale sinusoidale



Differenza di fase:
es. di segnali sfasati



Il posizionamento assoluto: misure di fase (*Phase Pseudorange*) - 2

- Lo sfasamento non è costante ma varia nel tempo per l'effetto *Doppler*, causato dal moto relativo tra SV e Rx. Se la distanza si riduce di una lunghezza d'onda allora si registra un ciclo aggiuntivo nel segnale ricevuto, viceversa accade se la distanza aumenta.
- La misura dell'**osservabile fase** consiste nel rilevare lo sfasamento per un certo intervallo di tempo $\Delta t = (t-t_0)$ a partire da un istante di riferimento t_0 . La fase così accumulata rappresenta la variazione della distanza tra SV e Rx in tale intervallo e dipende solamente dalle posizioni relative tra essi all'inizio ed alla fine di Δt e non dall'orbita seguita.



Si misura una distanza contando il numero intero e le frazioni di cicli accumulati dalla portante emessa dal satellite.

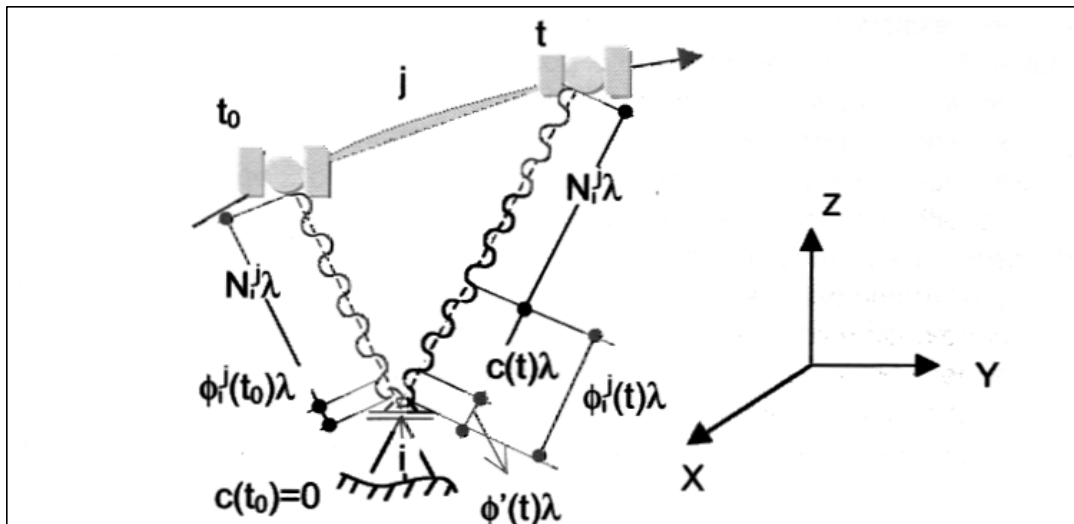
In realtà nel ricevitore si misurano solo le **frazioni di cicli**, o frazioni di fase, mentre restano incogniti i cicli iniziali, cioè il numero intero di lunghezze d'onda della portante comprese tra il satellite ed il ricevitore e relative alla prima epoca di osservazione (istante t_0).

Tale numero prende il nome di ambiguità intera N (*Integer Ambiguity*).

Osservazione:

Se non vi fosse l'effetto Doppler, non sarebbe possibile misurare la distanza Sv-Rx con la fase della portante, perché l'onda inviata dal SV e quella generata localmente nel Rx sarebbero sfasate sempre di una quantità costante !

Il posizionamento assoluto: misure di fase (*Phase Pseudorange*) - 3



All'istante t_0 (aggancio del SV): $\mathbf{f}_i^j(t_0) + \mathbf{l} N = \mathbf{r}_i^j(t_0)$

All'istante t (dopo $c(t)$ cicli): $\mathbf{f}_i^j(t) + \mathbf{l} N = \mathbf{r}_i^j(t)$

essendo $\mathbf{f}_i^j(t) = \mathbf{f}'_i^j(t) + c(t)\mathbf{l}$

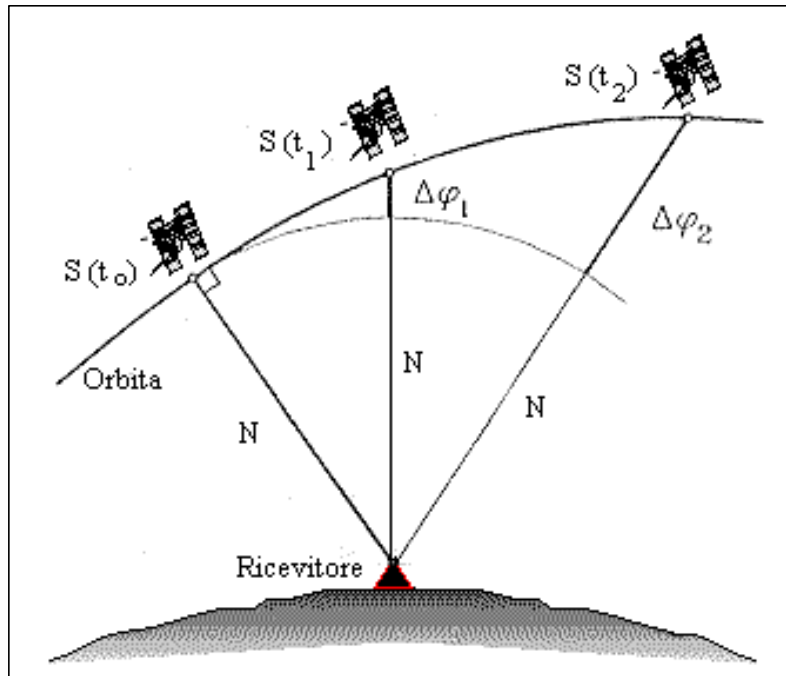
Esempio:

Supponiamo infatti che all'istante iniziale t_0 si rilevi una frazione di fase $\phi(t_0) = 120^\circ$, ad essa corrisponderà una fase totale $\Phi(t_0) = 120^\circ + 360^\circ N$; se al successivo istante di osservazione t si misura la frazione $\phi(t) = 45^\circ$, lo sfasamento totale relativo all'intervallo $t-t_0$ sarà $\Phi(t) = 45^\circ + 360^\circ (N + 3)$, avendo supposto che il contatore di cicli del ricevitore abbia rilevato 3 cicli interi durante il suddetto intervallo.

Da questo semplice esempio si può facilmente vedere come ad ogni successivo istante di osservazione il numero di cicli interi accumulati dipenda dal valore dell'ambiguità N : la precisione con cui si determina inizialmente il suo valore intero influenza direttamente le successive misure della distanza tra ricevitore e satellite.

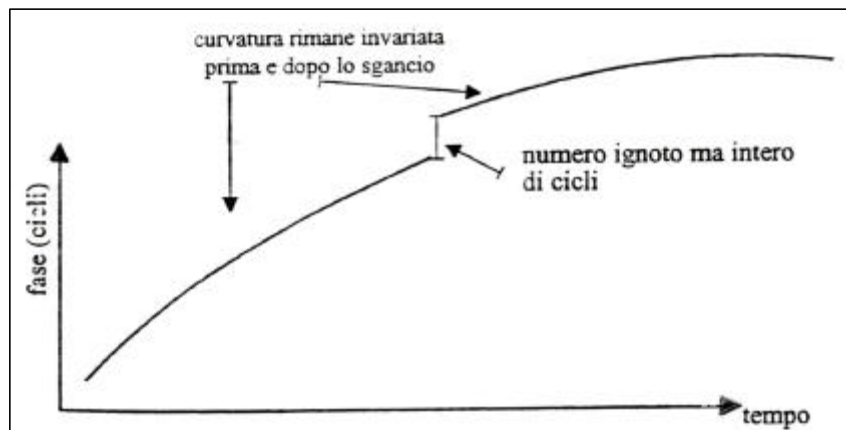
Il posizionamento assoluto

Phase Pseudorange - 4



La determinazione dell'ambiguità di fase può essere risolta osservando un SV per più epoche. Il presupposto è che N rimanga però la stessa ovvero sia mantenuto il contatto con il satellite tra le varie epoche di misura e quindi il conteggio del numero intero di cicli dovuti al moto relativo SV-Rx.

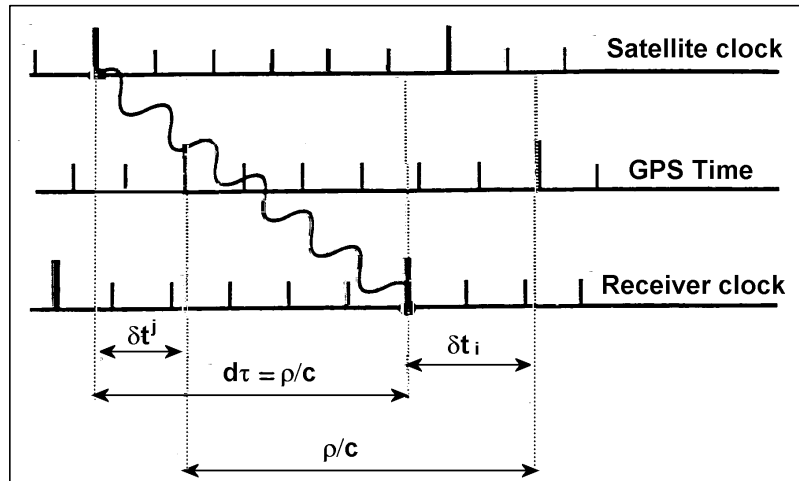
La perdita del contatto con i satelliti è detta *cycle slip* e provoca l'introduzione di una nuova ambiguità di fase incognita ad ogni interruzione. In tali situazioni, infatti, il Rx perde il conto dei cicli accumulati e deve ristimare una nuova N .



Il posizionamento assoluto

Phase Pseudorange - 5

Anche nel caso delle misure di distanza Rx-SV basate sulla fase della portante bisogna considerare le varie sorgenti di rumore che influiscono sul segnale GPS ricevuto.



Tenendo quindi presenti gli effetti atmosferici (ionosfera e troposfera), gli offset degli orologi, si ottiene la relazione completa:

$$\Phi_i^j = r_i^j + c \Delta d_i^j + \Delta d_{atm} + I N_i^j$$

dove:

- $c\Delta d_i^j = c\delta^j(t) - c\delta_i(t)$
- $\delta^j(t)$ = offset dell'orologio del satellite
- $\delta_i(t)$ = offset orologio del ricevitore
- Δd_{atm} = ritardo ionosfera + troposfera

Analogamente a quanto visto nel caso delle misure di codice, la combinazione numero di osservazioni/epoche di misura dipende dal bilancio equazioni di osservazione-incognite.

Il posizionamento assoluto

Phase Pseudorange - 6

Bilancio equazioni di misura - incognite

$$\begin{array}{cccccc}
 \mathbf{f}_i^j(t) & - & f^j \mathbf{d}(t)^j & = & \frac{1}{I} \mathbf{r}_i^j(t) & + & N_i^j & - & f^j \mathbf{d}_i(t) \\
 \uparrow & & \uparrow & & \uparrow & & \uparrow & & \uparrow \\
 \text{Misurata} & & \text{Effemeridi} & & \text{Distanza reale} & & \text{Incognita} & & \text{Incognito}
 \end{array}$$

1) Posizionamento assoluto, **Statico**:

$$\mathbf{r}_i^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_i)^2 + (Y^j(t) - Y_i)^2 + (Z^j(t) - Z_i)^2}$$

- n_j il numero di satelliti
- n_t le epoche di osservazione
- il prodotto $n_j n_t$ è il numero di osservazioni eseguite dal singolo Rx

Le incognite sono rappresentate da:

- 3 coordinate del vertice (X_i, Y_i, Z_i)
- un offset di orologio del Rx per ogni epoca di misura n_t
- n_j ambiguità di fase (una per ciascun SV)

$$n_j n_t \geq 3 + n_j + n_t$$

Possibili soluzioni: 4 SV, $n_t \geq 3$; 5 SV, $n_t \geq 2$

Il posizionamento assoluto

Phase Pseudorange - 7

2) Posizionamento assoluto, **Cinematico**:

$$\mathbf{r}_i^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_i(t))^2 + (Y^j(t) - Y_i(t))^2 + (Z^j(t) - Z_i(t))^2}$$

In aggiunta al caso precedente si devono considerare

- $3n_t$ coordinate del vertice ($X_i(t)$, $Y_i(t)$, $Z_i(t)$)
- n_j ambiguità di fase (una per ciascun SV)

$$n_j n_t \geq 4n_t + n_j$$

Possibili soluzioni: 5 SV, $n_t = 5$; 6 SV, $n_t \geq 3$; 8 SV, $n_t \geq 2$

La soluzione $n_t = 1$ non è possibile.



Con le misure di fase non è possibile eseguire il posizionamento assoluto in tempo reale perché è necessario accumulare i dati di più epoche.

Il posizionamento cinematico assoluto con misure di fase è possibile solo se le n_j incognite ambiguità di fase sono già note (*procedura di inizializzazione*). In tal caso il modello basato sulle osservazioni di fase, da un punto di vista del bilancio incognite/equazioni equivale al modello basato sulle osservazioni di codice.

Precisione teorica delle misure

La precisione della misura di distanza mediante correlazione di codice o misura dello sfasamento, teoricamente (in assenza di fonti rumore) è dell'ordine di **0.1-0.2 %** della lunghezza d'onda (o *chip length*).

Risultano pertanto i seguenti valori riportati in tabella.

Segnale GPS	Lunghezza d'onda Chip length	Precisione teorica
C/A code	300 m	30-60 cm
P code	30 m	3 - 6 cm
Carrier phase	20 cm	0.2 mm

Tenendo conto delle differenti sorgenti di errore che influenzano il segnale GPS, si possono considerare i seguenti valori indicativi:

Sorgente di errore	Errore
Orologio SV	\cong 60 cm
Orbita SV	1 - 7 m
Atmosfera	5 - 30 m
Multipath	15 cm (f) - 20 m (c)
S/A	30 m
Totale con S/A	100 m

In realtà le precisioni variano da caso a caso in funzione delle modalità operative adottate e dei ricevitori utilizzati. Possiamo distinguere tra ricevitori di tipo

- *C/A code pseudo-ranges*, consentono misure solo in base a correlazione di codice,
- *C/A code carrier phase pseudoranges*, acquisiscono codice C/A e portante L1
- *P code carrier phase*, che sono i più precisi in quanto possono utilizzare il codice P ed entrambe le portanti L1 ed L2 (doppia frequenza).

Posizionamento Relativo (misure differenziali) - 1

- Nel posizionamento relativo, l'obiettivo è la determinazione del vettore “**baseline**” ovvero delle componenti del vettore che unisce due vertici su cui stazionano contemporaneamente due ricevitori.



$$\mathbf{b}_{AB} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_B - \mathbf{X}_A \\ \mathbf{Y}_B - \mathbf{Y}_A \\ \mathbf{Z}_B - \mathbf{Z}_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{X}_{AB} \\ \Delta \mathbf{Y}_{AB} \\ \Delta \mathbf{Z}_{AB} \end{bmatrix}$$

Conoscendo le coordinate di una stazione (es. A) è possibile calcolare le coordinate dell'altra (B):

$$\mathbf{X}_B = \mathbf{X}_A + \mathbf{b}_{AB}$$

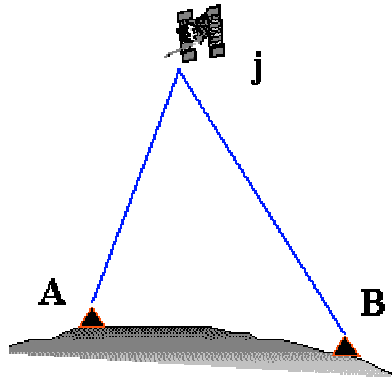
- Il posizionamento relativo può essere fatto sia sulle misure di codice che su quelle di fase, anche se in pratica si applica alle sole misure di fase.
- E' necessario fare misure simultanee con almeno due ricevitori.
- Si costruiscono delle combinazioni lineari delle fasi dei segnali ottenendo le cosiddette differenze multiple che permettono di ridurre drasticamente, o addirittura eliminare, le diverse sorgenti di errore, raggiungendo in tal modo accuratze dell'ordine del cm o perfino del mm.



Metodo differenziale

- Si possono distinguere tre metodologie: *differenza singola*, *doppia* e *tripla*.

Differenza singola



$$\Phi_A^j(t) - f^j \mathbf{d}^j(t) = \frac{1}{c} \mathbf{r}_A^j(t) + N_A^j - f^j \mathbf{d}_A(t)$$

$$\Phi_B^j(t) - f^j \mathbf{d}^j(t) = \frac{1}{c} \mathbf{r}_B^j(t) + N_B^j - f^j \mathbf{d}_B(t)$$

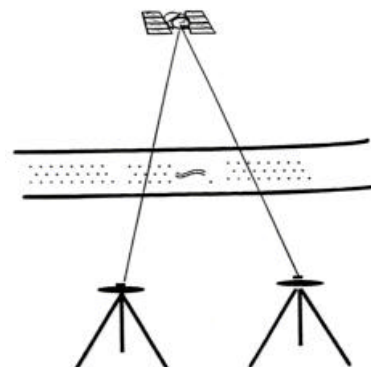


$$\Phi_B^j(t) - \Phi_A^j(t) = \frac{1}{c} \mathbf{r}_{AB}^j(t) + N_{AB}^j + f^j \mathbf{d}_{AB}(t)$$

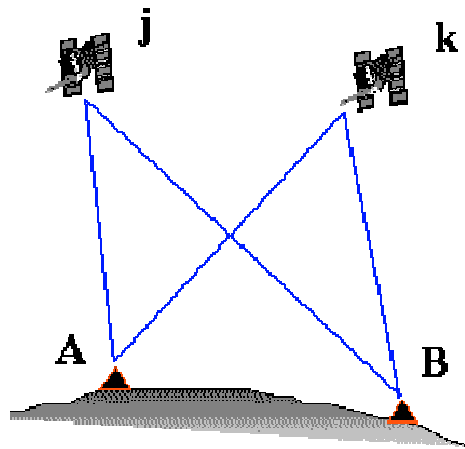
- Non compare più il termine $f^j \mathbf{d}^j(t)$ relativo al satellite, essendo un parametro comune ad entrambe le osservazioni (assumendo che gli SV hanno la stessa f)
- Questa procedura consente di eliminare tutti gli errori dipendenti dai satelliti:
 - errore nel calcolo della posizione dei SV;
 - errori dovuti agli offset degli orologi di bordo;
 - se la distanza tra i ricevitori è sufficientemente corta possono essere eliminati gli errori dovuti all'attraversamento dell'atmosfera.



Se la distanza tra 2 Rx è breve (max. 50 km) si può ritenere che i segnali GPS attraversino gli stessi strati atmosferici.



Differenza doppia



Due ricevitori osservano contemporaneamente due distinti satelliti. Le differenze singole relative alla stessa epoca di osservazione vengono ulteriormente differenziate.

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{c} \mathbf{r}_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f^j \mathbf{d}_{AB}(t)$$

$$\Phi_{AB}^k(t) = \frac{1}{c} \mathbf{r}_{AB}^k(t) + N_{AB}^k - f^k \mathbf{d}_{AB}(t)$$

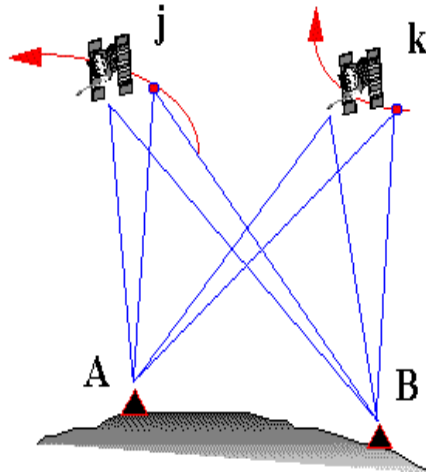


$$\Phi_{AB}^{k,j}(t) = \frac{1}{c} \mathbf{r}_{AB}^{k,j}(t) + N_{AB}^{k,j}$$

- Vengono eliminati gli errori relativi agli orologi dei ricevitori, nell'ipotesi che i due satelliti trasmettano esattamente alla stessa frequenza e che le osservazioni siano simultanee.

Differenza tripla

Si differenziano due doppie differenze relative a due distinte epoche di osservazione



$$\Phi_{AB}^{k,j}(t_1) = \frac{1}{I} \mathbf{r}_{AB}^{k,j}(t_1) + N_{AB}^{k,j}$$

$$\Phi_{AB}^{k,j}(t_2) = \frac{1}{I} \mathbf{r}_{AB}^{k,j}(t_2) + N_{AB}^{k,j}$$



$$\Phi_{AB}^{k,j}(t_{1,2}) = \frac{1}{I} (\mathbf{r}_{AB}^{k,j}(t_2) - \mathbf{r}_{AB}^{k,j}(t_1))$$

- Nell'ipotesi che nell'intervallo (t1-t2) considerato non si verificano cycle slip (ambiguità costanti), scompare la dipendenza dall'ambiguità intera N, essendo questa indipendente dal tempo.
- Ciò significa che i risultati delle misure combinati linearmente tra loro mediante la differenza tripla sono indipendenti da tale parametro.
- Generalmente questo tipo di differenziazione viene usato per quantificare i "cycle slips".
- Le differenze triple evidenziano come osservando un satellite per più epoche è possibile determinare una stima dell'ambiguità intera.

Procedure di rilevamento

Le modalità operative che caratterizzano un rilievo mediante GPS sono la combinazione di vari aspetti riassunti schematicamente qui di seguito:

Osservabili

Code pseudorange
Carrier phase pseudorange

Posizionamento

Assoluto
Relativo

Osservazioni

Statiche
Cinematiche

Elaborazioni

Real-time
Post processing

Post Processing

Modalità STATICA

Posizionamento Assoluto: si utilizza un solo ricevitore che viene mantenuto in posizione fissa per tutta la durata della sessione. Si ottengono delle precisioni molto scarse, in dipendenza del tipo di Rx usato (mono o doppia frequenza), in quanto il segnale GPS ricevuto è soggetto a quasi tutte le sorgenti di errore e solo alcune di esse possono essere parzialmente rimosse. Metodologia raramente impiegata.

Posizionamento Relativo: prevede l'esecuzione contemporanea delle osservazioni da almeno 2 stazioni, sulle quali i Rx restano fissi per tutta la durata della sessione. Si misura la baseline congiungente le due stazioni. E' la procedura che garantisce la massima precisione, ed è pertanto quella che viene di norma utilizzata per la determinazione di punti di appoggio o la costituzione di reti di inquadramento. Il tempo di osservazione (durata della sessione) è normalmente di 45min - 1h per basi lunghe fino a 15 km. Per basi più lunghe tale tempo va aumentato

Modalità STATICO - VELOCE (*Fast static*)

E' molto simile alla procedura statica (relativa) ma in questo caso il tempo di posizionamento è più breve. Il tempo di occupazione è variabile tra 5 e 10 min. e dipende dalla lunghezza della base e dalla configurazione satellitare. (Basi lunghe e configurazioni SV non favorevoli rendono più difficile la stima iniziale delle ambiguità intere impiegando le osservazioni di fase).

Tale modalità consente di raggiungere una produttività (punti battuti) maggiore rispetto a quella statica, poiché una volta raggiunto il tempo minimo di osservazione necessario per l'effettuazione del calcolo della posizione, ci si può spostare verso un'altra stazione.

Come termini di riferimento, si possono considerare i valori della seguente tabella, validi in condizioni di PDOP < 7,

Numero di SV	Tempo di osservazione
4	> 20 min.
5	10 - 20 min.
> 6	5 - 10 min.

Tale modalità è impiegata prevalentemente per il rilievo di punti di sottorete o di raffittimento, per i quali è richiesta una precisione inferiore rispetto a quella propria della modalità statica.

Osservazioni:

- Nella modalità statica (relativa) e fast-static, dai dati acquisiti dal Rx in campagna è possibile determinare in post-processing la posizione della stazione solo se durante la sessione di misura ciascun Rx ha osservato almeno 5 SV continuamente (non necessariamente gli stessi per tutta la durata della sessione).
- Nel caso Fast-Static non è necessario che durante lo spostamento da un punto all'altro il ricevitore **rover** mantenga l'aggancio con i satelliti.
- In ogni caso, affinché sia possibile eseguire le correzioni differenziali è indispensabile che i due Rx osservino gli stessi satelliti.
- Nell'ambito dei rilievi statico e fast-static, la determinazione dell'ambiguità intera avviene tramite il calcolo delle differenze multiple tra le baseline delle varie stazioni coinvolte nel rilievo.

Modalità CINEMATICA

Presuppone l'impiego di un ricevitore fisso o di riferimento (**Base Station** o **Master Station**) che resta fermo su un punto di coordinate note a priori con elevata accuratezza, mentre uno o più ricevitori (**Rover Station**) si muovono da un punto all'altro effettuando osservazioni per brevi periodi di tempo.

Tale procedura è utilizzata generalmente per l'esecuzione di rilievi di dettaglio, a volte in combinazione con la modalità statica e fast-static.

E' possibile operare un rilievo in modalità cinematica secondo due differenti procedure:

Stop & Go

Si opera generalmente con due Rx, di cui uno fisso (di riferimento) ed uno mobile (rover) che si sposta sui vari punti da battere.

Il Rx rover, una volta giunto sul punto da posizionare resta fermo per un breve tempo (al max. alcuni minuti) osservando continuamente almeno 4 SV. Dopodichè si sposta sul punto successivo.

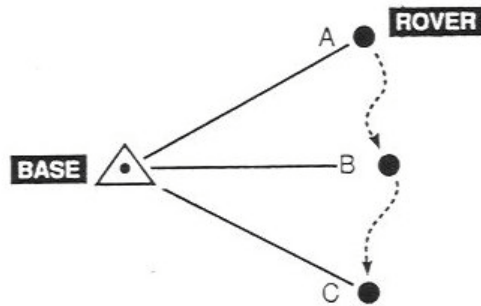
Principio fondamentale: nel caso in cui si eseguano osservazioni di fase è indispensabile che il Rx rover e master osservino per tutta la durata della sessione, quindi anche durante gli spostamenti tra i punti, almeno 4 SV comuni. Non è necessario che i segnali provenienti dallo stesso SV siano presenti dall'inizio alla fine del rilievo. Se la configurazione satellitare cambia durante la sessione, si ottengono comunque risultati positivi, purchè si siano seguiti almeno 4 SV comuni.

Se invece si eseguono osservazioni di solo codice, non è necessario mantenere l'aggancio con i satelliti durante gli spostamenti, purchè si osservino almeno 4 SV comuni per tutto il tempo di stazionamento sul punto.

La differenza tra i due casi è dovuta alla presenza dell'ambiguità intera nelle misure di fase, assente invece in quelle di codice. Tale parametro va ricalcolato ogni volta che si perde l'aggancio con il numero minimo di satelliti (4) .

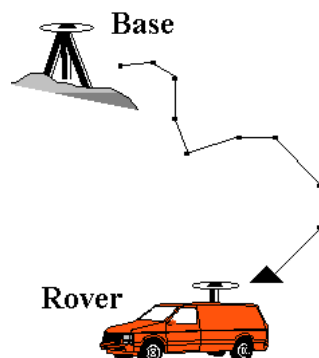
Continuo

La posizione del ricevitore rover viene continuamente determinata mentre esso si muove.



Principio fondamentale: in tal caso, poiché ad ogni epoca il rover occupa un punto diverso dal precedente, sia con osservazioni di fase sia con quelle di codice è indispensabile mantenere l'aggancio con almeno 4 SV per tutta la durata della sessione.

Tale procedura può essere utilizzata per il rilevamento di profili, sezioni, modelli digitali del terreno ed anche per determinare la posizione di un veicolo in moto.



Inizializzazione: nel caso cinematico prima di procedere al rilievo vero e proprio è necessario stazionare inizialmente per un tempo minimo in modo da consentire al Rx di acquisire una quantità di osservazioni sufficiente a stimare l'ambiguità intera N per ogni SV agganciato. Se osservando solo 4 SV si perde il contatto con uno di essi è necessario procedere alla reinizializzazione di N . In tal caso vi sono due possibilità:

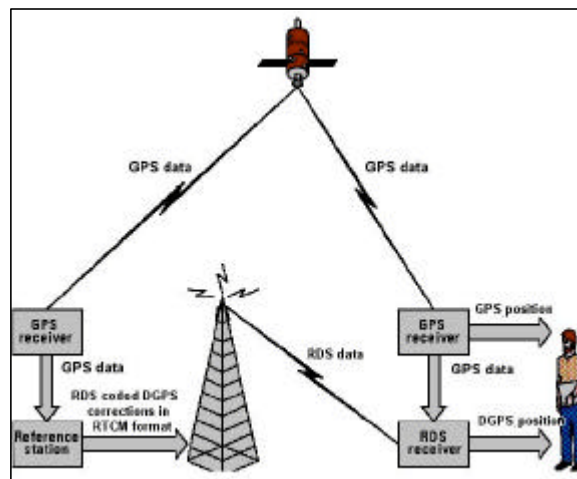
- a) con Rx monofrequenza bisogna fermarsi e attendere di nuovo un certo tempo minimo, durante il quale si devono tracciare almeno 5 SV;
- b) con un Rx doppia frequenza, dotato di opzione **OTF** (On The Fly) si può continuare il rilievo senza fermarsi in quanto la stima suddetta viene fatta dal Rx in movimento.

Schema riassuntivo delle modalità operative statiche e cinematiche

Metodo di Rilievo	Vantaggi	Requisiti
Statico	<ul style="list-style-type: none"> - alta precisione (sub centimetrica) mono frequenza: 20 mm. + 2 ppm doppia frequenza 5 mm. + 1 ppm - non è richiesto il tracciamento continuo di 4 satelliti 	<ul style="list-style-type: none"> - occupazione minima di 1 ora
Statico Veloce	<ul style="list-style-type: none"> - media precisione: 1 cm +/- 1ppm - occupazione del punto compresa tra 5 e 20 minuti - è richiesto il tracciamento di 4 satelliti solo durante l'occupazione del punto, non durante gli spostamenti 	<ul style="list-style-type: none"> - sono necessari ricevitori in grado di supportarlo
Cinematico stop & go	<ul style="list-style-type: none"> - alta velocità operativa - media precisione 2 cm +/- 2ppm - sono sufficienti 1 o 2 epoche per ogni punto 	<ul style="list-style-type: none"> - tracciamento di 4 satelliti richiesto sia durante l'occupazione del punto che durante gli spostamenti - richiede l'inizializzazione del rilievo - lunghezza delle baseline inferiore ai 15 km.
Continuo	<ul style="list-style-type: none"> - alta velocità operativa - media precisione 2 cm +/- 2ppm - non è necessario sostare sul punto 	<ul style="list-style-type: none"> - tracciamento di 4 satelliti richiesto sia durante l'occupazione del punto che durante gli spostamenti - richiede l'inizializzazione del rilievo - se usato in tempo reale durante l'inizializzazione devono essere tracciati 5 satelliti. - lunghezza delle baseline inferiore ai 15 km. (10 km. in tempo reale).

Real Time

- Il posizionamento differenziale GPS (*Differential GPS = DGPS*) è una tecnica nella quale si usano due o più ricevitori: uno su di un vertice di riferimento A (stazione "base"), di posizione nota ed uno su B (stazione "remota"), solitamente in movimento che occupa i punti di nuova determinazione.
- La stazione base calcola le correzioni di *pseudorange PRC* (*pseudorange correction*) e le loro variazioni nel tempo *RRC* (*range rate correction*). Entrambe vengono trasmesse al ricevitore remoto.
- La procedura può essere eseguita in tempo reale realizzando un collegamento tra le due stazioni via radio modem o gsm.
- Il ricevitore remoto applica le correzioni alle misure *pseudorange* e calcola le posizioni battute con queste osservazioni corrette, migliorando la precisione delle coordinate. Il posizionamento differenziale può essere applicato al *range* del codice o della fase.



DGPS (Differential GPS): le correzioni in real-time riguardano esclusivamente le osservazioni di codice.

RTK (Real Time Kinematic): si trasmettono anche correzioni delle misure di fase. In questo caso è richiesto l'utilizzo della tecnica OTF per la risoluzione veloce dell'ambiguità intera, anche durante il movimento del Rx. Ciò comporta che attualmente, la modalità RTK può essere eseguita solo disponendo di ricevitori a doppia frequenza, gli unici dotati dell'opzione OTF.

Le correzioni vengono trasmesse dalla stazione base all'unità rover tramite segnali radio o telefonici utilizzando un particolare protocollo, chiamato **RTCM** (Radio Technical Commission for Maritime [service]). In particolare la versione 2.0 consente la sola trasmissione delle correzioni alle misure sul *range* di codice, mentre nella versione 2.1 sono presenti anche le correzioni sul *range* della fase.

Come vengono corrette le misure sull'unità rover ?

1) All'epoca t_0 il Rx della stazione base calcola una correzione

$$PRC^j(t_0) = -R_A^j(t_0) + \rho_A^j(t_0)$$

2) Da una serie temporale di correzioni PRC può essere valutata, con interpolazione numerica, la sua variazione nel tempo RRC. La correzione ad un'arbitraria epoca t si può approssimare con la seguente relazione:

$$PRC^j(t) = PRC^j(t_0) + (RRC^j(t_0))(t - t_0)$$

dove il termine $(t-t_0)$ prende il nome di **latenza**. Esso indica la differenza di tempo tra il calcolo della correzione, nella stazione base, e la sua applicazione (tempi di trasmissione, calcolo, ecc.) nel ricevitore remoto. Nelle applicazioni odierne si ammette un tempo di latenza max. di 20 ms, affinché le correzioni inviate al rover siano considerate valide.

3) Complessivamente all'epoca t , la misura (di fase o di codice) corretta sul ricevitore rover risulta:

$$PR(t) = PRM(t) + PRC(t) = PRM(t) + PRC(t_0) + RRC(t - t_0)$$

Tabella riassuntiva della modalità real-time

DGPS

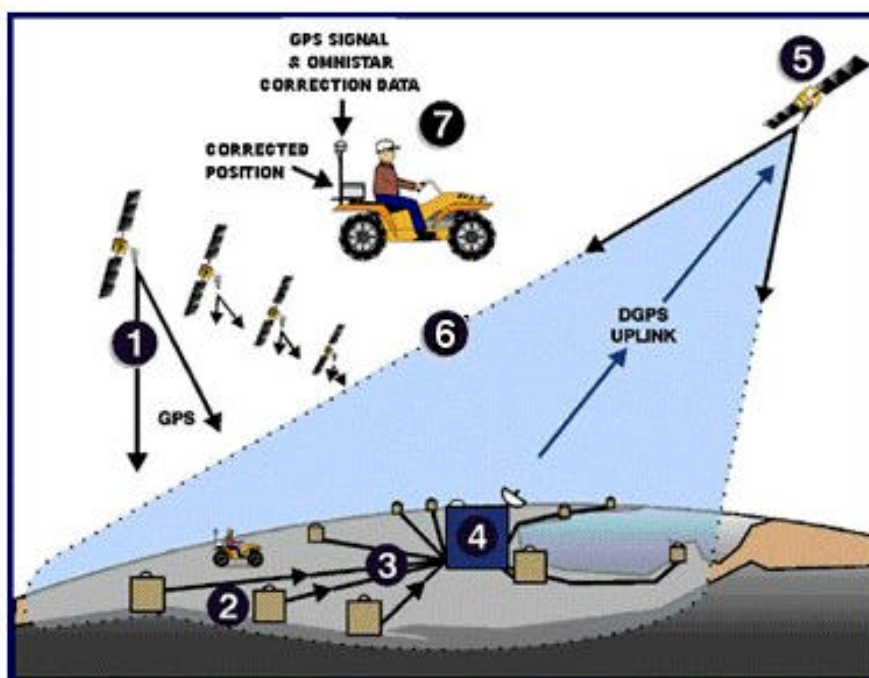
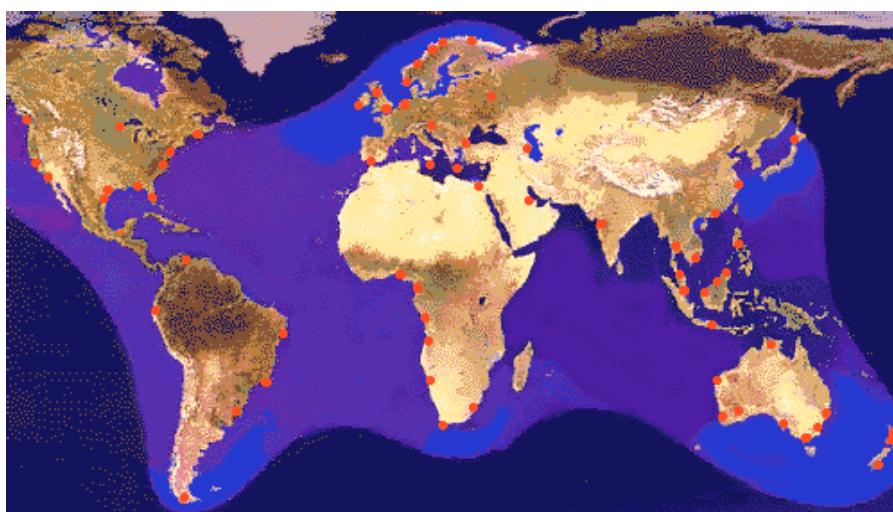
- richiede 3 SVs per una posizione in 2D e 4 SVs per una posizione in 3D
- precisione minore di 1 metro con 5 SVs, PDOP < 4 e tecnologia MAXWELL
- precisione da 1 a 3 metri negli altri casi
- richiede ponte radio

Tempo reale (RTK)

- alta velocità operativa
- media precisione: 2 cm +/- 2ppm
- sono sufficienti 1 o 2 epoche per ogni punto
- risultati disponibili in campagna
- tracciamento di 4 satelliti richiesto sia durante l'occupazione del punto che durante gli spostamenti
- richiede l'inizializzazione del rilievo
- durante l'inizializzazione sono necessari 5 satelliti
- lunghezza delle baseline inferiore ai 10 km.

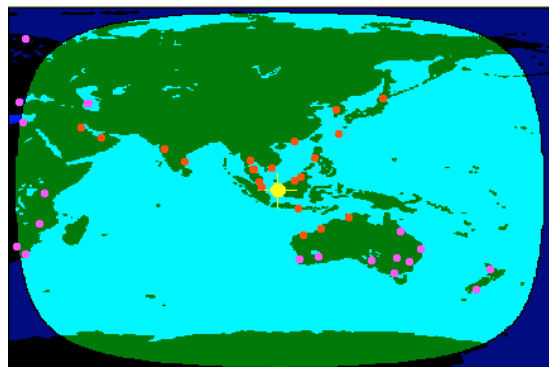
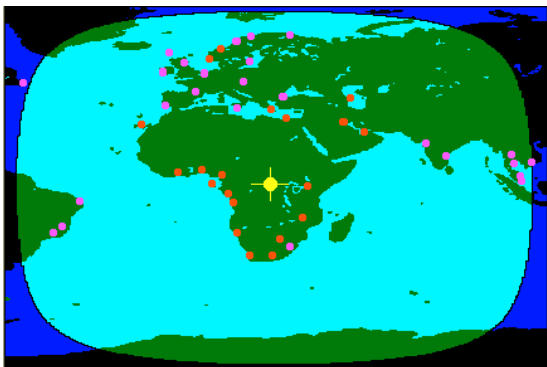
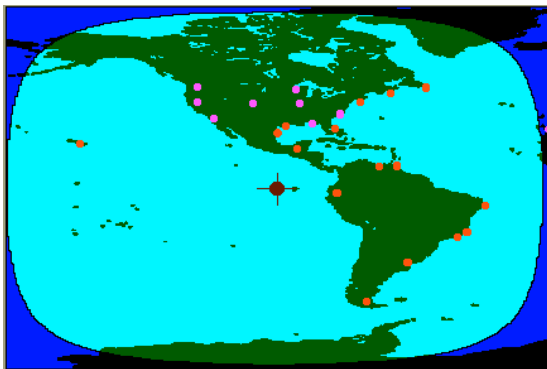
Sistema OMNISTAR

Rete costituita da più di 90 stazioni di riferimento e 9 satelliti geostazionari, controllati da 3 centri ubicati a Perth (Australia), Aberdeen (Gran Bretagna) e Houston (Texas, USA) che trasmette a pagamento le correzioni differenziali **DGPS** in tempo reale in tutto il globo.



The Omnistar system

- Poiché l'attendibilità della correzione differenziale risulta valida per un tempo massimo di 12,5 secondi, il sistema OMNISTAR trasmette un nuovo messaggio di correzione ogni 2,5 sec.
- Precisione sub-metrica, con Rx L1, tramite eliminazione degli errori dovuti alla ionosfera e troposfera. Inizialmente, ciascuna stazione di riferimento calcola una correzione atmosferica valida per la propria posizione. Quindi essa viene inviata nel messaggio a ciascun Rx utente, il quale vi sostituisce la posizione approssimata calcolata dal GPS per ottenere una correzione atmosferica valida per la posizione attualmente occupata.
- La posizione finale viene calcolata ai minimi quadrati, pesando inversamente la distanza tra Rx utente e le 16 stazioni di riferimento più vicine.



Quanto è preciso il GPS?

Dipende dal.....

- Tipo di ricevitore
- Tempo impiegato per le misure
- Metodo di rilevazione
- Posizione relativa dei satelliti
- Degrado inserito dal Governo USA

In pratica.....

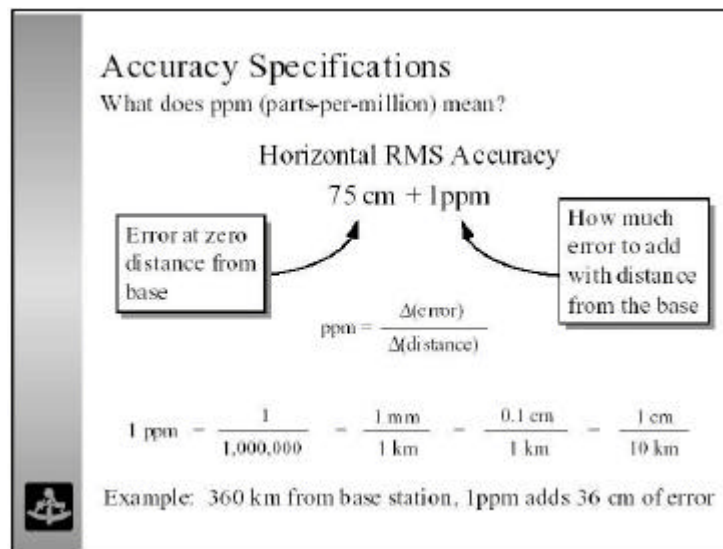
- Metrico con ricevitori non differenziali
- Da submetrico a 5 metri con ricevitori differenziali monofrequenza
- Sub-centimetrico con ricevitori di tipo geodetico (doppia frequenza)
- Rilievo Statico: $5\text{mm} \pm 1\text{ppm}$
- DGPS: $<1\text{m RMS}$
- RTK: $\pm 1\text{cm} + 2\text{ppm}$ in planimetria
 $\pm 2\text{cm} + 2\text{ppm}$ in quota

Accuratezza e precisione -1

- La **precisione** definisce la dispersione (deviazione standard) del set di misure attorno al proprio valor medio. Si indica di solito con il termine σ .
- L'**accuratezza** esprime invece quanto le misure effettuate sono vicine al valore *vero* della posizione del punto osservato.

Accuratezza e precisione - 2

L'accuratezza si indica con il termine **RMS** (*Root Mean Square Error*) e si compone generalmente di due parti, per tenere conto della degradazione di tale parametro all'aumentare della distanza tra rover e base. In particolare, il primo termine esprime l'entità dell'errore di posizionamento planimetrico (σ_{Hor}) a distanza zero dalla base, mentre il secondo termine (**ppm**, *parti per milione*) ci dice qual è l'errore aggiuntivo man mano che ci allontaniamo dalla base.



Come si calcolano la precisione delle misure e l'RMS?

1) Precisione

$$\bar{n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{nord}_i$$

$$\bar{e} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{est}_i$$

$$s_{est} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N (\bar{e} - \text{est}_i)^2 \right)}$$

$$s_{nord} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N (\bar{n} - \text{nord}_i)^2 \right)}$$



$$s_{Hor} = \sqrt{(s_{est}^2 + s_{nord}^2)}$$

2) Accuratezza

$$E_{ni} = \text{nord}_i - n_{vero}$$

$$E_{ei} = \text{est}_i - e_{vero}$$

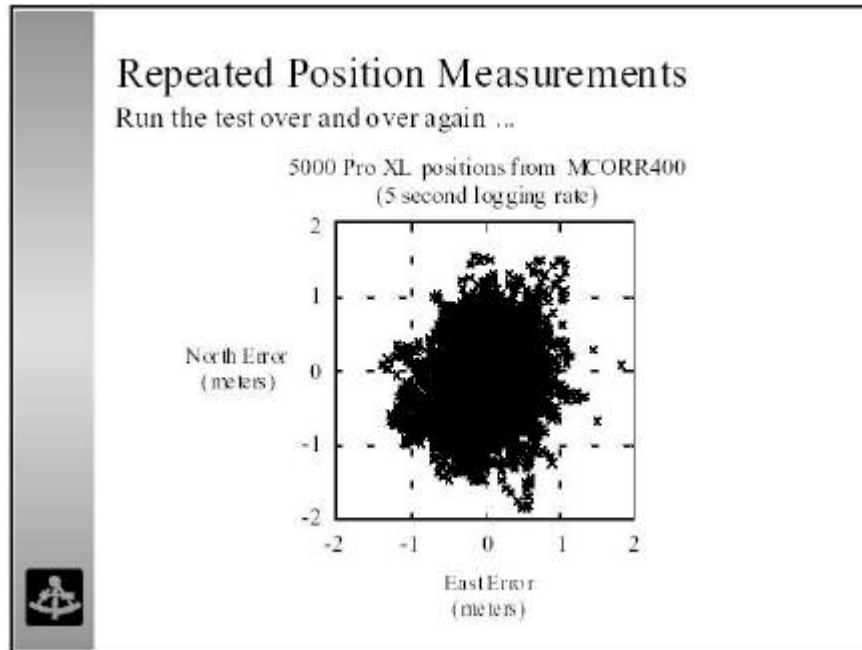
$$E_{Hi} = \sqrt{(E_{ei}^2 + E_{ni}^2)}$$



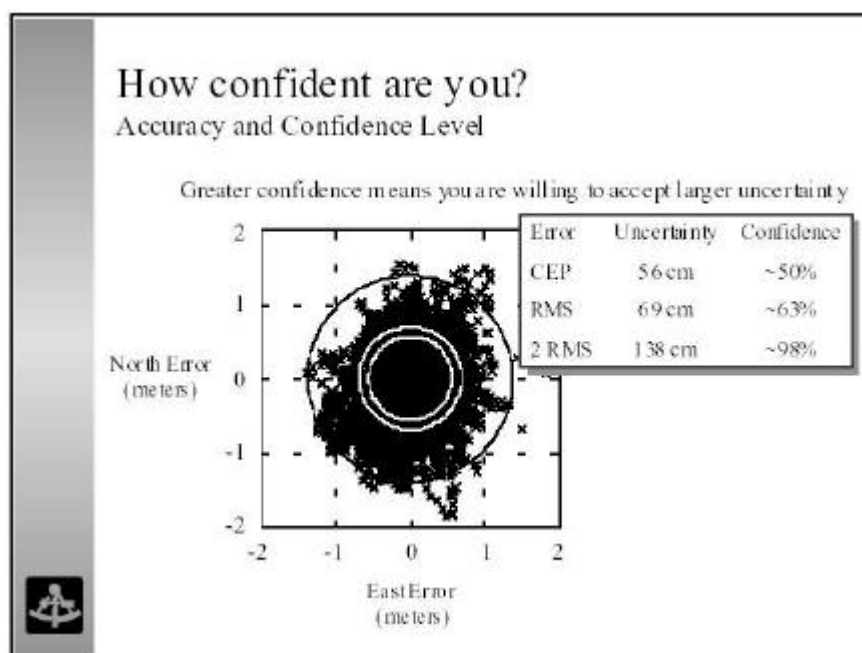
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N E_{Hi}^2 \right)}$$

Accuratezza e precisione - 3

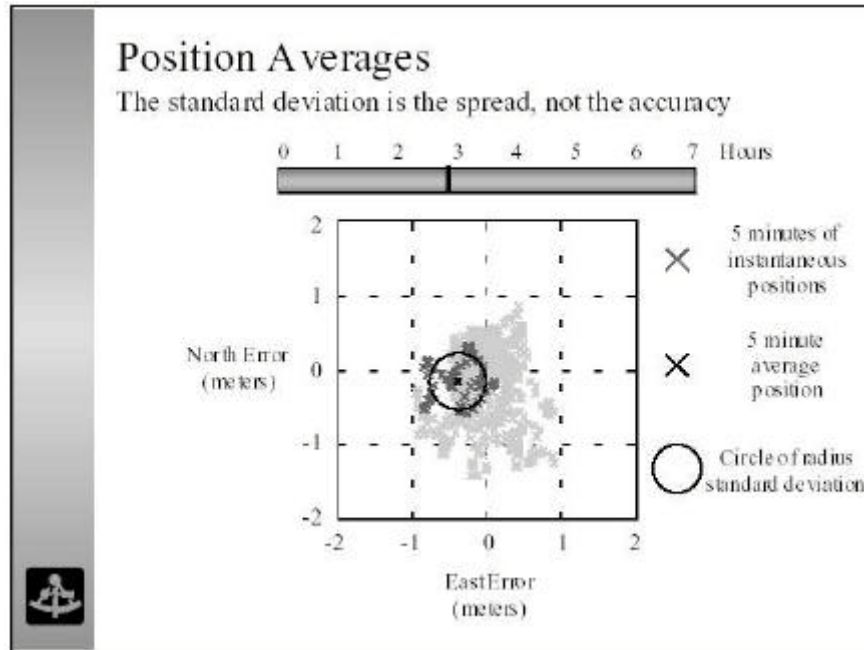
1) Rx. monofrequenza, 5000 osservazioni acquisite in 7 ore, epoche di 5 sec.



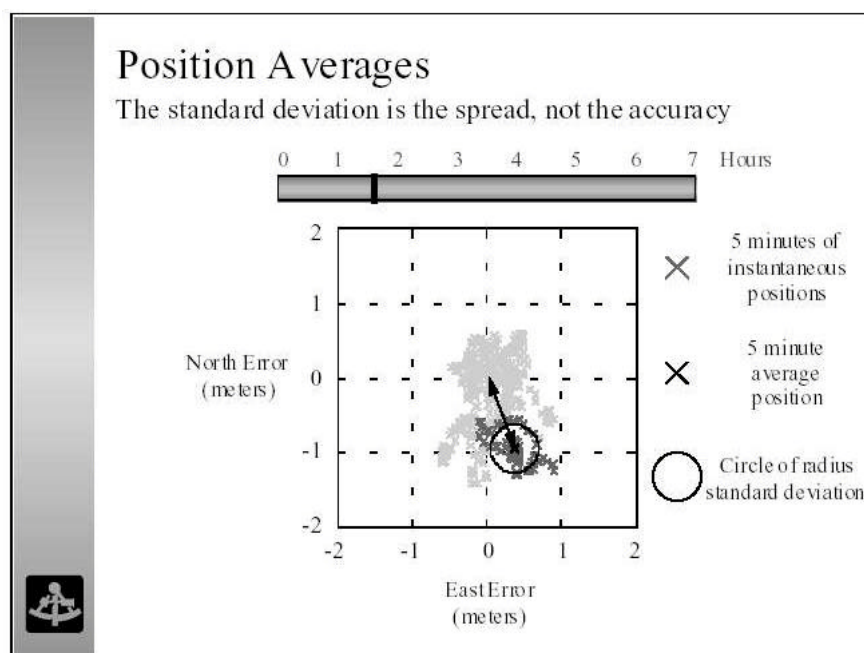
2) Il risultato del test è una semina di punti, variamente disposta attorno al valore *vero* delle coordinate del punto rilevato. La precisione delle misure può essere fornita secondo differenti parametri (CEP, RMS, 2nd RMS)



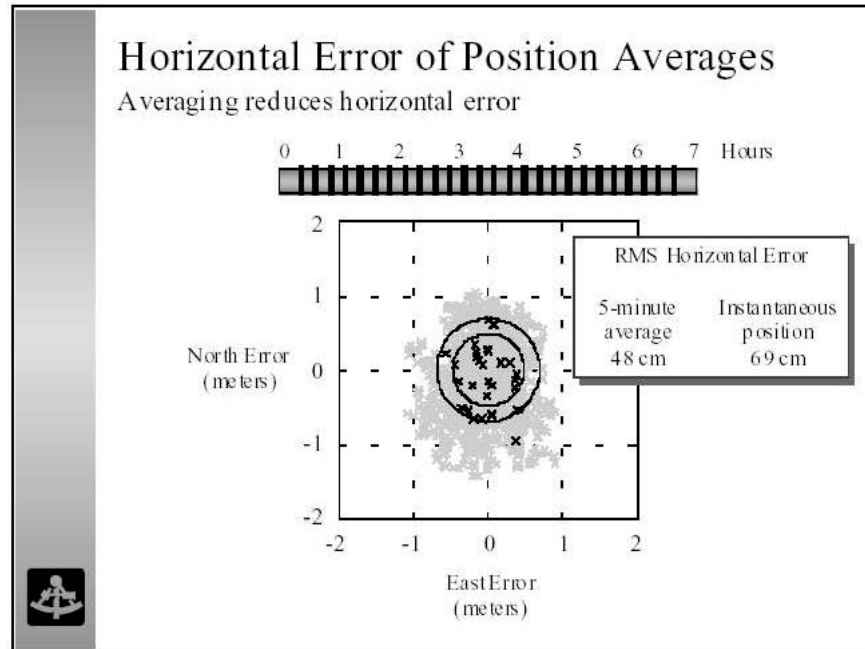
- 3) Valutazione dell'effetto di media temporale delle osservazioni. Vengono considerati sottinsiemi di 5 minuti di osservazioni. I corrispondenti set presentano valori di precisione e posizione del valor medio differenti da un set all'altro.



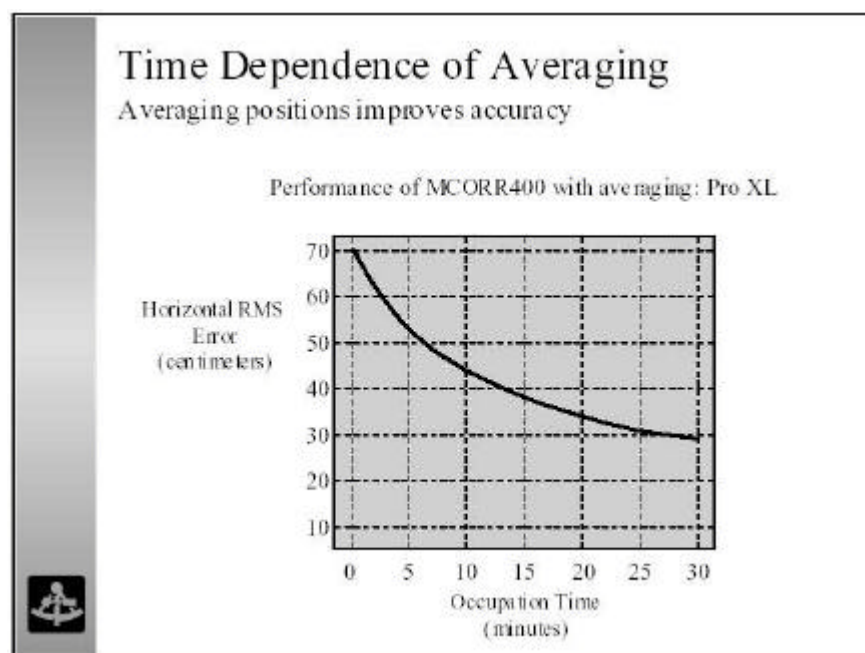
- 4) La deviazione standard (σ) non indica l'accuratezza della media del set di osservazioni (distanza dal centro del grafico), bensì la dispersione dei valori misurati attorno a tale μ . Ci sono casi in cui σ è minore di tale distanza e casi in cui è maggiore.



- 5) Confronto tra due risultati: distribuzione delle osservazioni istantanee (RMS di 69 cm) e distribuzione dei valori medi delle osservazioni istantanee mediate su 5 minuti (RMS di 48 cm).

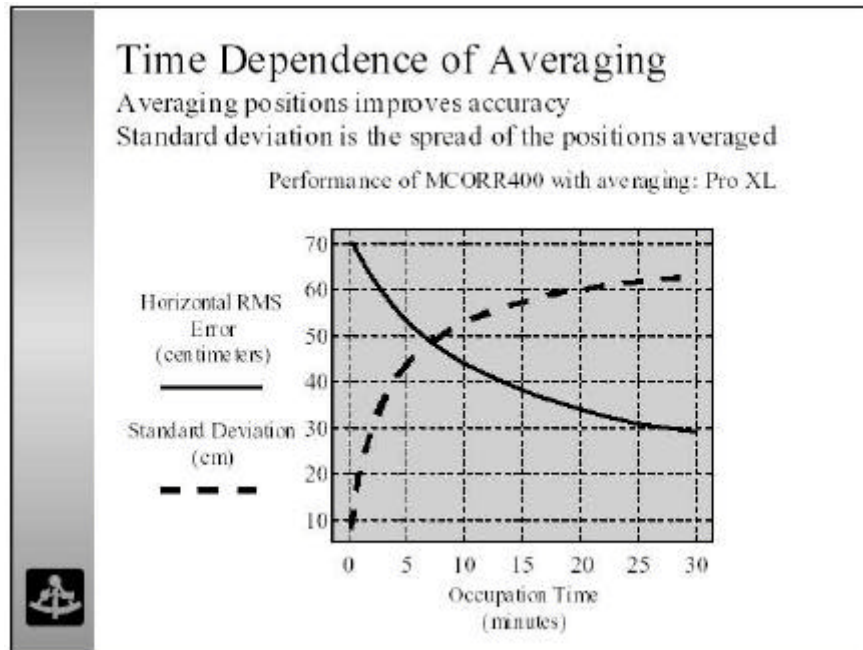


- 6) Conclusione: il tempo di occupazione influisce sull'accuratezza del risultato finale. Quanto più a lungo si staziona in osservazione su un punto, tanto migliore è l'effetto di media dei dati acquisiti e tanto più aumenta l'accuratezza del risultato.

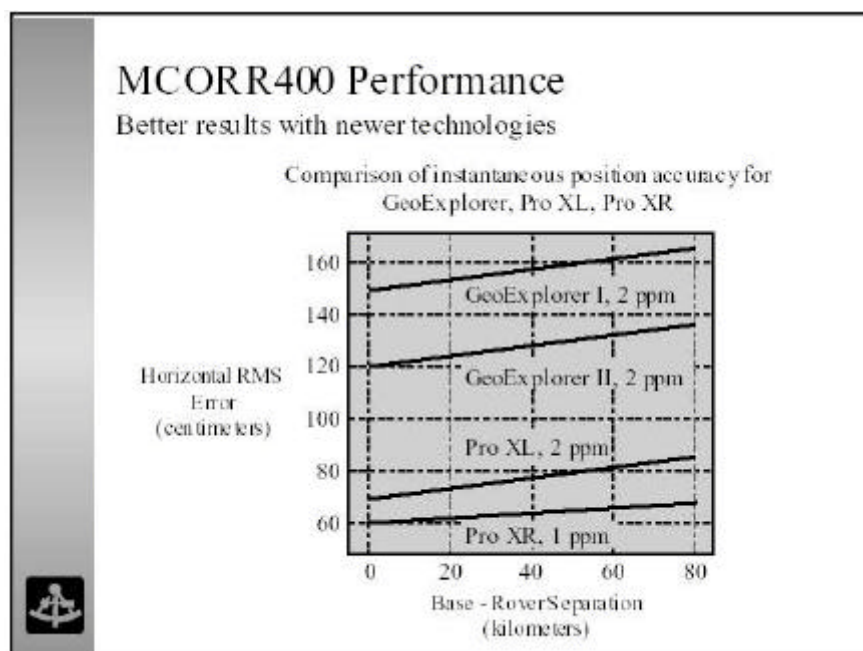


7) Accuratezza e precisione non sono tra loro correlate, in funzione del tempo di occupazione. A bassi valori di (σ) buona precisione del set di misure) possono corrispondere alti valori di RMS (bassa accuratezza).

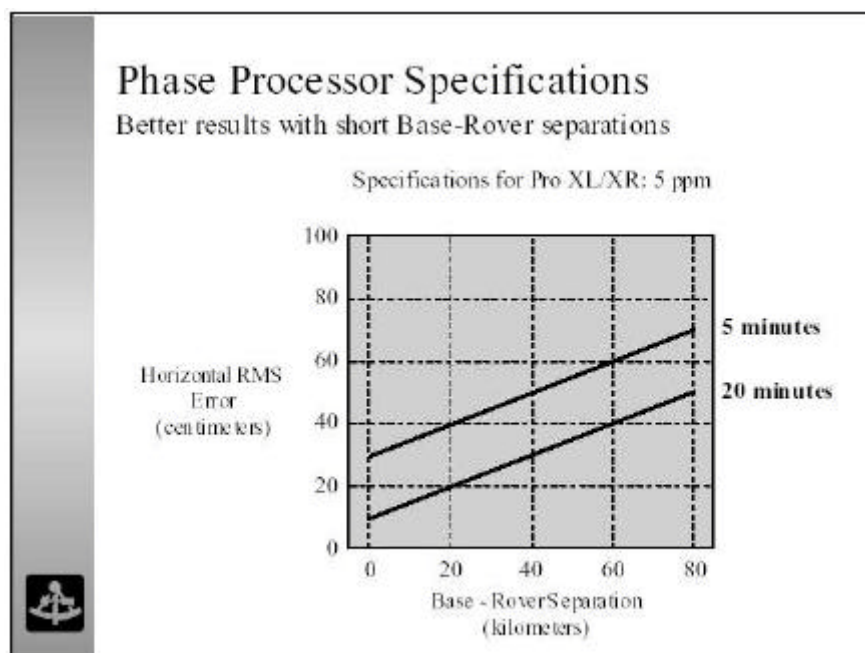
Indicativamente si può comunque dire che se $\sigma > 2 \text{ RMS}$ (dichiarato per quel tipo di Rx) per un set di osservazioni istantanee, in funzione della distanza base-rover, allora è probabile che le osservazioni del rover siano state effettivamente degradate da qualche fattore esterno (ad es. alto PDOP o scarse condizioni di visibilità dei Sv).



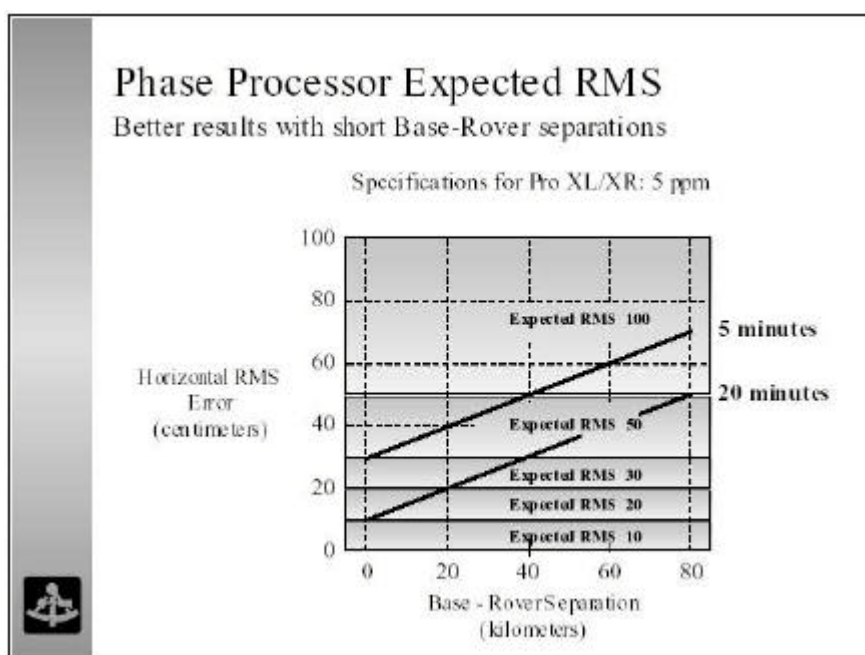
8) Anche differenti Rx, del medesimo produttore, offrono prestazioni differenti



9) L'effetto benefico di un aumento del tempo di occupazione, al variare della distanza base-rover, si presenta anche con le misure di fase.

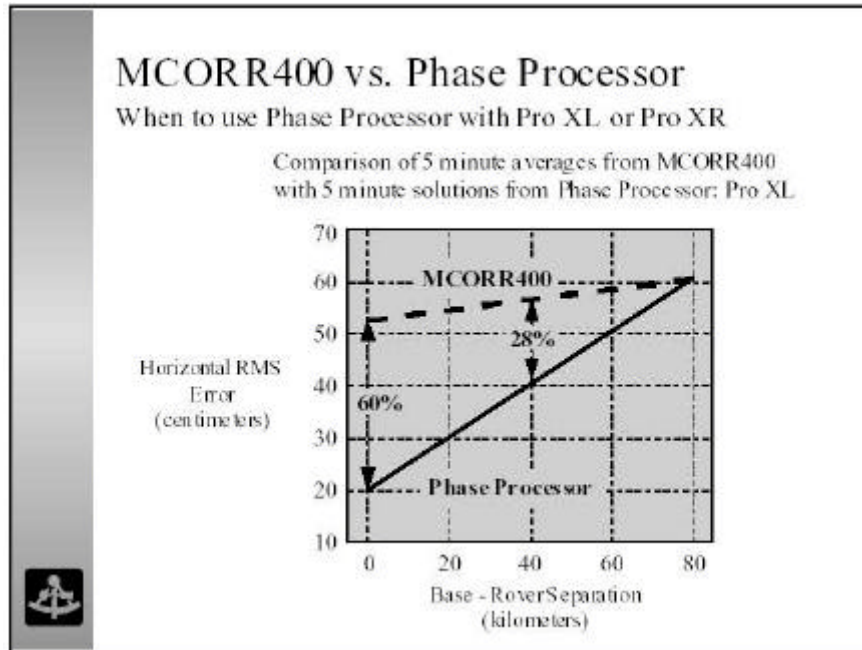


10) Analogamente al caso delle misure di codice, la differenza costruttiva del Rx (ad es. diverso firmware) si riflette sulle capacità prestazionali.

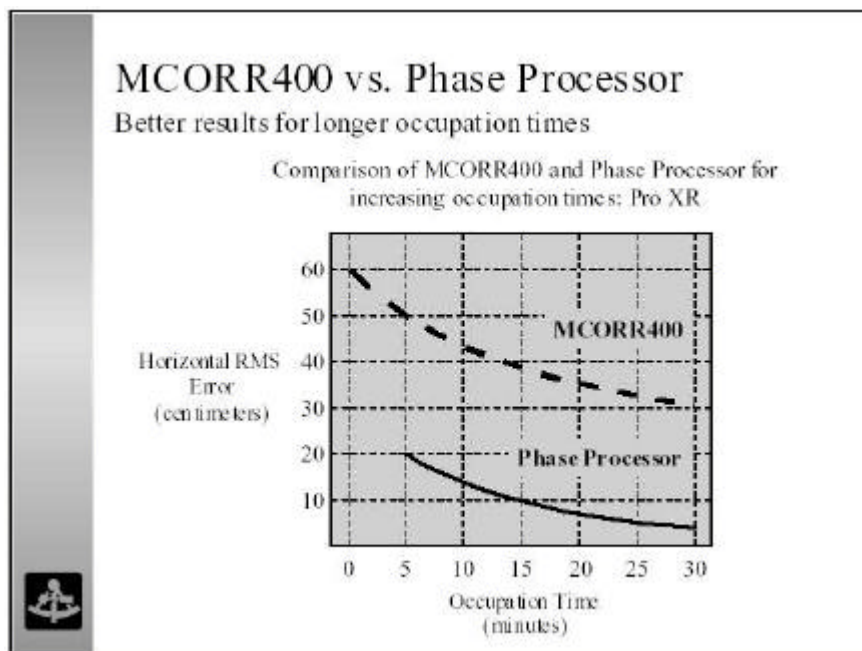


11) Per un medesimo Rx. le prestazioni variano notevolmente a seconda che si utilizzino osservazioni di codice o di fase.

La variabilità è funzione sia della distanza di separazione base-rover



.... sia del tempo di occupazione del punto



Inquadramento del rilievo GPS

Occorre “agganciare” il rilievo locale alle reti geodetiche di ordine zero, uno e due per i motivi:

1. per avere un unico sistema di riferimento per tutti i rilievi (la posizione assoluta GPS è imprecisa)
2. per inquadrare anche altimetricamente il rilievo
3. per passare dal sistema “WGS84”, (ITRF), IGM95 al sistema cartografico e viceversa.

PANORAMA DELLE RETI GEODETICHE GPS IN ITALIA

Ordine zero: stazioni permanenti GPS

- Vertici “attivi” in costante misura e ricalcolo definenti dinamicamente il datum
- distanza media di 150 km (in futuro), permettono di “risparmiare” un ricevitore
- forniscono dati “puliti” e servizi accessori (effemeridi, troposfera ecc)

Primo Ordine: rete IGM95

- è una rete “passiva” (occorre ristazionare), anche perciò è facilmente accessibile.
- definisce staticamente (al '95) un sistema di riferimento
- ha densità media di 20 km
- sono noti localmente i parametri di trasformazione con Roma40

Secondo Ordine: rete catastale

- rete “passiva” con distanza media <10 km
- ideale per misure rapido-statico e stop and go

NB: gli ordini indicati sono di tipo logico, senza riferimento alla precisione ed all'importanza

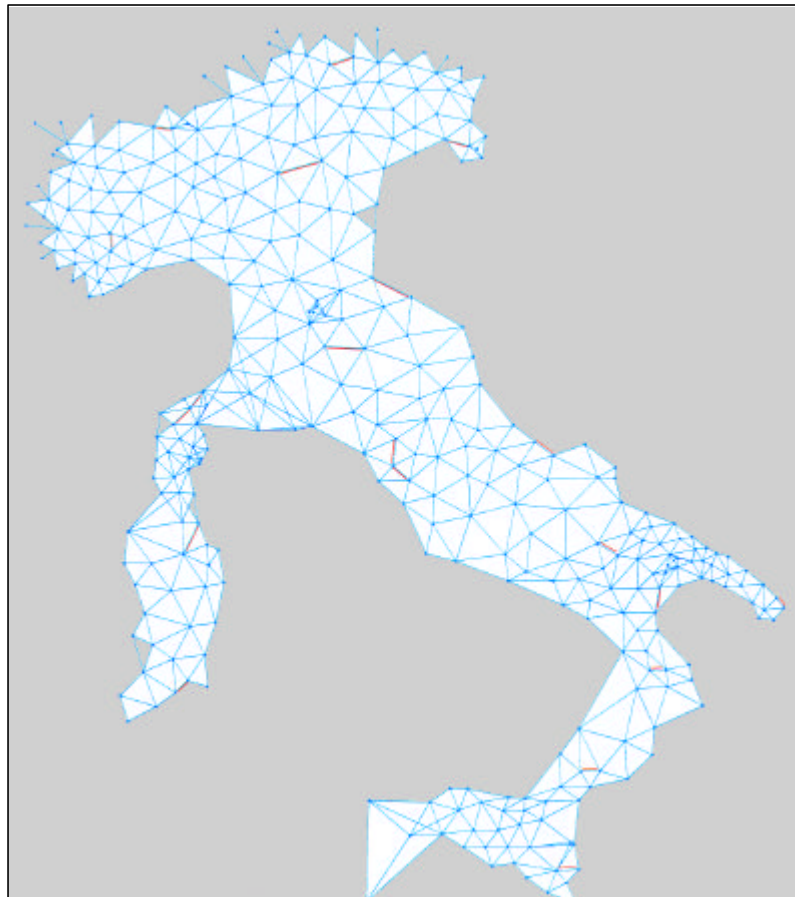
La rete IGM 95

Rete geodetica tridimensionale GPS con precisione nel posizionamento relativo migliore di 5 cm, riferita alla rete EUREF 89.

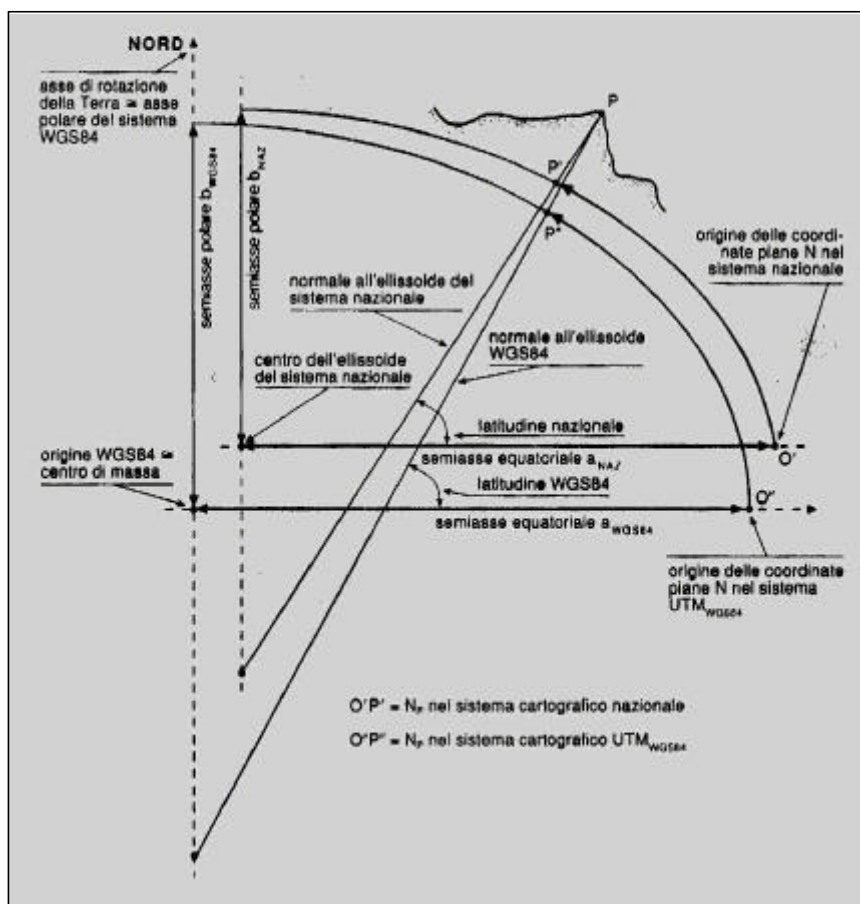
Caratteristiche della rete:

- 1236 punti materializzati stabilmente (circa 1 ogni 20 km)
- possibilità da parte degli utenti di effettuare rilievi geo-topografici sul territorio nazionale con GPS e riferire i risultati al sistema geodetico nazionale
- permette di stabilire le relazioni tra i sistemi di riferimento WGS-84 e Roma 40. Collegamento alla rete di livellazione nazionale.
- fornisce le coordinate dei vertici della rete in entrambi i sistemi, WGS 84 e Roma 40, unitamente ai 7 parametri di trasformazione per ogni punto, validi per un intorno di **10** km .

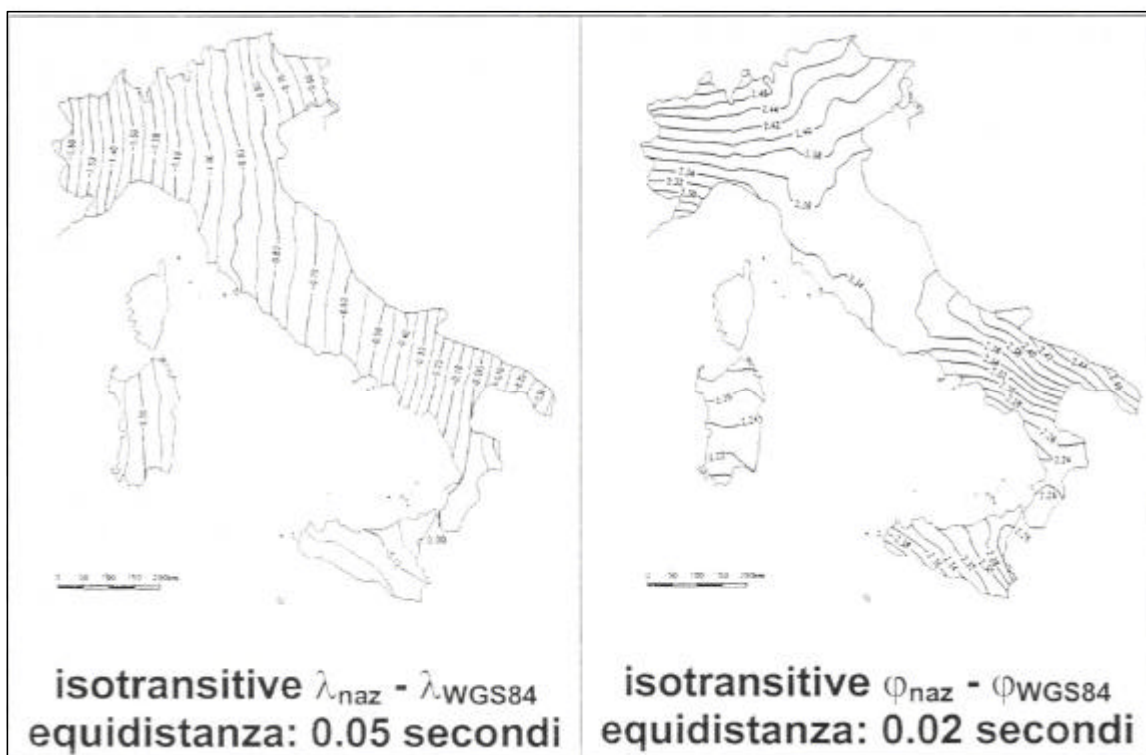
Rete geodetica italiana



Differenze tra Roma-40 e WGS-84



Rappresentazione grafica delle differenze di coordinate geografiche tra sistema nazionale e WGS 84 mediante isotransitive.



Trasformazione di DATUM

Spesso le misure GPS devono essere riportate nel sistema geodetico nazionale Roma 40, su cui si basa la Cartografia Ufficiale italiana..

Il datum Roma 40 è definito dai seguenti elementi:

- ellissoide Internazionale (Hayford), $a = 6378388$ m, $e^2 = 6.722670022 \cdot 10^{-3}$
- orientamento Monte Mario ($\lambda = 12^{\circ} 27' 08.40''$, $\varphi = 41^{\circ} 55' 25.51''$)
- azimut Monte Mario - Monte Soratte ($\alpha = 6^{\circ} 35' 00.88''$)

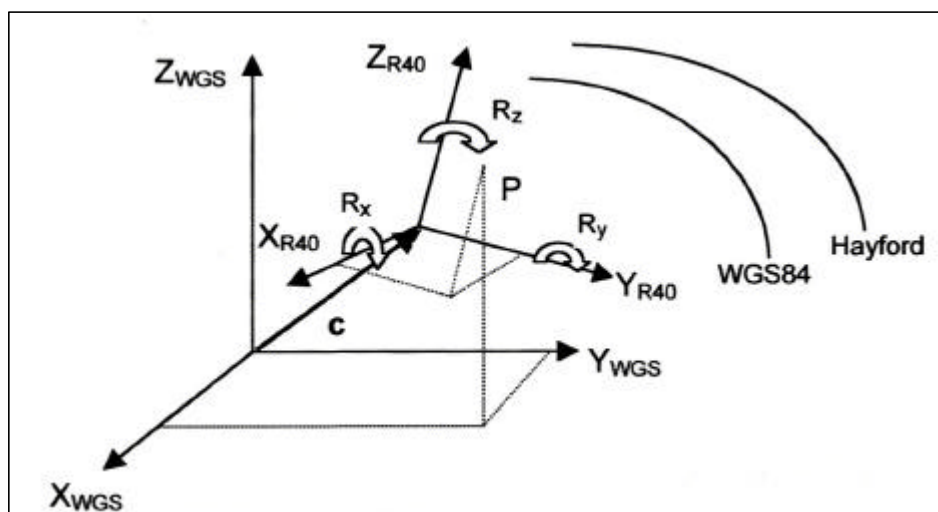
La trasformazione WGS84 \rightarrow Roma40 avviene con un cambio da sistemi di riferimento omogenei. Generalmente si adotta la trasformazione di **Helmert a 7 parametri** (3 rotazioni, 3 traslazioni, 1 fattore di scala), secondo la formula seguente:

$$\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix}_{Roma40} = (1 + k) \mathbf{R}(f_X, f_Y, f_Z) \begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix}_{WGS} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}_{WGS}$$

Fattore di scala

Matrice di rotazione da WGS a Roma40

Vettore di traslazione delle origini da WGS a Roma40



Relazioni spaziali tra i due sistemi di riferimento

Tabella riassuntiva dei parametri cartografici associati ai datum Roma40, ED50 e WGS84

	Sistema geodetico-cartografico nazionale		Sistema geodetico-cartografico internazionale UTM		Sistema geodetico-cartografico UTM WGS84	
Parametri ellissoide	Hayford: semiasse equatoriale $a = 6378388$ m Eccentricità $e^2 = 0.006722670022$				WGS84: $a = 6378137$ m $e^2 = 0.006694379990$	
DATUM	Roma 1940		ED50		WGS84	
Origini longitud. λ	Roma Monte Mario (MM)		Greenwich (GW)			
Ampiezza fusi $\Delta\lambda$	6° per tutti i fusi					
Denominazione fusi	Ovest	Est	32	33	32	33
Meridiani centrali λ_0	-3°27'08.40" Est di MM	2°32'51.60" Est di MM	9° Est di GW	15° Est di GW	9° Est di GW	15° Est di GW
coordinate cartograf.	GAUSS-BOAGA		UTM		UTM-WGS84	
Falsa origine x_0	1500 km	2520 km	500 km per tutti i fusi			
Falsa origine y_0	0 km		0 km per l'emisfero Nord 10.000 km per l'emisfero Sud			
Modulo contraz. m_c	0.9996 per tutti i fusi					

Convenzioni dei sistemi geodetici e cartografici, nazionale e internazionale

Determinazione dei 7 parametri di trasformazione

- Note le coordinate (X, Y, Z) di almeno 3 **punti doppi**, cioè punti le cui coordinate sono note in entrambi i sistemi di riferimento;
- Utilizzando i parametri certificati nelle monografie dell' IGM (Istituto Geografico Militare), relativi alla rete IGM 95.

Al fine di migliorare la precisione della trasformazione (bassi valori dei residui sui punti impiegati) è consigliabile utilizzare un set di punti si numerosità maggiore di quella minima (ad es. 8-10). Un sottoinsieme di questi (ad es. 6) sono effettivamente impiegati per il calcolo dei parametri (che avviene in tal caso mediante stima ai minimi quadrati), mentre i restanti servono per controllo della bontà della trasformazione.

E' consigliabile scegliere i punti doppi in modo che siano uniformemente distribuiti intorno alla zona soggetta al rilievo GPS, in modo da ripartire in modo più omogeneo i residui della trasformazione su tutta la zona stessa.



CANCIA (Bottega del Restauro)

012704

029 5620

Nazione: ITALIA
Provincia: BELLUNO
Comune: BORCA DI CADORE
Carabinieri: SAN VITO DI CADORE

Proprietà: Lorenzo Manerdi
Indirizzo: c/o Bottega del Restauro L. & C. - Via Venezia, 1
Comune: BORCA DI CADORE
Cap: 32040 Tel: 0436 482448 Fax:
Provincia: BELLUNO

Materializzazione:

Centrino di tipo "GPS C" ubicato sul muro a reita sulla SS. 51 a pochi metri dall'esercizio commerciale "Bottega del Restauro".

Geografiche (Roma40)
φ: 46°25'32,378"
λ: -00°13'14,695"

Piane (Gauss-Boaga)
Q N: 5.146.516,82
Q E: 1.748.308,56

Geografiche (WGS84)
φ: 46°25'34,803"
λ: 12°13'52,987"

Quota s.l.m.: 940,76
U N: 5.145.165,60
U E: 2.307.279,01

Piane (UTM-WGS84)
Q N: 5.146.492,04
Q E: 748.278,54

Accesso:

Informazioni ausiliarie:

Vertici collegati:

R 0039 ## 014#

Contrassegno di tipo Cso
Bullone a muro

Alt: -0,58

Parametri: Tx: 104,22 Rx: -0,134"
Ty: -7,94 Ry: -3,263"
K: 20,40 Tz: 6,51 Rz: -2,974"

Stazioni astronomiche:

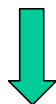
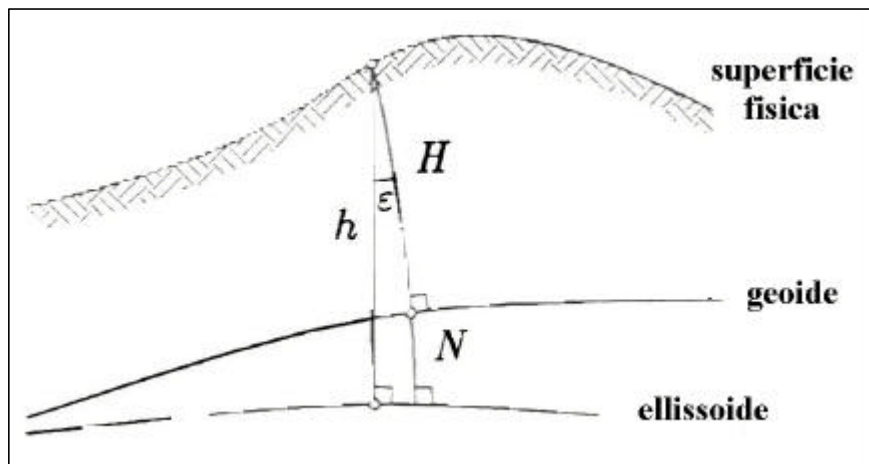
1993

Altimetria con il GPS -1

- Il GPS fornisce la quota **ellissoidica** “**h**” di un punto, cioè la distanza di questo dalla superficie dell’ellissoide WGS 84, misurata lungo la normale ad esso.
- Anche dopo le trasformazioni di coordinate la quota (ricavata dalle misure GPS) è sempre ellissoidica, ma riferita al nuovo ellissoide (es. Roma 40).
- Per scopi ingegneristici e di progettazione, le quote (**H**) sono riferite alla superficie del Geoide (quota **ortometrica**).
- Per poter esprimere quindi le quote misurate con il GPS rispetto al geoide è necessario conoscere localmente l’**ondulazione geoidica N**, cioè la differenza tra h ed H per uno stesso punto. Tali quote sono legate tra loro dalla seguente relazione:

$$h = H + N$$

La formula è approssimata ma sufficiente: la deviazione della verticale ϵ (*anomalia geoidica*) è al massimo di 30”.



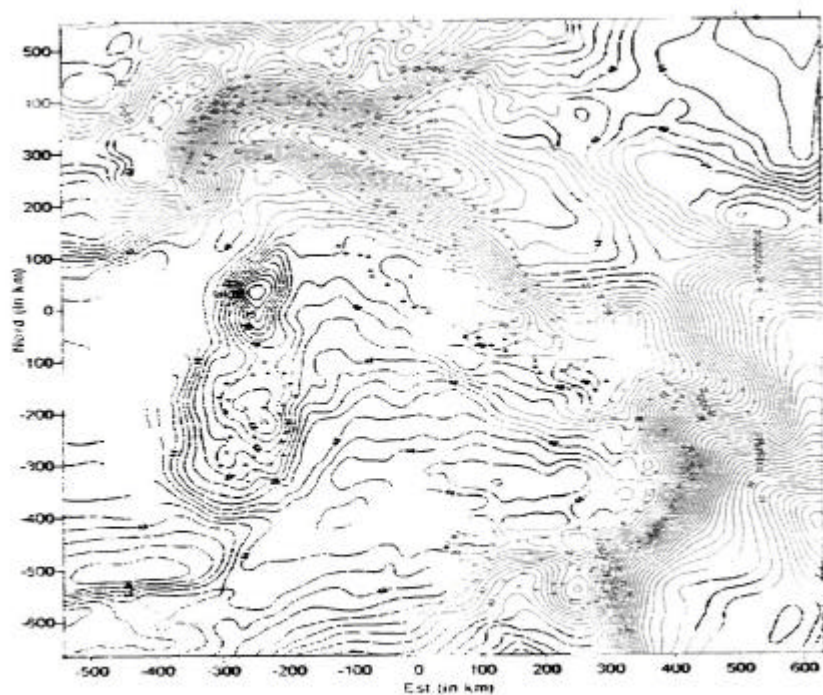
E' dunque importante conoscere l'ondulazione del geoide N o la sua variazione a partire da un punto di h e H note.

Altimetria con il GPS -2

Come si determina N?

Solo in ambiti ristretti (< 10 km) il geoide può essere approssimato con un **piano**. In tal caso, similmente a quanto accade per le trasformazioni di coordinate, si utilizzano almeno 3 punti doppi, di cui si conoscano le quote ellissoidiche sia da misure GPS che da livellazioni. Quindi si calcolano le ondulazioni N in corrispondenza di tali punti e si stimano ai minimi quadrati i parametri del piano che meglio approssima la distribuzione dei valori N trovati. Infine per ogni altro punto GPS battuto si calcola l'ondulazione tramite il piano stimato e con la formula precedente si perviene alla corrispondente quota ortometrica..

Per ambiti più estesi si può ricorrere a modelli globali, che però contengono solo in parte l'effetto gravimetrico dovuto alle masse topografiche locali. In tal caso è preferibile usare modelli locali del geoide. In Italia in particolare, si utilizza il modello **ITALGEO 95** realizzato dal Politecnico di Milano. Esso fornisce una stima di N con precisione assoluta decimetrica e relativa di pochi cm su basi di diversi km. In questo modello il territorio è suddiviso in celle di 3' x 3'; per i punti GPS che cadono all'interno di tali celle il valore di N è calcolabile tramite interpolazione dai valori di ondulazione associati ad ogni nodo della griglia, ricavati da misure gravimetriche.



Modello ITALGEO95

Progettazione di un rilievo GPS -1

1) Scelta del sito di misura

- Individuazione dei siti su cartografia (scala media/piccola) e ricognizione per verifica
- Assenza ostacoli sopra un'elevazione di 15° (verificabile con misure speditive di azimut ed elevazione)
- Assenza superfici riflettenti (metalliche, speculari o altro) per ridurre l'effetto dei fenomeni di *multipath*
- Assenza campi elettromagnetici (dovuti a radiofrequenza, elettrodotti o altro): verifica assenza di disturbi sul segnale GPS



Utilizzo del software di **planning** disponibile in molti software di elaborazione dati GPS

2) Scelta della finestra di osservazione

- **Periodo ottimale**: si ha quando si possono osservare il maggior numero di SV
- **Bontà della configurazione satellitare**: si misura con l'indice GDOP, consigliabili valori < 7 (NB: I DOP rappresentano un'immagine istantanea della costellazione, in rapido cambiamento).
- La scelta può essere condizionata dagli ostacoli nel sito.



Skyplot: rappresentazione polare percorso satelliti in funzione di elevazione, azimut. Riporto ostacoli su skyplot. Scelta costellazione meno disturbata da ostacoli.

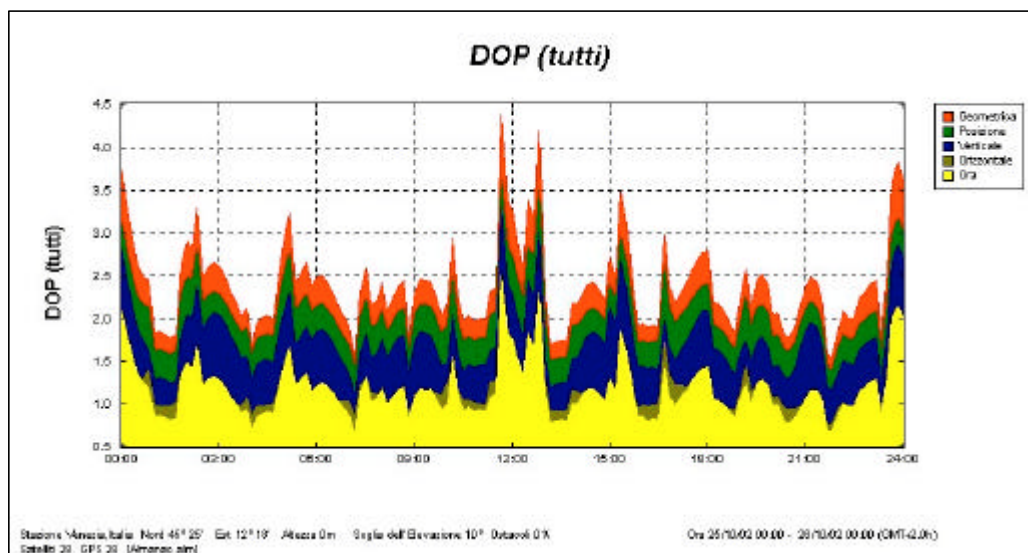
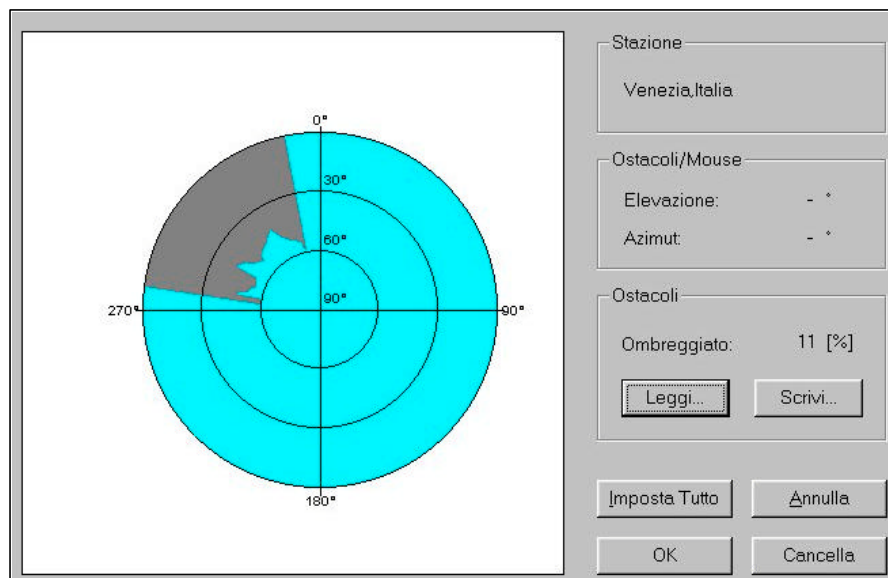
Nome della Stazione:
 Venezia,Italia

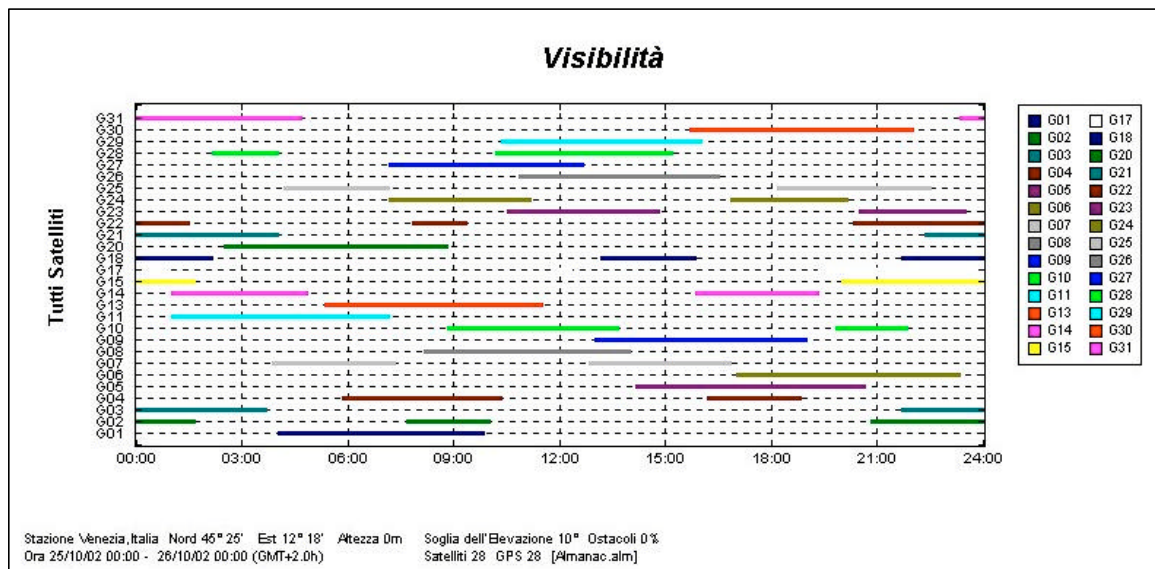
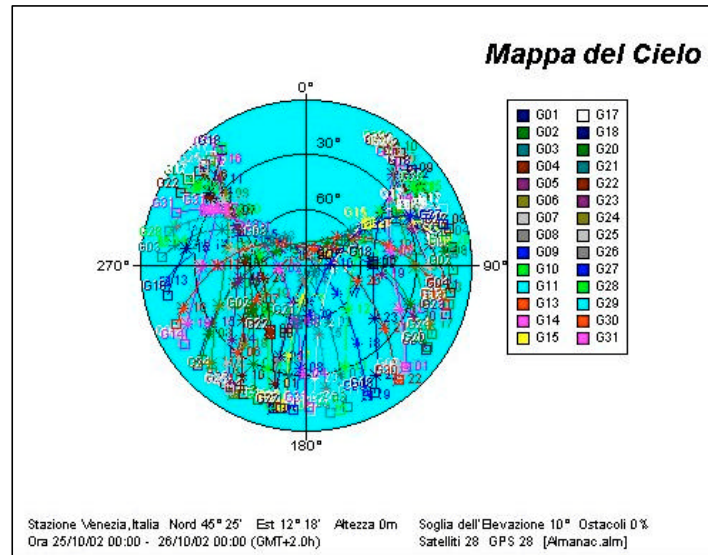
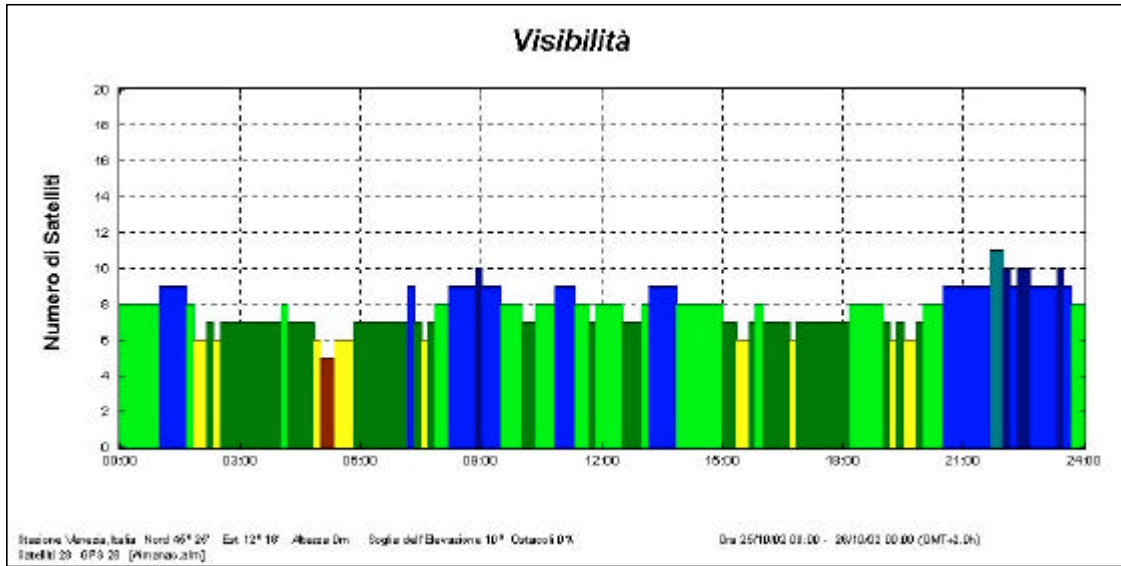
Posizione:
 Latitudine: N 45 25
 Longitudine: E 12 18
 Altezza: 0 (m)
 Soglia: 10

Ora:
 Data d'inizio: 25/10/02
 Ora d'inizio: 00:00
 Durata: 24 (h)
 Intervallo: 10 (min)

Zona di Fuso:
 (GMT + 1.00 h) Amsterdam, Berlino, Berna, Roma, Stoccolma, Vienna
 DST Differenza con 2.0 (h)

OK
 Cancella
 Applica
 Elimina
 Ostacoli...
 Mappa...
 Città...
 Oggi
 Zona di Fuso...





Progettazione di un rilievo GPS -2

Fattori influenzanti la precisione del rilievo:

- Lunghezza della base tra stazione GPS "fissa" e "mobile"
- Numero di satelliti visibili e DOP
- Tipo di ricevitore (singola o doppia frequenza)
- Rapporti segnale/rumore (SNR) con cui si riceve
- Presenza di fattori che favoriscono fenomeni di multipath

In generale: maggiore è il numero di satelliti, migliori sono i DOP, minore è il tempo di acquisizione

Esempio: una base di 1-2 km può essere risolta:

Circa 30 min - ricevitore solo L1 con 4 satelliti

Pochi minuti (<10) - ricevitore L1, L2 con 6 o più satelliti

Si riportano tempi indicativi di misura, in condizioni ionosferiche normali, per un ricevitore solo L1 e 4-6 satelliti:

Lungh. base	Lungh. sessione
1 km	20-35 min
5 km	25-45 min
10 km	35-60 min
20 km	55-90 min

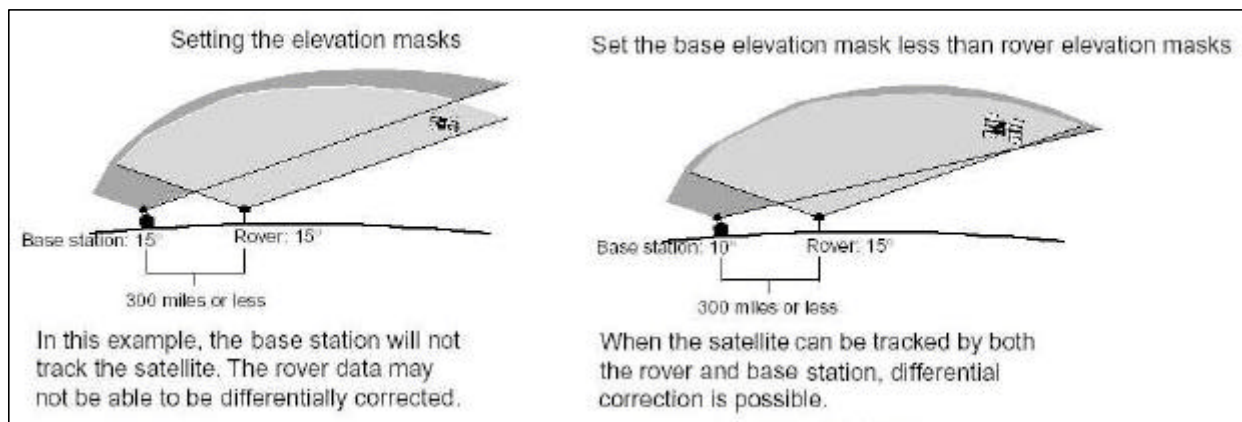
NB: non è in generale consigliabile, per problemi di ritardo ionosferico, operare sopra i **20 km** con ricevitori singola frequenza

Con ricevitori doppia frequenza si possono risolvere basi di 15 km con pochi minuti di acquisizione (tecnica **Wide-Lane**). Le precisioni millimetriche potrebbero in teoria essere raggiunte con una sola epoca di misura: i tempi lunghi di acquisizione sono necessari per il fissaggio dell'ambiguità di fase (una base di 1 km richiede per questo 5-10 min con solo L1). I tempi si riducono con ricevitori doppia frequenza. Basi lunghe (decine o centinaia di km) richiedono l'impiego di ricevitori doppia frequenza e tecniche statiche, con lunghezze di sessione di diverse ore, da stabilire in funzione dell'applicazione.

Progettazione di un rilievo GPS -3

Parametri da impostare in campagna:

- Elevazione satelliti sopra l'orizzonte (**Elevation Mask**), generalmente $\geq 10^0$ - 15^0
Nel caso di rilievi cinematici la maschera di elevazione del rover dev'essere $> 1^0$ rispetto a quella della base per ogni 100 km di distanza da questa.



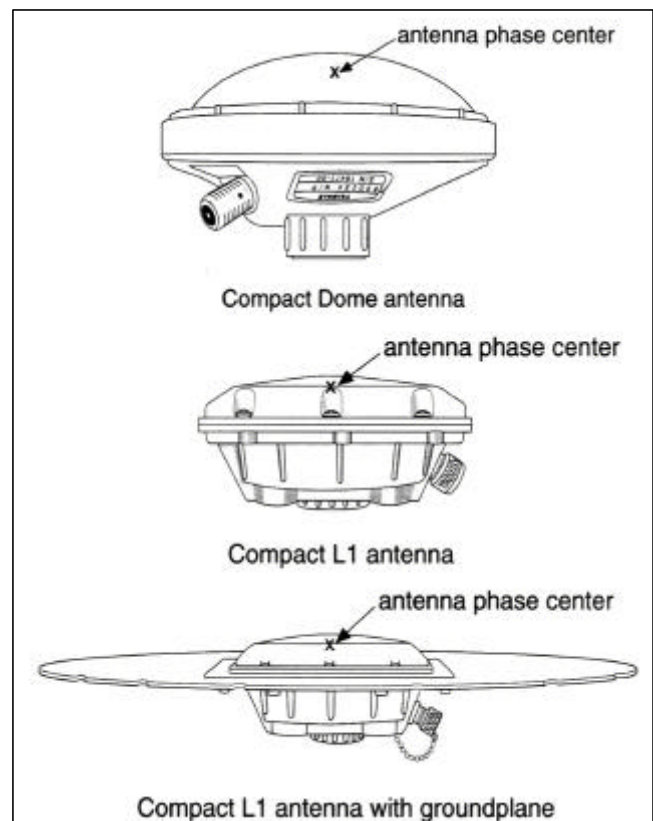
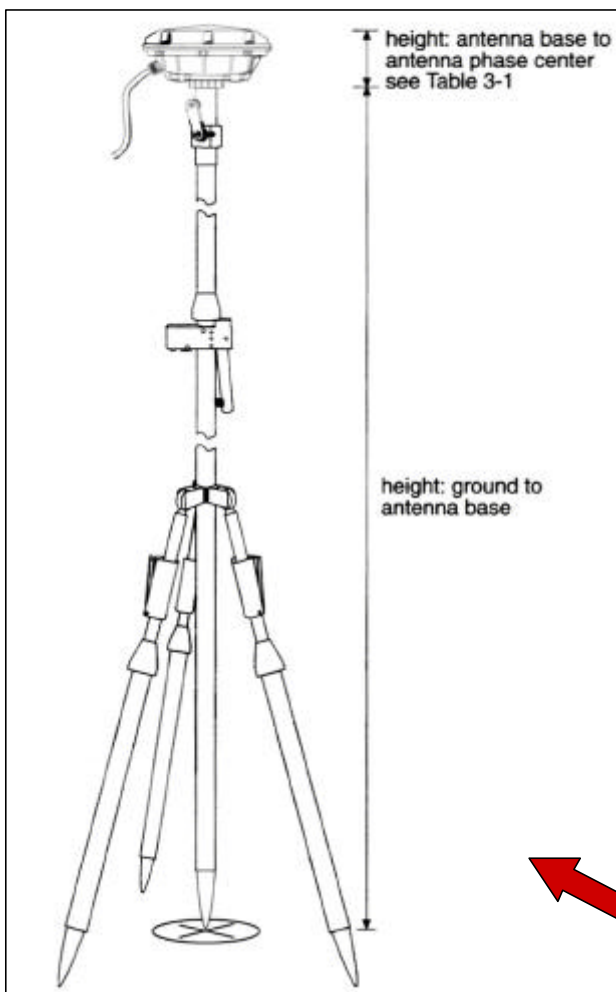
- Rapporto segnale disturbo (**SNR**), ≥ 6 dB
- PDOP mask ≥ 7
- Epoca di misura (1, 5, 10, 15, 30 sec), per rilievi cinematici l'epoca di osservazione del rover dev'essere un multiplo intero di quella sulla base, mentre dev'essere il medesimo per tutte le stazioni nel caso statico e fast-static.
- Misura altezza dell'antenna (distanza **centro di fase** - punto a terra)
- Modalità di acquisizione dati (3D, 4 o più SV; 2D, ultima quota calcolata come quarto dato, mancante)
- Tempo di inizializzazione, da impostarsi nel caso di rilievi cinematici con osservazioni di fase utilizzando ricevitori monofrequenza

Centro di fase: punto geometrico di un'antenna GPS a cui si riferiscono le coordinate di posizione calcolate dal ricevitore.

La posizione di tale punto può essere indicata direttamente sull'antenna (es. Groundplane) oppure è indicata al ricevitore direttamente mediante un opportuno codice identificativo.

La misura dell'altezza dell'antenna dal centro di fase al punto a terra va ripetuta tre volte su punti diversi della stessa: se i valori differiscono di + di **5mm** le misure vanno rifatte, altrimenti si prende la *media* delle misure come valore effettivo.

Esempi di posizione del centro di fase per diverse tipologie di antenna:



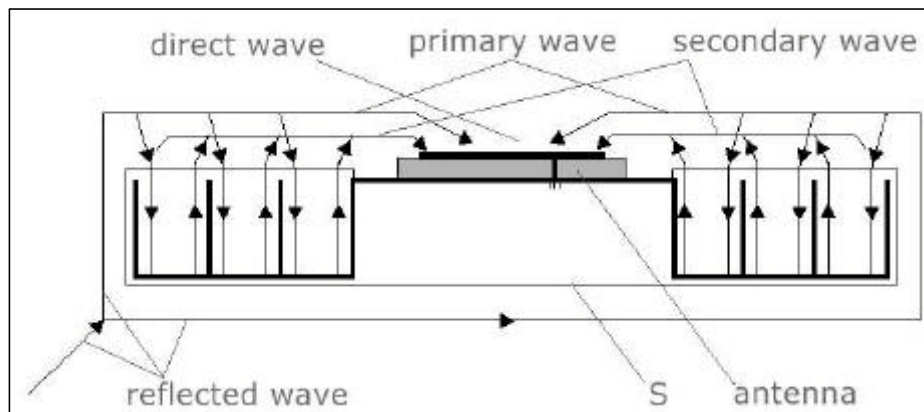
Come si misura l'altezza dell'antenna da terra

Antenna Choke Ring

La choke ring ground plane consiste di numerose lamine sottili, disposte ad anelli concentrici attorno al centro dove è posta l'antenna vera e propria.



- Il principio di funzionamento si basa sul fatto che il segnale complessivamente ricevuto è composto da una parte diretta ed una riflessa dagli oggetti circostanti.
- Le scanalature nella zona intermedia tra gli anelli hanno effetto sul segnale diretto diminuendo il guadagno di antenna per bassi angoli di elevazione, per angoli più elevati l'antenna funziona praticamente come tutte le altre ground plane piatte.
- L'effetto maggiore si ha sul segnale riflesso dal basso. Infatti, in prossimità dell'antenna il campo elettromagnetico del segnale riflesso è scomponibile in due parti: un campo primario ed uno secondario. Se quindi le onde dei due campi del segnale riflesso sono in opposizione di fase (180°), allora tali componenti si elidono tra loro lasciando solo la componente diretta come segnale dominante: il fenomeno del multipath viene eliminato.



- Per una data antenna choke ring ground plane, la soppressione completa del multipath si verifica solo a certi angoli di elevazione, per altri valori il multipath viene eliminato parzialmente. Il massimo di riuzione si verifica di solito allo zenith e decresce verso l'orizzonte.
- Una choke ring ha un effetto ottimale solo ad una particolare frequenza del segnale ricevuto e quindi viene progettate per una determinata frequenza. Ad esempio se prevista per la L1 non ha effetto sulla L2, mentre se progettata per L2 allora ha qualche beneficio anche sulla L1.

Altezza
dell'ostacolo (m)

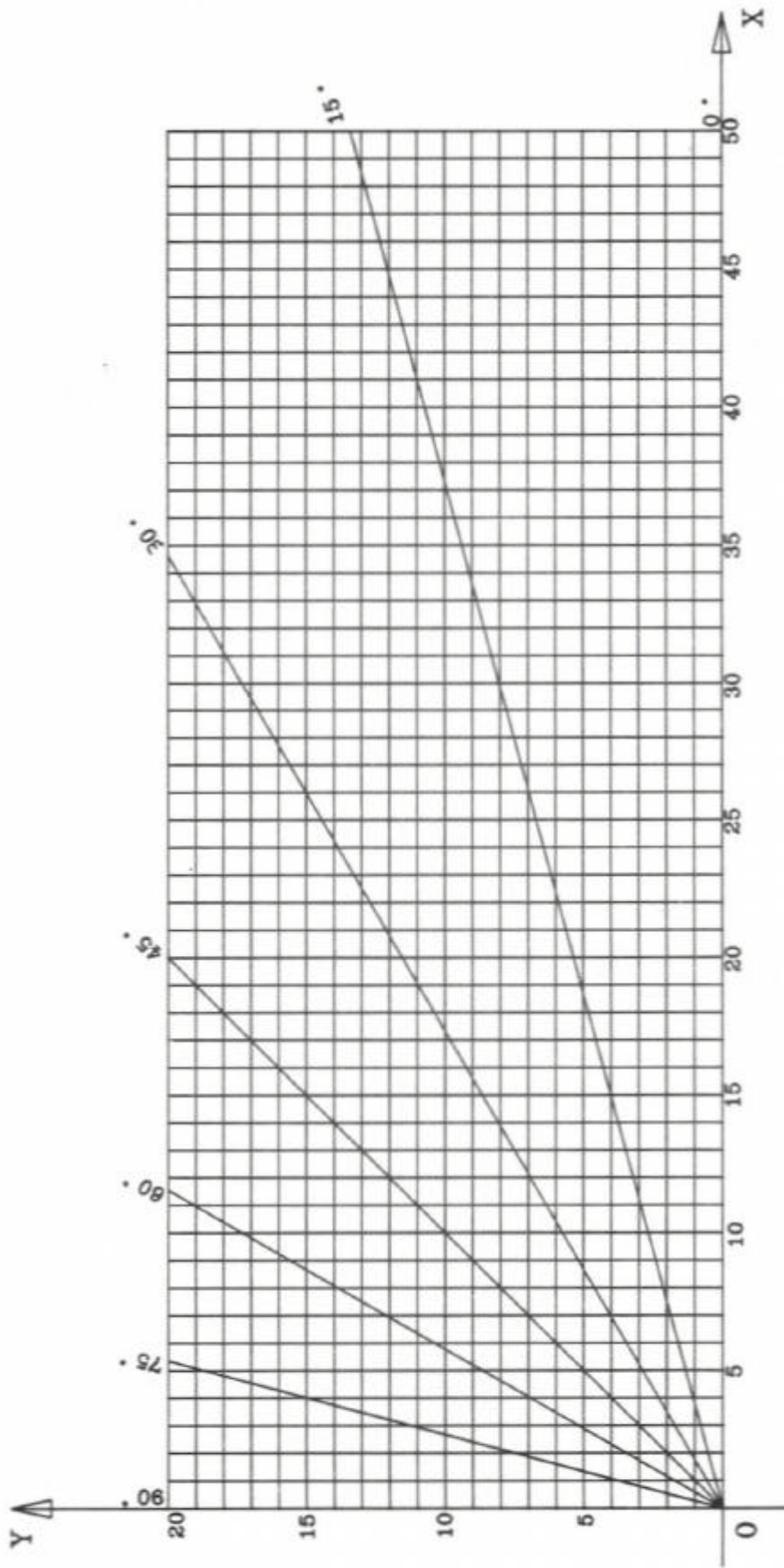


Grafico per la determinazione angolo di ostruzione.

Distanza dalla stazione (m)

Applicazioni GPS - 1

Gestione Risorse Naturali

- Forestali registrano informazioni relative all'età, stato di salute, quantità e tipo di legname. Rilevamento delle aree boschive per scopi di ripopolamento o taglio.
- Biologi localizzano e mappano gli habitat, registrano la numerosità degli animali e altri attributi.
- Geologi acquisiscono dati georeferenziati sulla tipologia dei suoli, per combinarli con modelli 3D del terreno, visualizzando mappe delle pendenze e delle esposizioni al fine di individuare aree suscettibili di particolari interventi.
- Mappatura dell'estensione e delle condizioni dei laghi, delle zone vegetate; habitat delle specie animali; lunghezza dei percorsi d'acqua, movimenti delle linee di costa.

Applicazioni in ambito urbano

- Mappatura delle infrastrutture di trasporto e utility.
- Rilevamento dei percorsi stradali, acquisizione di dati relativi allo stato d'uso delle strade, delle zone pericolose o che necessitano riparazioni, da usare come attributi in applicazioni GIS per progetti di manutenzione.
- Georeferenziazione delle reti tecnologiche (luce, acqua, gas, telefono, fognature).
- GPS di tipo palmare possono essere impiegati anche come strumenti navigazionali, cioè per raggiungere nel minor tempo i luoghi dove necessita un intervento.

Agricoltura di precisione

- Determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche dei campi mediante acquisizione di campioni di terreno georeferenziati.
- Acquisizione di posizione e dati relativi a microclimi, tipi di suolo, zone di coltivazioni sotto stress, piante malate, danni da insetti, distribuzione del raccolto.
- Correlazione della posizione del trattore o dell'aereo con i dati del suolo per ottimizzare la distribuzione delle sostanze chimiche.
- Riduzione dei costi per le concimazioni e diminuzione dell'inquinamento delle falde acquifere.
- Possibilità di creare uno storico dei risultati delle analisi dei singoli terreni per determinare gli effetti delle diverse pratiche di coltivazione.

Applicazioni GPS - 2

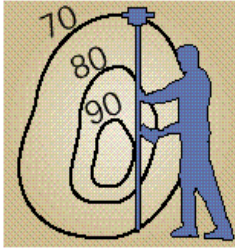
Scienze sociali

- Utilizzo del GPS per la mappatura di siti archeologici o di luoghi ancora inesplorati. Informazioni aggiuntive possono essere acquisite per fornire un supporto agli studi a carattere storico e sociale.
Ad esempio tali dati possono essere inseriti, sottoforma di attributi, in apposite applicazioni GIS e consentire di determinare lo stile di vita delle popolazioni che abitarono i luoghi oggetto di studio.

Ulteriori applicazioni

- Sistemi di mappatura basati sul GPS possono essere impiegati per qualsiasi applicazione che necessita dati accurati di tempo, posizione ed altre tipologie di informazioni. Il risultato finale non è limitato alle sole mappe e grafici. Ad esempio dati di posizione e tempo possono essere utilizzati da software che richiedono tali informazioni per poter applicare funzioni di modellazione o simulazione.
- La funzione navigazionale offerta dal GPS consente di aiutare personale addetto ai servizi di soccorso, polizia, vigili del fuoco ed anche gli stessi topografi nel ritrovare velocemente punti specifici nel territorio.
Aerei o elicotteri dotati di un ricevitore GPS a bordo possono essere usati efficacemente per stabilire in modo accurato e rapido il perimetro di aree incendiate. Sovrapponendo tali limiti a mappe esistenti è possibile produrre delle informazioni da inserire in applicativi GIS per condurre approfondite analisi sui danni apportati da tali incendi.
- I dispositivi GPS si rivelano utili anche per georeferenziare dati cartografici digitali e fotogrammetrici e per localizzare i campioni impiegati come elementi di verità a terra nell'elaborazione delle immagini satellitari.

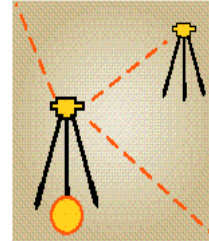
Applicazioni Topografiche e Geodetiche



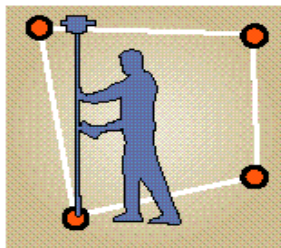
Topografia



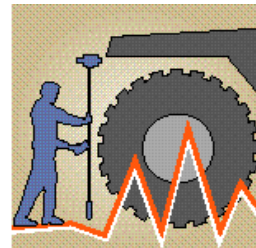
Tracciamenti



Inquadramenti



Riconfinamenti

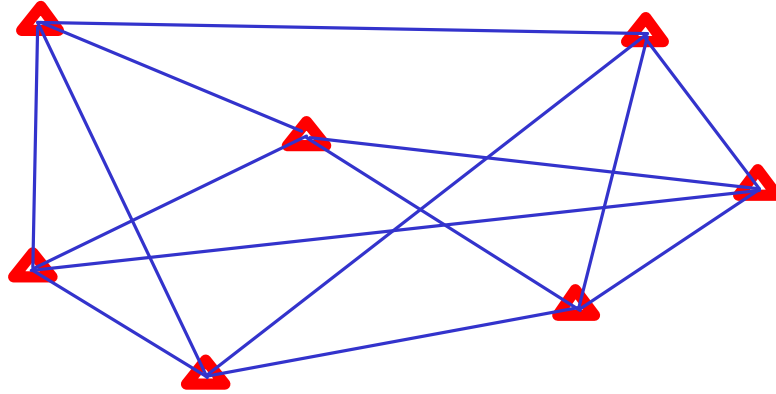


Sismica

- Rilievi di precisione
- Rilievi di dettaglio
- Controlli Sismici
- Rilievi di Cave
- Costruzioni
- Controllo di deformazioni
- Rilievi Geofisici
- Applicazioni fotogrammetriche
- GIS di precisione

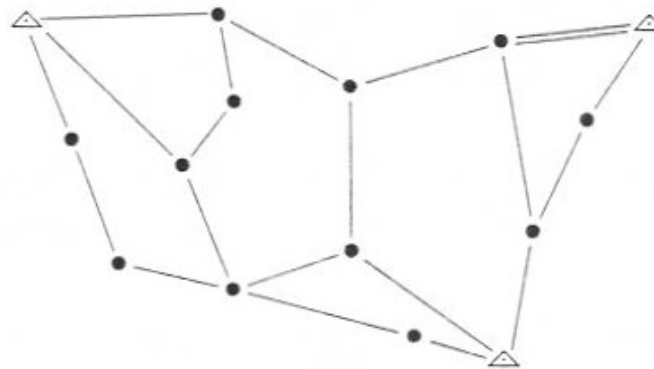
Modalità di rilievo miste Statico-Cinematico

Rilievo
Statico



Rete di
inquadramento

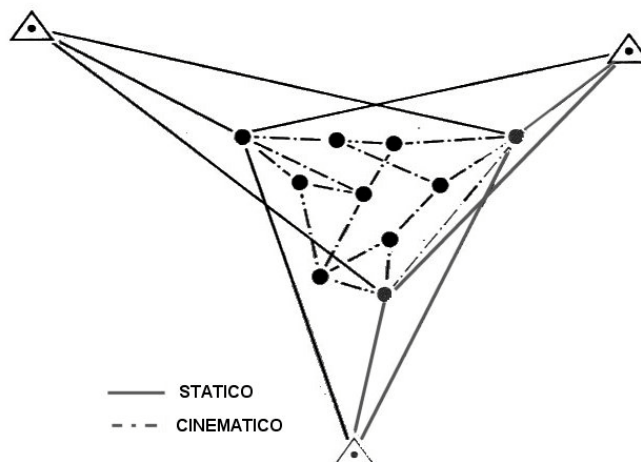
Rilievo
Statico
+
Fast-Static



△ Vertici di inquadramento

● Vertici di raffittimento

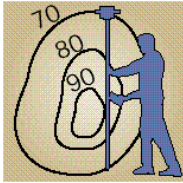
Rilievo
Statico
+
Cinematico



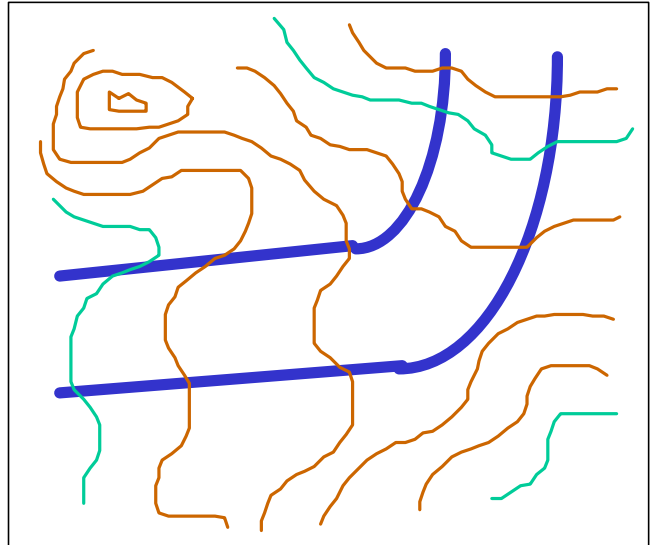
— STATICO
- - - CINEMATICO

combinazione di procedure statiche e cinematiche.

Rilievi di dettaglio



Determinazione di modelli digitali del terreno operando in cinematico continuo differenziale post-processato, oppure eseguendo il rilievo con correzioni in real-time.



Applicazioni GIS



Posizionamento di infrastrutture del territorio (reti tecnologiche, telefonia, illuminazione pubblica, reti stradali, ecc) e di fonti inquinanti,

Applicazioni GIS - 1

- Utilizzo di computer palmari (es. iPAQ) collegati ad un ricevitore GPS (monofrequenza, L1), software ESRI ArcPad e mappe (raster o vettoriali) o immagini satellitari come base cartografica
- Sistema altamente portatile, rapidità nel rilevamento e aggiornamento del database GIS
- Possibilità di inviare i dati al database GIS in real-time tramite connessione Internet/GSM



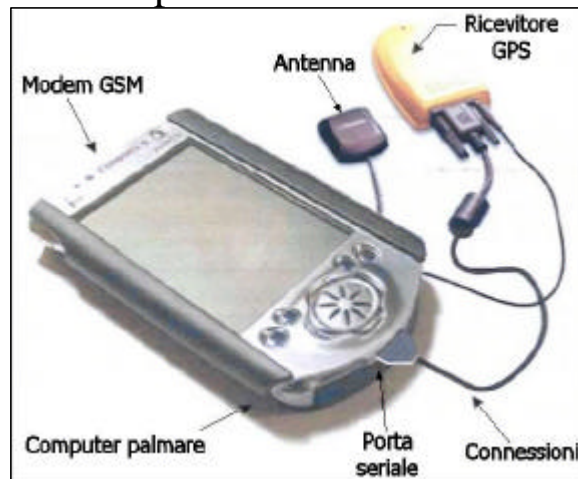
PERFORMANCE SPECIFICATIONS	
General	8-channel, L1/CA code continuous tracking
Update Rate	1 Hz
Accuracy (RMS) ¹	
GPS Pathfinder Office Differential correction	2-5 meters ¹
RTCM Differential correction	2-5 meters ¹
Autonomous accuracy	10 meters ¹
<small>¹ These precision values assume tracking of four satellites, a PDOP of < 6, SNR > 4, satellite elevation mask at 15 degrees, and reasonable multipath conditions. Ionospheric conditions, multipath signals or obstruction of the sky by buildings or heavy tree canopy may degrade precision by interfering with signal reception. Optimal accuracy is obtained by collecting data in an environment that is devoid of large reflective surfaces and also has a clear view of the sky.</small>	

Applicazioni GIS - 2

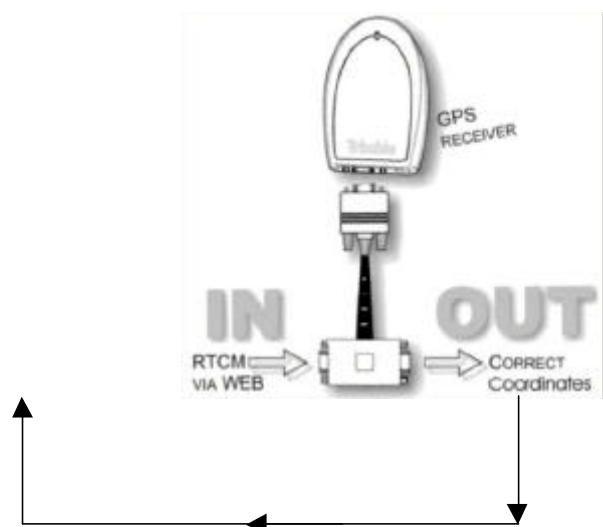
Utilizzo di una connessione Internet via GSM di tipo bidirezionale

- Ricezione delle correzioni differenziale di solo codice (**DGPS**) da un PC Server
- Upload dal client al server di dati spaziali + attributi per l'aggiornamento del database GIS via Internet

Dispositivi lato Client



Server + Stazione
GPS permanente



Il sistema EGNOS

Sistema complesso costituito da satelliti geostazionari, stazioni a terra di monitoraggio, elaborazione dati e uplink, avente lo scopo di fornire all'utente non solo le coordinate di posizione GPS/GLONASS ma anche informazioni sull'errore presente nel dato di posizione e quindi sull'affidabilità del segnale satellitare ricevuto.

In sostanza al ricevitore dell'utente EGNOS a terra viene inviato per ciascun satellite della costellazione GPS/GLONASS non solo il dato di range, da cui dedurre la propria posizione, ma anche una informazione sull'accuratezza di tale misura (**Dato di integrità**).

Con tale dato l'utente è in grado di stabilire il livello di affidabilità della misura di posizione fornitagli dal ricevitore.

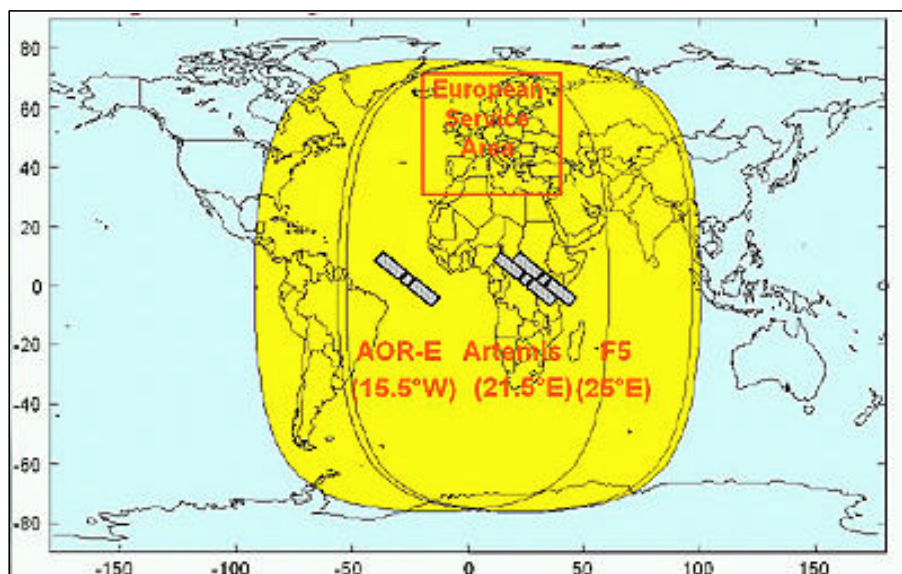
Architettura del sistema

Segmento spaziale

Costituito da tre satelliti geostazionari:

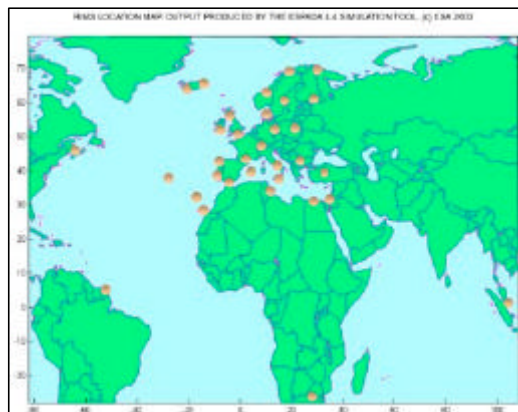
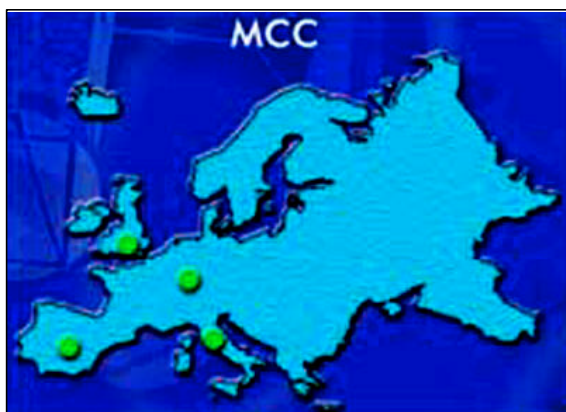
- due Inmarsat-3, uno sull'Atlantico orientale, l'altro sull'Oceano Indiano
- un satellite europeo dell'ESA, Artemis, sopra l'Africa.

Il segnale EGNOS viene trasmesso dalle stazioni a terra a tali satelliti, i quali a loro volta, tramite il trasponder a bordo (ricevitore/trasmittitore) reinvidano i segnali a terra, agli utenti EGNOS.

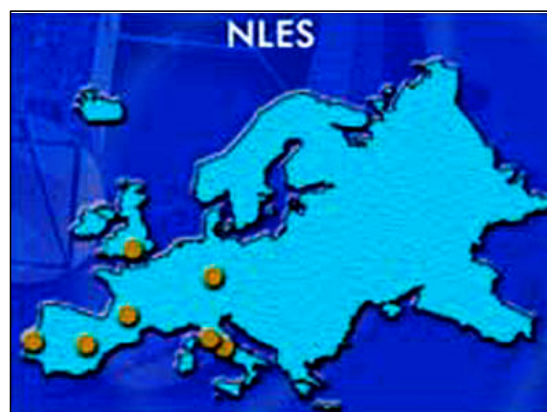


Segmento di controllo

E' formato da 34 stazioni a terra di monitoraggio del dato di integrità e di misura della posizione dei satelliti (ranging and integrity monitoring stations RIMS), 4 centri master di controllo (MCC) e 6 stazioni di up-link.



- Le stazioni RIMS misurano le posizioni di ciascun satellite EGNOS e confrontano le misure accurate delle posizioni di ogni satellite GPS e GLONASS con quelle ottenute dai segnali dei satelliti stessi. Esse quindi inviano tali dati alle stazioni MCC tramite una linea di comunicazione dedicata.



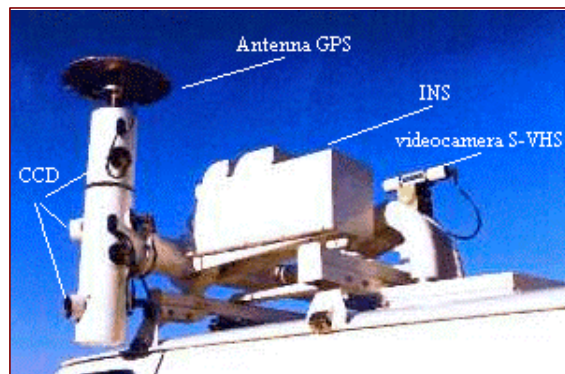
- Le MCC determinano l'accuratezza dei segnali GPS e GLONASS ricevuti e determinano errori dovuti ai disturbi ionosferici. Tutti queste informazioni vengono incorporate in un unico segnale e spedite alle stazioni di up-link tramite una linea di comunicazione dedicata.
- A loro volta le stazioni di up-link, distribuite in tutta l'Europa, trasmettono il segnale ai tre satelliti geostazionari che li reinviano a terra agli utenti dotati di appositi ricevitori EGNOS.
- Il sistema EGNOS è provvisto di una considerevole ridondanza in modo da garantire il funzionamento del servizio praticamente in qualsiasi istante. In ogni momento solo una stazione master è attiva come tale, mentre un'altra resta in stand-by pronta a sostituirsi a quella in caso di malfunzionamento. Delle 6 stazioni di up-link solo tre sono effettivamente attive, le rimanenti 3 sono di riserva.

Mobile Mapping System (MMS)

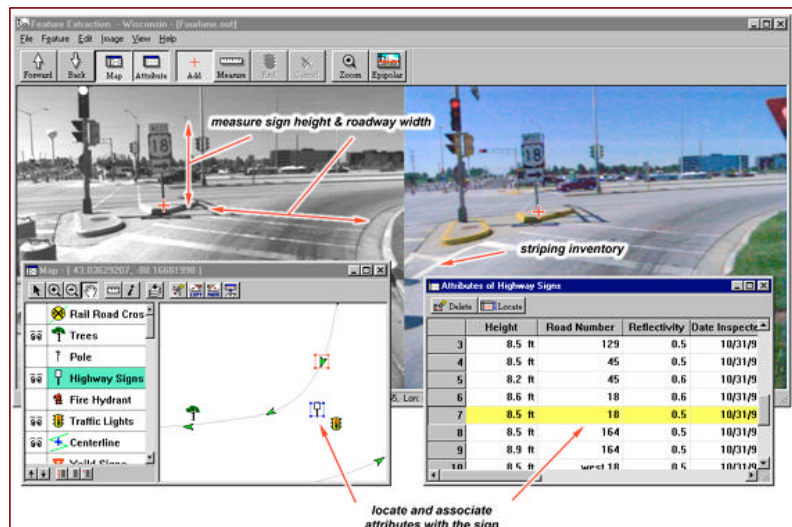
Sistema mobile per rilevamenti a scopi cartografici/GIS, dotato di telecamere digitali CCD, ricevitore GPS, sensore per navigazione inerziale (INS).



VISAT (Canada)



Utilizzando procedure di fotogrammetria digitale e immagini stereoscopiche è possibile georeferenziare qualsiasi oggetto visibile su una coppia di foto e inserire le coordinate ed i relativi attributi in un database GIS



Trimble 5700



HIGH ACCURACY ZEPHYR
GEODETIC ANTENNA



ZEPHYR GEODETIC ANTENNA

5700 FEATURES

- 24 channel dual frequency advanced GPS and WAAS/EGNOS receiver
- Extremely rugged, waterproof metal alloy housing
- eRTK technology extended real-time kinematic surveying
- Fully-integrated internal Trimble radio modem
- Everest™ multipath mitigation and high-performance low-elevation satellite tracking
- Compact Flash data storage for up to 96MB storage or 2750 hours L1+L2 at 30 seconds typical
- Very long battery life - 10 hours receiver only on 2 miniature camcorder batteries

RTK ACCURACY

- 10mm + 1 ppm horizontal RMS
- 20mm + 1 ppm vertical RMS
- Accuracy retained at long range with eRTK



LIGHTWEIGHT, HIGH-ACCURACY GPS ANTENNA

New Zephyr technology for extremely low multipath, outstanding low elevation tracking, and sub-millimeter phase-center accuracy.

BALANCED FEATHERWEIGHT POLE

Carbon-fiber construction with center of gravity at handgrip for easy handling and comfort all day. Entire pole is balanced and weighs less than 4kg (8.8lb) including batteries for a day's work.



VERSATILE CONTROLLER

Lightweight and rugged, the TSCe controller simplifies control with a graphic touch-screen display. The display is easy to read in direct sunlight and operates over a wide temperature range. Full keyboard, intuitive interface and multi-tasking Windows CE operating system make it the most productive controller we've ever offered.

LIGHTWEIGHT RECEIVER

The 5700 receiver is not only the most powerful RTK receiver we've ever built it's also the lightest, fastest, and least power hungry. RTK systems come with eRTK technology, a USB interface, road and slope staking, DTM staking, GIS support, and WAAS/EGNOS, all standard.

RTK ANTENNA

Lightweight and cableless, this antenna is designed for optimal performance in standard RTK surveys. For wider RTK coverage use our eRTK Range Pole Antenna.



Trimble 4700



Trimble Pro-XR

GPS PATHFINDER POWER RECEIVER/ANTENNA SPECIFICATIONS	
<ul style="list-style-type: none"> • Integrated GPS/Satellite Differential receiver and antenna • RTCM input 	
General:	12 channel, L1/LCA code tracking, with carrier phase filtered measurements
Update rate:	1 Hz
Power:	3.1 Watts, 9 to 32 VDC
Accuracy (RMS) (Note A):	
MCORS400 differential correction:	Submeter + 1 ppm on a second-by-second basis (horizontal) Submeter + 2 ppm on a second-by-second basis (vertical)
Carrier phase processing:	30 cm + 5 ppm with 5 minutes tracking satellites 20 cm + 5 ppm with 10 minutes tracking satellites 10 cm + 5 ppm with 20 minutes tracking satellites 1 cm + 5 ppm with 45 minutes tracking satellites (with Centimeter Processing option)
RTCM satellite differential correction:	Better than 1 meter (Note B)
Time to first fix:	30 seconds (typical)
Size:	15.2 cm diameter x 12.7 cm high (6" x 5")
Weight:	0.625 kg (1.38 lbs)
Temperature:	-30°C to +60°C (-22°F to +140°F) (operating) -40°C to +80°C (-40°F to +176°F) (storage)
Herbidity:	100% fully sealed
Case:	Fully sealed, dustproof, waterproof, shock resistant
<ul style="list-style-type: none"> • EVEREST™ multipath rejection technology • WAAS/EGNOS differential correction capabilities 	



Ashtech Reliance RT



- Tracking: 12 parallel channels, L1 C/A code and carrier phase
- 2-channel radio beacon receiver
- Combined GPS/beacon antenna
- GPS antenna: Microstrip with multipath resistant ground plane

Horizontal RMS Accuracy

Real-time Mode

- 1–2 meter, typical

Post-processed Mode

- 35–50 cm (14–20 in), static or dynamic

Post-processed Mode: Decimeter System

- 10 cm (4 in), tracking satellites for 20 min.

Post-processed Mode: Precision System

- 1–2 cm (0.4 – 0.8 in) typical with >30 minute static point occupations

Ashtech ProMark 2

TECHNICAL SPECIFICATIONS

- 12 independent GPS and WAAS/EGNOS channels
- L1 C/A code and full wavelength carrier

Static Survey Performance (rms)

- Horizontal: 0.005 m + 1 ppm (0.016 ft + 1 ppm)
- Vertical: 0.010 m + 2 ppm (0.032 ft + 2 ppm)
- Azimuth: <1 arcsecond
- Observation Time: Ranges from 20 to 60 minutes depending on distance between ProMark2 receivers and other environmental factors¹

Kinematic Survey Performance

- Horizontal: 0.012 m + 2.5 ppm (0.039 ft + 2.5 ppm)
- Vertical: 0.015 m + 2.5 ppm (0.049 ft + 2.5 ppm)
- Minimum Recommended Point Observation Time: 15 seconds

Real-Time Performance with WAAS (rms)

- Horizontal: <3 m (10 ft) w/ Ashtech ProAntenna
5 m (16.5 ft) w/ internal antenna
- Observation Time: 1 second



Ashtech ProMark X

Technical Specifications

- Size: 21.5 cm x 9.0 cm x 5.0 cm
- Weight: 0.85 kg with batteries
- General: L1, C/A code 10-channel continuous tracking GPS receiver
- Update Rate: Once per second
- Time to First Fix" <35 seconds, typical

ProMARK X™ Accuracy

Differential²

- <2 meter RMS (static DGPS)
- <2 meter RMS (mobile)

POS (single fix)

- 15 meters RMS 2D or 3D

POS (with averaging)

- 10 meters RMS 2D or 3D
- (HDOP<2, C/No >47db-Hz, 2D)



ProMARK X™

- Two-meter accuracy
- Feature and attribute data collection
- Exports data to GIS and CAD systems

Ashtech ProMark X-cm

Technical Specifications

- General: L1, C/A code 10-channel continuous tracking GPS receiver
4 Megabytes of storage for up to 30 hours of data storage, attributes and 500 waypoints
- Update Rate: Once per second
- Time to First Fix" <35 seconds, typical

ProMARK X-CM Accuracy

Differential

- 15 mm + 3 PPM (static centimeter-horizontal)
- <0.75 meter RMS (static submeter)
- <1 meter RMS (static pseudorange)
- <1 meter RMS (mobile)

POS (single fix)

- 15 meters RMS 2D or 3D

POS (with averaging)

- 10 meters RMS 2D or 3D
- (HDOP<2, C/No >47db-Hz, 2D)



Topcon Hiper



Description

40 channel GPS receiver with internal power and fully integrated differential receiver(s)

Tracking Specifications

Tracking Channels 40 L1 GPS
 Signals Tracked L1 C/A and Carrier
 Baseline Accuracy sub-meter

Antenna Specifications

GPS Antenna Microstrip (zero-centered) on a flat ground plane
 Differential Antenna Integrated OmniSTAR® (plus optional Beacon)

Package Configurations

GIS Data Collection System with iPAQ Pocket PC

- GPS L1 Receiver (0Mb)
- iPAQ Pocket PC
- GPS and OmniSTAR® antenna
- ESRI ArcPad software
- Backpack with dual antenna supports and extension
- iPAQ to receiver cable
- Upload/download cable

Topcon GMS 100

Description

40 channel integrated GNSS receiver/antenna with MINTER interface.

Tracking Specifications

Tracking Channels, standard 40 L1 GPS (20 GPS L1+L2 on Cinderella days)
 Tracking Channels, optional 20 GPS L1+L2 (GD) or GPS L1 + GLONASS (GG)
 Signals Tracked L1/L2 C/A and P Code & Carrier

Performance Specifications (1 sigma)

Baseline Accuracy 3mm + 1ppm for L1 + L2 5mm + 1.5ppm for L1
 RTK (OTF) Accuracy 10mm + 1.5ppm for L1 + L2 15mm + 2ppm for L1

GNSS Antenna Specifications

GPS / GLONASS Antenna Integrated
 Antenna Type Microstrip (Zero-Centered)
 Ground Plane Antenna on a flat ground plane
 Raw Data Recording Up to 20 times per second (20Hz)
 Data Type Code and Carrier from L1 and L2, GPS and GLONASS



Leica SR 500



	SR530	SR520	SR510
Receiver type	Dual-frequency, geodetic, real-time RTK receiver	Dual-frequency, geodetic receiver	Single-frequency, survey receiver
Summary of measuring modes and applications	Static, rapid static, kinematic On the fly L1 + L2, code, phase Real-time RTK standard Post processing DGPS/RTCM standard Survey, geodetic and real-time RTK applications	Static, rapid static, kinematic On the fly L1 + L2, code, phase Post processing DGPS/RTCM optional Survey and geodetic applications	Static, kinematic L1, code, phase, Post processing DGPS/RTCM optional Survey and GIS applications
No. of channels	12 L1 + 12 L2	12 L1 + 12 L2	12 L1
Measurement precision with AS off or on			
Carrier phase on L1	0.2mm rms	0.2mm rms	0.2mm rms
Carrier phase on L2	0.2mm rms	0.2mm rms	
Code (pseudorange) on L1	5cm rms	5cm rms	5cm rms
Code (pseudorange) on L2	5cm rms	5cm rms	
Accuracy, baseline rms	Accuracy in position = baseline rms. Accuracy in height = 2 x accuracy in position		
Baseline rms with post processing	With SKI-Pro L1/L2 software	With SKI-Pro L1/L2 software	With SKI-Pro L1 software
Static (phase), long lines, long observations, choke-ring antenna	3mm + 0.5ppm	3mm + 0.5ppm	Not applicable
Static and rapid static (phase) with standard antenna	5mm + 0.5ppm (rms)	5mm + 0.5ppm (rms)	10mm + 2ppm (rms)
Kinematic (phase), in moving mode after initialization	10mm + 1ppm (rms)	10mm + 1ppm (rms)	20mm + 2ppm (rms)
Code only	Typically 25cm (rms)	Typically 25cm (rms)	Typically 30cm (rms)
Baseline rms with real-time /RTK	Real-time/RTK standard	No	No
Rapid static (phase), static mode after initialization	5mm + 0.5ppm (rms)		
Kinematic (phase), moving mode after initialization	10mm + 1ppm (rms)		
Code only	Typically 25cm (rms)		
Baseline rms with DGPS/RTCM	DGPS/RTCM standard	DGPS/RTCM optional	DGPS/RTCM optional
DGPS/RTCM	Typically 25cm (rms)	Typically 25cm (rms)	Typically 30cm (rms)

Garmin

eMap



- 12 canali paralleli
- predisposto differenziale
- 500 waypoint in memoria
- computer di viaggio
- velocità corrente, velocità media
- display 5,6 x 4,3 cm con retroilluminazione
- interfacce: R5232 con NMEA 183, correzioni DGPS
- antenna interna
- 14 ore di autonomia (con solo 2 batterie a stilo)
- impermeabilità IPX2
- basemap internazionale, compatibile con CD MapSource
- opzione antenna esterna

Caratteristiche tecniche

- 12 canali paralleli
- predisposto differenziale
- 500 waypoint in memoria
- 50 rotte in memoria
- velocità corrente, velocità media
- display 4,1x5,7 cm con retroilluminazione
- interfacce: R5232 con NMEA 183, correzioni DGPS
- antenna interna
- 16 ore di autonomia (con solo 2 batterie a stilo)
- impermeabilità IPX7 - galleggiante
- barometro/altimetro
- bussola elettronica
- basemap internazionale
- opzione antenna esterna



Map 76S



Navtalk Gsm



GpsIII plus

Il sistema GLONASS

(*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*
GLObal NAVigation Satellite System)

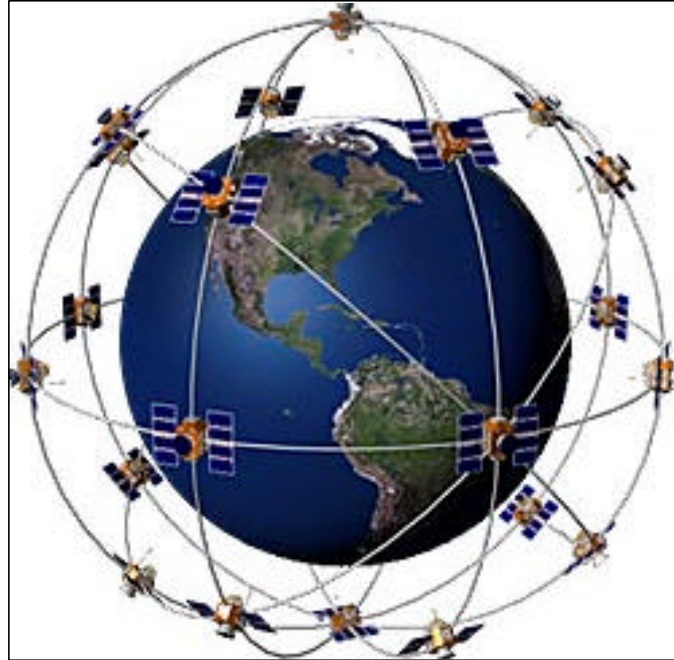


- Sistema di posizionamento satellitare russo, strutturalmente analogo a quello americano
- Sviluppato a partire dal 1982 dal Ministero della Difesa sovietico (ex URSS), il suo dispiegamento è stato completato alla fine del 1995.
- Anch'esso è costituito da tre sezioni principali: *space segment* , *control segment* e *user segment*.



GLONASS GPS Satellite
Courtesy: Russian Federation for Space

Il segmento spaziale



- Costellazione formata da 24 satelliti
 - 3 piani orbitali, inclinati di ca. 64.8° rispetto all'equatore
 - Separazione tra i piani orbitali di 120°
 - 45° di separazione tra i satelliti del medesimo piano orbitale
 - 8 satelliti per piano orbitale
 - distanza da terra di 25440 Km (più alti del GPS)
 - periodo di rivoluzione orbitale di 11h 15m 44s
-
- Ogni SV è identificato da uno slot number che definisce il piano orbitale (1-8, 9-16,17-24) e la posizione all'interno del piano.
 - La configurazione orbitale consente una visibilità dei satelliti russi migliore di quella del sistema americano per latitudini settentrionali $>50^\circ$.
-
- Attualmente sono operativi 22 satelliti.

Il segmento di controllo

E' interamente localizzato all'interno del territorio dell'ex URSS. Il Centro di Controllo a terra (Master Station) si trova a Mosca. Ad essa è demandato anche il compito del mantenimento del sistema temporale del GLONASS.

Le stazioni di osservazione delle orbite e di acquisizione dei dati telemetrici sono situate invece a: San Pietroburgo, Ternopol, Eniseisk, Komsomolsk-na-Amure.



Sistema di riferimento

- Il sistema di coordinate del GLONASS si basa sul datum **PZ-90**, cioè il Sistema Geodetico Sovietico precedentemente utilizzato nel periodo 1985/1990.
- I parametri dell'ellissoide adottato sono i seguenti:
 $a = 6378136 \text{ m}$, $f = 1:298.257839303$.
- Attualmente i parametri di trasformazione tra PZ-90 e WGS-84 non sono ancora stati stimati in modo definitivo.

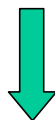
Struttura del segnale GLONASS - 1

- Ciascun satellite GLONASS trasmette 2 tipi di segnale, cui corrispondono diverse prestazioni nel posizionamento:
precisione standard (**SP**), banda L1
alta precisione (**HP**), banda L1 + L2
- Tutti i satelliti trasmettono simultaneamente nelle due bande di frequenza L1 ed L2, in modo da correggere l'errore dovuto al ritardo ionosferico.
- Il segnale viene trasmesso applicando la tecnica **FDMA** (*Accesso Multiplo a Divisione di Frequenza*):
all'interno di ciascuna banda, ogni satellite trasmette lo **stesso codice (PRN)** su una **diversa frequenza**:

$$\text{banda L1} \longrightarrow f_1(k) = 1602 \text{ MHz} + k * 9/16 \text{ MHz}$$

$$\text{banda L2} \longrightarrow f_2(k) = 1246 \text{ MHz} + k * 7/16 \text{ MHz}$$

dove k = numero del canale di frequenza ($k = 0, 1, 2, \dots$).



Nel sistema GLONASS, quindi, ciascun satellite è identificato dalla frequenza con cui trasmette e non dal codice PRN !

In realtà, nella configurazione attuale, due satelliti in posizione antipodale sulla stessa orbita (visibili cioè da parti opposte della Terra) trasmettono sulla stessa frequenza.

Struttura del segnale GLONASS - 2

Analogamente al sistema GPS, sovrapposte alle due portanti, L1 ed L2, vengono modulati i seguenti segnali:

- codice **C/A** (Coarse Acquisition code) con *chip length* di 586.7 m
- codice **P** (Precision code) di 58.67 m.
- messaggio di navigazione, contenente informazioni sull'orbita del satellite (effemeridi), almanacco dell'intera costellazione, parametri di correzione della scala temporale.

I valori delle effemeridi trasmesse sono stimati dal Centro di Controllo a terra e sono validi per un periodo di **24** ore.

I satelliti trasmettono un nuovo set di effemeridi ogni **30** minuti.

L'almanacco viene aggiornato circa una volta al giorno.

Il tempo del sistema

Diversamente dal sistema GPS, il tempo del GLONASS viene incrementato di un secondo (“**Leap second**”) per mantenerlo in perfetta sincronia con il tempo UTC.

Tra i due sistemi temporali esiste comunque un offset di tre ore:

$$\text{GLONASST} = \text{UTC} + 03\text{h. } 00\text{min.}$$

Il sistema satellitare GALILEO

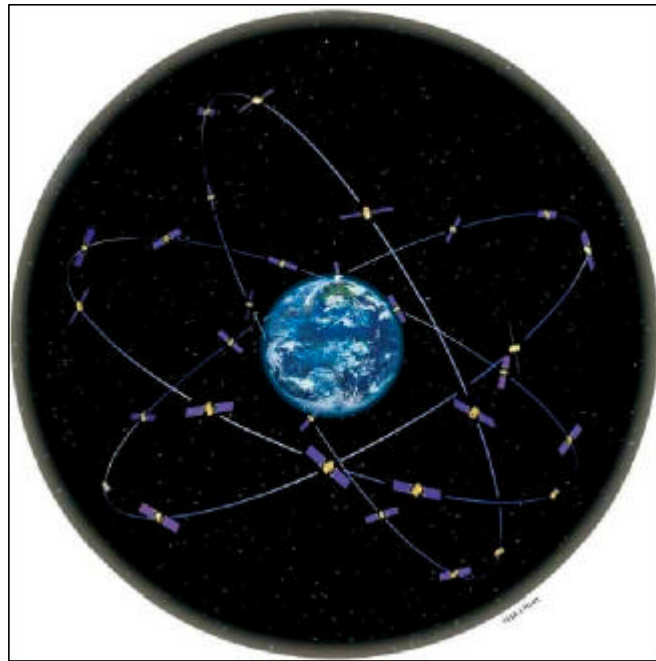


- GALILEO costituirà una rete satellitare di radionavigazione sviluppata in **Europa** e concepita espressamente per **usi civili**, diversamente dal sistema GPS e dal Glonass. Entrambi infatti sono nati all'epoca della guerra fredda principalmente per fini militari e solo in un secondo tempo sono stati estesi ad uso civile.
- GALILEO si distingue dalle due reti satellitari esistenti in quanto sarà in grado di offrire:
 - precisione superiore e costante (metrica)
 - affidabilità superiore, poiché comporta un "**messaggio d'integrità**" che informa immediatamente l'utente degli errori che possono apparire
 - copertura senza rischi delle zone difficili come il nord Europa.



GALILEO GPS Satellite
Courtesy: European Space Agency

Il segmento spaziale



- costellazione di 30 satelliti
- ca. 24 000 km d'altitudine
- 3 piani orbitali,
- orbita inclinata di 56° rispetto all'equatore (costellazione **MEO**, Medium Earth Orbit)
- satelliti equispaziati su ciascuna orbita

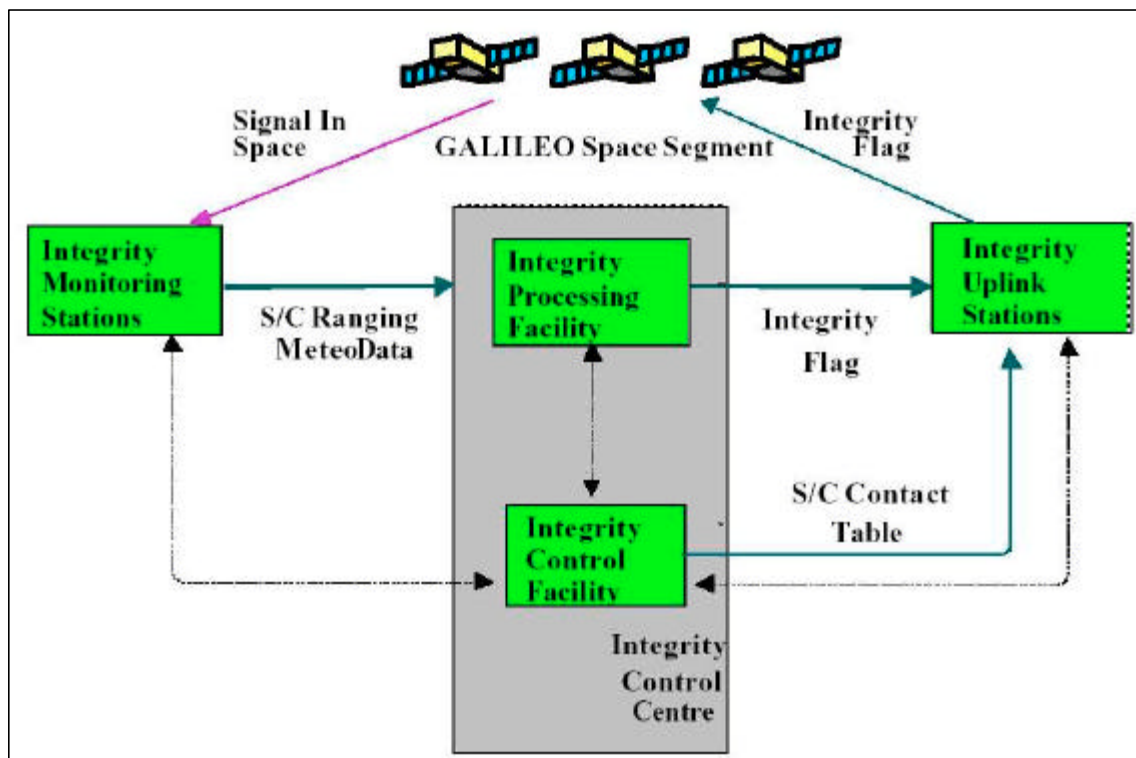
Roadmap:

fase di sviluppo: 2002-2005
 fase di spiegamento: 2006-2007
 fase di sfruttamento: dal 2008

PROGRAMME PHASE	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
DEFINITION	█										
DESIGN, DEVELOPMENT & I O V	█	█	█	█	█	█					
INITIAL OPERATIONAL CAPABILITY							█	█	█		
FULL SYSTEM DEPLOYMENT									█	█	█

Messaggio di Integrità

- Fattore chiave del sistema GALILEO, avvisa l'utente indicando che il segnale ricevuto dal satellite non soddisfa i parametri di qualità che garantiscono un determinato livello di accuratezza del posizionamento.
- Il ricevitore dell'utente è così in grado di rigettare i segnali da quei satelliti cui si riferisce il messaggio di integrità.
- Si prevede di rendere disponibile tale informazione per quelle applicazioni di tipo safety-of-life che richiedono un costante livello di qualità del segnale.
- Il servizio è progettato per garantire che un utente sia sempre in grado di ricevere i dati di integrità tramite almeno 2 satelliti con un angolo di elevazione minimo di 25° sopra l'orizzonte.



I servizi offerti da GALILEO - 1

GALILEO proporrà molti livelli di servizio, quali:

- Livello di base gratuito (**OS**) per applicazioni "grande pubblico" e servizi d'interesse generale, come GPS, che sono gratuiti per queste applicazioni, ma con una qualità ed un'affidabilità migliorate.
- Livelli di servizio ad accesso ristretto per applicazioni commerciali e professionali (**SoL + CS**) che richiedono prestazioni superiori e foriere di sviluppi "a valore aggiunto".
- Servizio molto ristretto (**PRS**) per applicazioni che non devono mai subire una qualsiasi perturbazione.

Sono previste differenti specifiche in funzione del tipo di target cui è rivolto il servizio di posizionamento satellitare:

Primary Application	Mass Market	Safety Related
User Masking Angle	25°	5°
Accuracy (95 % confidence)	10 metres horizontal	4 metres vertical
Coverage	Global	
Availability	Better than 70%	Better than 99%
Integrity	Not generally required	Mandatory

I servizi offerti da GALILEO - 2

Open Service (OS)

- Indirizzato ad applicazioni commerciali di massa, fornirà segnali di tempo e di posizionamento gratuitamente.
- Accesso al servizio da parte di qualsiasi utente dotato di ricevitore, senza necessità di autorizzazione.
- Accuratezza del posizionamento e disponibilità del servizio saranno superiori a quella del GPS e sue evoluzioni (GPS IIF e GPS III).
- Il servizio non fornirà l'informazione di integrità, determinata dal sistema, bensì la qualità del segnale verrà stimata tramite algoritmi all'interno del ricevitore dell'utente.
- Sono previste applicazioni di tale servizio con utilizzo combinato di GALILEO e GPS.
- L' OS favorirà l'impiego di ricevitori a basso costo.

Safety-of-Life Service (SoL)

- Sarà impiegato nella maggior parte delle applicazioni legate ai trasporti dove risulta vitale la notifica in tempo reale della degradazione delle prestazioni del sistema.
- Accuratezza del posizionamento e della temporizzazione analoghe a quelle del servizio OS.
- Assicura un livello di alta integrità della costellazione per tutto il globo indispensabile per tutte quelle applicazioni di trasporto (marittime, aeree, ferroviarie) nelle quali la sicurezza è un fattore critico.
- Il dispositivo europeo EGNOS di potenziamento del sistema GPS sarà integrato con il SoL al fine di avere un' informazione indipendente e complementare di integrità sulla costellazione GPS e GLONASS.

I servizi offerti da GALILEO - 3

Commercial Service (CS)

- Dedicato alle applicazioni commerciali che richiedono prestazioni superiori rispetto a quelle offerte dal servizio OS.
- Fornirà, a pagamento, servizi a valore aggiunto.
- Si basa sull'aggiunta di due segnali a quelli del servizio OS, protetti mediante criptazione. La gestione sarà affidata ai vari fornitori del servizio.
- L'accesso sarà controllato a livello di ricevitore tramite appositi codici di protezione.
- Gli utilizzi previsti per il CS includono la trasmissione dati ad alta velocità e la risoluzione delle ambiguità in applicazioni con processamento differenziale dei dati di posizione.

Public Regulated Service (PRS)

- Servizio ad accesso controllato, a supporto di attività di tipo governativo.
- Utilizzato da enti di pubblica utilità quali polizia, vigili del fuoco, sanità (ambulanze) ed esercito. Le applicazioni vanno dal monitoraggio del trasporto di scorie nucleari al controllo doganale.
- Enti civili controlleranno l'accesso al servizio criptato.
- Dovrà garantire operatività in ogni istante ed in ogni circostanza, soprattutto nelle situazioni di crisi, quando altri servizi potrebbero essere bloccati.

Campi di applicazione - 1

Trasporti

Aviazione civile:

assistenza alla navigazione (controllo della rotta), avvicinamento alla destinazione, atterraggio e spostamento a terra (specie ove non esistono strutture radar a terra).



Navigazione marittima:

oceanica e da diporto, avvicinamento ai porti e manovre in porto



Applicazioni stradali:

In-car navigation, gestione di flotte di vettori di taxi, autocarri e bus. Servizi di assistenza alla guida tramite monitoraggio del traffico.



Memorizzazione dei dati di tempo e posizione del veicolo per l'attribuzione delle responsabilità in caso di incidente.



Ferrovie:

Sistema di controllo dei treni, gestione della flotta ferroviaria, rilevamento dei tracciati, sviluppo di sistemi di informazione per i passeggeri, controllo del movimento di trasporti di materiale pericoloso all'interno di aree densamente popolate.



Campi di applicazione - 2

Settore energetico

Supporto alla distribuzione di energia elettrica: rapida individuazione dei guasti grazie alla georeferenziazione dei dispositivi di controllo disposti lungo la rete. Ripristino più rapido del servizio. Identificazione più precisa di siti ad alto rischio geofisico e geomorfologico (pozzi di estrazione petroliferi e gas naturale).

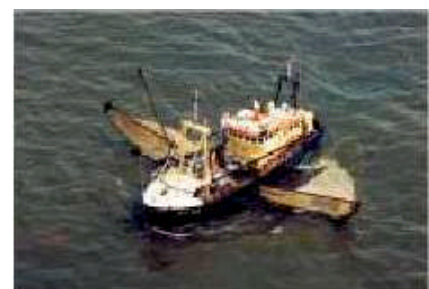
Aiuto (trasmissione dati in real-time) nelle fasi di ancoraggio di piattaforme petrolifere o nell'interramento dei piloni della piattaforma estrattiva.



Pesca & Agricoltura

Diffusione e sviluppo dell'agricoltura di precisione, maggior controllo sulle aree di distribuzione dei pesticidi ed erbicidi.

Controllo dei movimenti delle flotte di pescherecci e monito raggio delle risorse del pescato.



Campi di applicazione - 3

Navigazione individuale

Sviluppo di servizi di tipo location-based, integrazione di GALILEO con sistemi di telecomunicazione in dispositivi portatili. Invio all'utente informazioni ottimizzate in base alla posizione geografica in cui si trova (ristoranti, teatri, previsioni del tempo).

Ottimizzazione della gestione dei servizi di emergenza (programma europeo E-112 per le chiamate di emergenza).

Applicazioni negli incendi forestali, esondazioni, emergenze in mare, fuoriuscita di olii, terremoti ed operazioni umanitarie.



Gestione ambientale

Acquisizione continua di dati per la mappatura degli oceani e della criosfera.

Determinazione dell'estensione delle aree inquinate, studio delle maree, correnti livelli dei mari e spostamenti degli iceberg.

Monitoraggio atmosfera per previsioni del tempo e studi sul clima.

Misure nella ionosfera per miglioramento comunicazioni radio e prevenzione di terremoti.

Monitoraggio dei movimenti delle popolazioni animali per la preservazione del loro habitat.