



Marica Franzini

Laboratorio di Geomatica - DICAr

Università di Pavia

email: marica.franzini@unipv.it



Errori di posizionamento

Posizionamento assoluto

Abbiamo visto nelle lezioni precedenti come il ricevitore utilizza il codice, o la fase, per determinare gli *pseudo-range* verso i satelliti e determinare in seguito le coordinate del vertice stazionato.

La precisione del posizionamento GPS dipende strettamente dalla precisione con cui vengono determinate gli *pseudo-range* satellite-ricevitore.

Nel calcolo di questa distanza vengono però commessi degli errori che si ripercuotono direttamente sull'accuratezza finale delle coordinate del punto misurato.

In questa lezione entreremo più in dettaglio sulle sorgenti di errore, alcune delle quali sono già state introdotte (sfasamento degli orologi, ritardi iono-troposferici).

Errori di posizionamento

Gli errori che si possono commettere sono essenzialmente suddivisi in tre categorie:

- ✓ errori accidentali di misura;
- ✓ errori sistematici o di modello;
- ✓ errori vari di osservazione.

Errori accidentali di misura - 1

Il tempo di volo si determina attraverso un procedimento di correlazione tra il segnale emesso e poi ricevuto dai satelliti e quello generato localmente dal ricevitore.

Tuttavia il correlatore interno presente nei ricevitori commette un errore nell'effettuare questa operazione; tale errore è strettamente legato alla lunghezza d'onda del segnale utilizzato.

L'errore è stimato pari all'1-2% della lunghezza d'onda del segnale utilizzato; le precisioni sono quindi diverse a seconda della diversa componente che si considera.

Errori accidentali di misura - 2

Gli errori sulla determinazione dello *pseudo-range* sono:

- ✓ codice C/A → $\pm 3 - 6$ m
- ✓ codice P → $\pm 0.3 - 0.6$ m
- ✓ portanti L1 - L2 → $\pm 0.002 - 0.004$ m

E' una fonte di errore non eliminabile per cui, quando si vuole effettuare un posizionamento di precisione, occorre utilizzare la parte di segnale più favorevole (es. ricevitori a doppia frequenza per misure topografiche).

Errori sistematici

Gli errori sistematici sono usualmente divisi in tre sotto-categorie:

- ✓ errori sulle effemeridi
- ✓ errori degli orologi dei satelliti
- ✓ errori dovuti all'attraversamento dello strato ionosferico e troposferico

Errori sistematici - effemeridi

Presupposto fondamentale per il posizionamento GPS è la conoscenza della posizione dei satelliti.

Le effemeridi predette, inviate dai satelliti attraverso il codice D, forniscono in realtà dei parametri di posizionamento non corretti trasmettendo la posizione teorica delle traiettorie seguite e non quella vera.

E' possibile eliminare questa fonte di errore? Sì, in due modi:

- ✓ tramite le effemeridi precise che forniscono la posizione reale del satelliti;
- ✓ tramite tecniche di posizionamento relativo (elaborazione congiunta dei dati provenienti da due o più ricevitori) l'entità di tale errore può essere ridotta.

In entrambi i casi la soluzione non è immediata.

Errori sistematici - sfasamento orologi

Le distanze sono determinate attraverso la misura del tempo di volo.

Una imperfetta sincronizzazione fra gli orologi dei satelliti e dei ricevitori porta a rilevanti errori di calcolo dello *psuedo-range*.

Gli errori di sincronizzazione degli orologi dei ricevitori sono superati considerando tale elemento come un'incognita del problema.

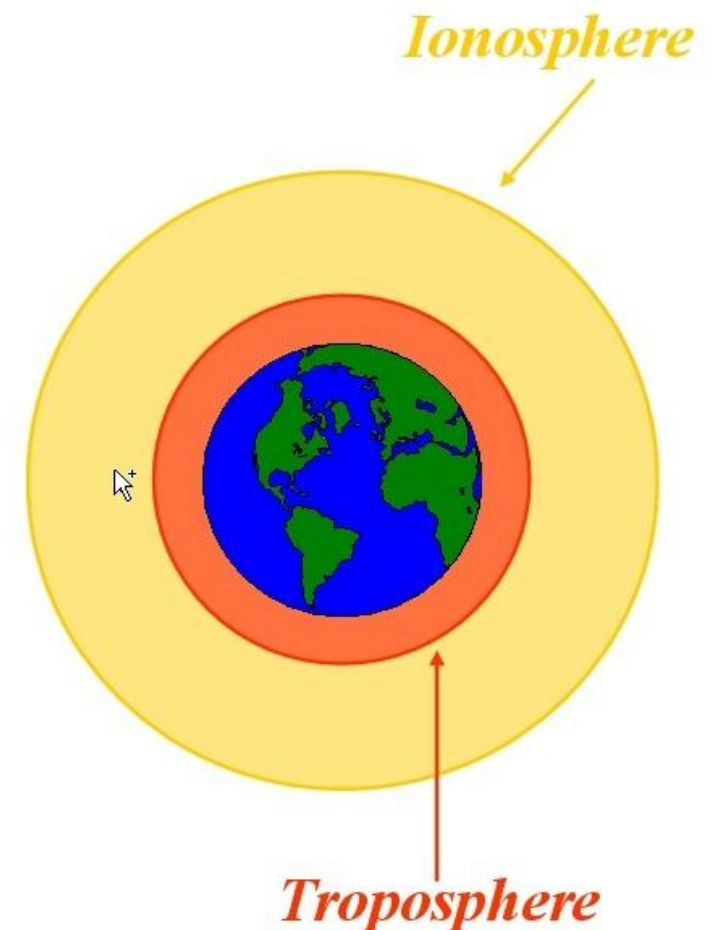
Gli errori di sincronizzazione degli orologi dei satelliti vengono “parzialmente” corretti attraverso il messaggio navigazionale D (correzione immediata).

Tramite tecniche di posizionamento relativo la loro entità può essere ulteriormente ridotta (correzione non immediata).

Errori sistematici - ritardo ionosferico e troposferico

La velocità di propagazione di un segnale è costante nel vuoto (e pari alla velocità della luce) ma, quando essa attraversa uno strato di particelle cariche di elettricità, tale velocità diminuisce.

Allo stesso modo il segnale GPS durante l'attraversamento dello strato ionosferico e troposferico subisce un rallentamento. L'utilizzo della velocità della luce nel calcolo dello *pseudo-range* non è pertanto corretto.



Errori sistematici - ritardo ionosferico

La ionosfera è la fascia compresa tra i 70 e i 1000 km circondante la superficie terrestre. I segnale proveniente dai satelliti (localizzati a 20200 km di altitudine) attraversano completamente questa parte dell'atmosfera che è costituita da uno strato di particelle cariche elettricamente.

Esiste un modello matematico per quantificare il ritardo ionosferico; tale modello tiene conto di diversi fattori quali: la frequenza del segnale, l'angolo d'incidenza del segnale attraversante la ionosfera ed il contenuto totale di elettroni presenti al momento dell'attraversamento.

Questa caratteristica permette ai ricevitori a doppia frequenza di modellare meglio l'entità di questo errore e di eliminarla parzialmente; anche tecniche di posizionamento relativo permettono l'eliminazione di queste fonti di errore.

Errori sistematici - ritardo troposferico

Nel suo cammino verso il ricevitore, il segnale deve attraversare gli strati più o meno densi di vapori della troposfera, la parte più bassa dell'atmosfera.

Gli errori sono simili a quelli della ionosfera, anche se più difficili da determinare, e quindi da correggere, in quanto il ritardo troposferico è indipendente dalla lunghezza d'onda del segnale.

Esso dipende dall'indice di rifrazione (a sua volta dipendente da temperatura, pressione e umidità relativa locale) e dall'angolo d'incidenza del segnale attraversante la troposfera.

In letteratura esistono numerosi modelli matematici elaborati per correggere tale fenomeno; alcuni dei più utilizzati sono: Hopfield, Goad-Goodman, Saastamoinen, Black e Niell. Tali modelli vengono adottati durante la post-elaborazione di dati per cui non sono applicabili immediatamente.

Errori vari di osservazione

A questa voce fanno riferimento il multipath (percorso multiplo) e alcune fonti di errore come ad esempio le interferenze elettromagnetiche (presenza di ripetitori radio e telefonici, linee ad alta tensione, etc.).

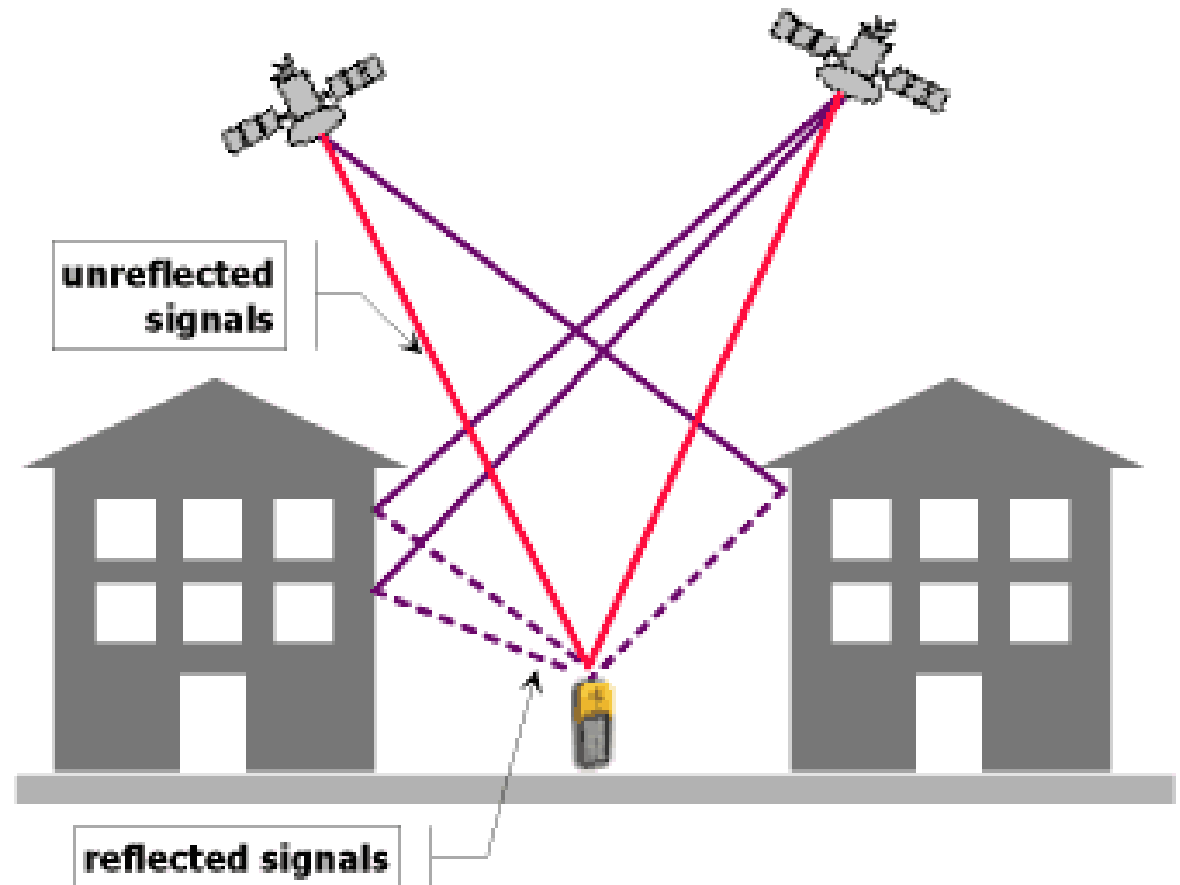
Sono fenomeni locali e non possono essere eliminati.

La corretta scelta del posizionamento del ricevitore è di primaria importanza per non incorrere in questo tipo di inconveniente.

Errori vari di osservazione - multipath

Il segnale emesso dai satelliti non sempre arriva in modo diretto al ricevitore ma può essere “sdoppiato” lungo il percorso da ostruzioni di varia natura (edifici, veicoli, etc.).

Una possibilità per correggere l'errore è la scelta di periodi di stazionamento lunghi.



Budget degli errori

Ecco il budget degli errori commesso da un ricevitore a doppia frequenza:

Effetti del ritardo ionosferico	± 5 m
Errore nell'effemeride del satellite	± 2.5 m
Sfasamento nell'orologio del satellite	± 2 m
Effetti del multipath	± 1 m
Effetti del ritardo troposferico	± 0.5 m
Tutte le altre fonti d'errore	± 1 m
Totale	± 12 m

Posizionamento assoluto 27 marzo 2012 - 1

Unico ricevitore che acquisisce dati su un vertice del poligono del Laboratorio di Geomatica. Le coordinate del vertice sono note poiché determinare più volte in passato con metodi di posizionamento più accurati (posizionamento relativo).

Le coordinate nominali del vertice sono:

Est: 510697.772

Nord: 5005565.033

Altezza ellissoidica: 123.845

Posizionamento assoluto 27 marzo 2012 - 2

Il rilievo assoluto effettuato in data 27 marzo, con misurazione degli pseudo-range ogni 5 secondi ha portato a determinare le seguenti coordinate:

Proprietà punto

Generale Valori stocastici Dati tematici

ID punto: bp9 Attivato

Classe del punto: Navigazione

Sottoclasse del punto: Solo codice

Tipo di coordinate: Reticolo WGS84 locali

Formato coordinate: Est, nord, quota

Modalità quota: ellissoidica ortometrica

Est:	510699.3661	m	Deviazione standard:	2.0121	m
Nord:	5005568.5744	m	Deviazione standard:	2.3378	m
Quota:	127.0342	m	Deviazione standard:	5.2253	m

OK Annulla Applica

Posizionamento assoluto 27 marzo 2012 - 3

Qual è il significato di quelle coordinate?

Il vertice stazionato ha delle coordinate che con una percentuale del 68.27% saranno comprese tra:

Est: 510699.366 ± 2.012

Nord: 5005568.574 ± 2.338

Altezza ellissoidica: 127.034 ± 5.225

Sono dei buoni valori ai fini topografici? Ovviamente no!

Posizionamento assoluto 27 marzo 2012 - 3

Avendo a disposizione anche le coordinate vere posso confrontare direttamente quanto il mio rilievo sia lontano dalla realtà:

Est: 1.594

Nord: 3.541

Altezza ellissoidica: 3.189

Errore complessivo (3D): ~ 5 m

Questi sono i risultati mediando 16 minuti di osservazioni di codice (purtroppo non si è arrivati ad utilizzare le fasi).

Cosa succede se utilizzo meno dati?

Posizionamento assoluto 27 marzo 2012 - 4

Esempio 1: utilizzo solo i primi 4 minuti di osservazioni dove, tra l'altro sono presenti unicamente 4 satelliti.

Trovo le seguenti coordinate con i seguenti scarti:

Est:

510697.448, -0.324

Nord:

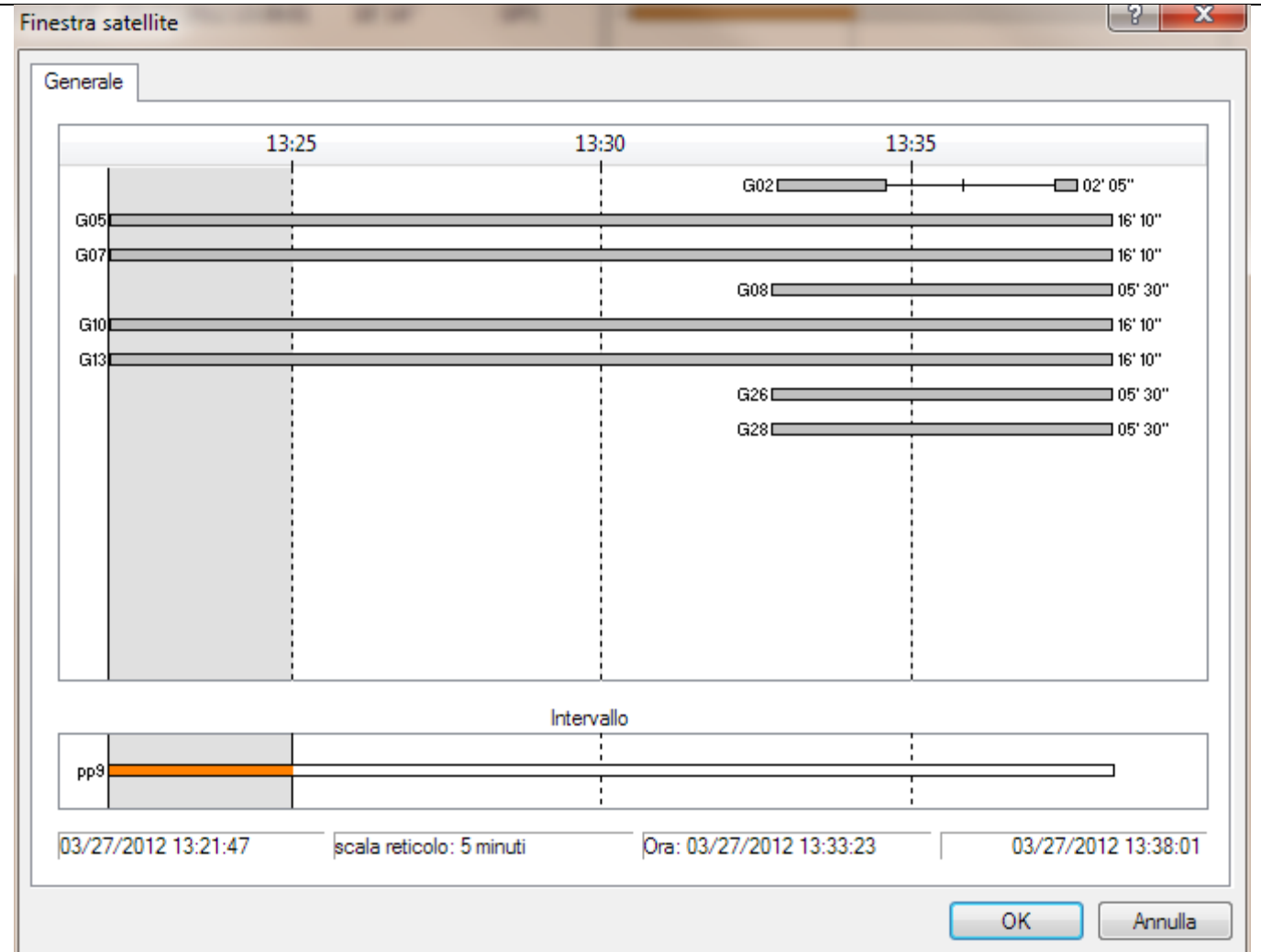
5005572.417, 7.384

Altezza ellissoidica:

119.267, -4.578

Errore complessivo (3D):

~ 8.70 m



Posizionamento assoluto 27 marzo 2012 - 5

Esempio 2: utilizzo gli ultimi 4 minuti di osservazioni con presenti 7 satelliti.

Trovo le seguenti
coordinate con i seguenti
scarti:

Est:

510699.839, 2.067

Nord:

5005569.229, 4.196

Altezza ellissoidica:

128.119, 4.274

Errore complessivo (3D):

~ 6.34 m

