



**Marica Franzini**

**Laboratorio di Geomatica - DICAr**

**Università di Pavia**

**email: [marica.franzini@unipv.it](mailto:marica.franzini@unipv.it)**



# Errori di posizionamento

# 1 - 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 ionosferici).

## 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 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

---

Ricordiamo che le lunghezze d'onda in gioco sono:

- codice C/A  $\rightarrow \cong 300 \text{ m}$
- codice P  $\rightarrow \cong 30 \text{ m}$
- portanti L1 - L2  $\rightarrow 19 - 24 \text{ cm}$

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

- codice C/A  $\rightarrow 3 - 6 \text{ m}$
- codice P  $\rightarrow 0.3 - 0.6 \text{ m}$
- portanti L1 - L2  $\rightarrow 0.002 - 0.004 \text{ m}$

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 sincronia 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.

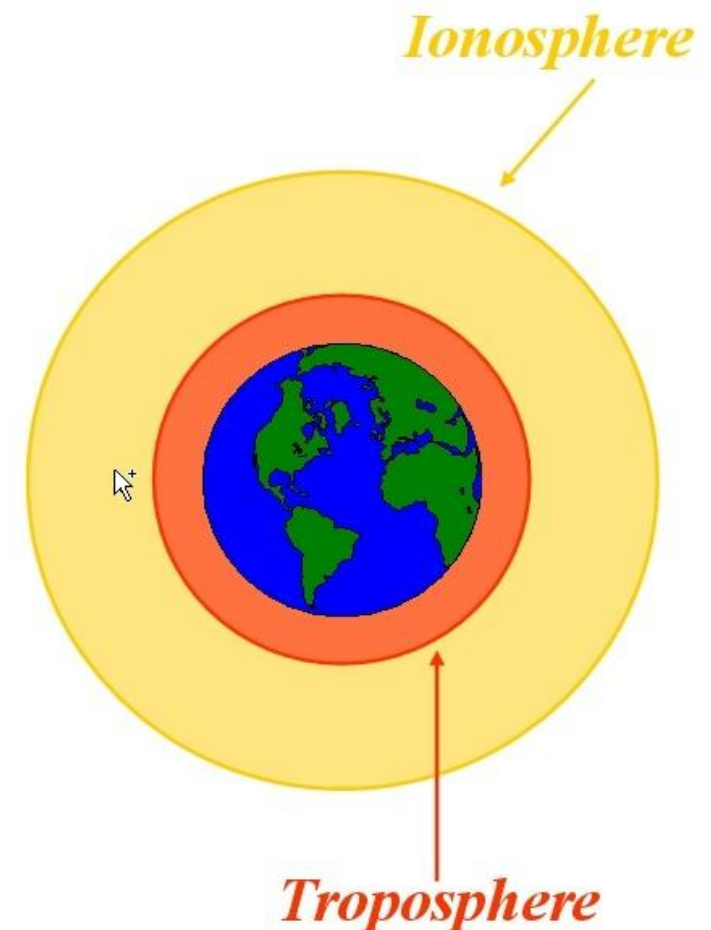
Gli errori di sincronizzazione degli orologi dei satelliti vengono “parzialmente” corretti attraverso il messaggio navigazionale D (correzione immediata).

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 la configurazione satellitare e le interferenze elettromagnetiche (presenza di ripetitori radio e telefonici, linee ad alta tensione, etc.).

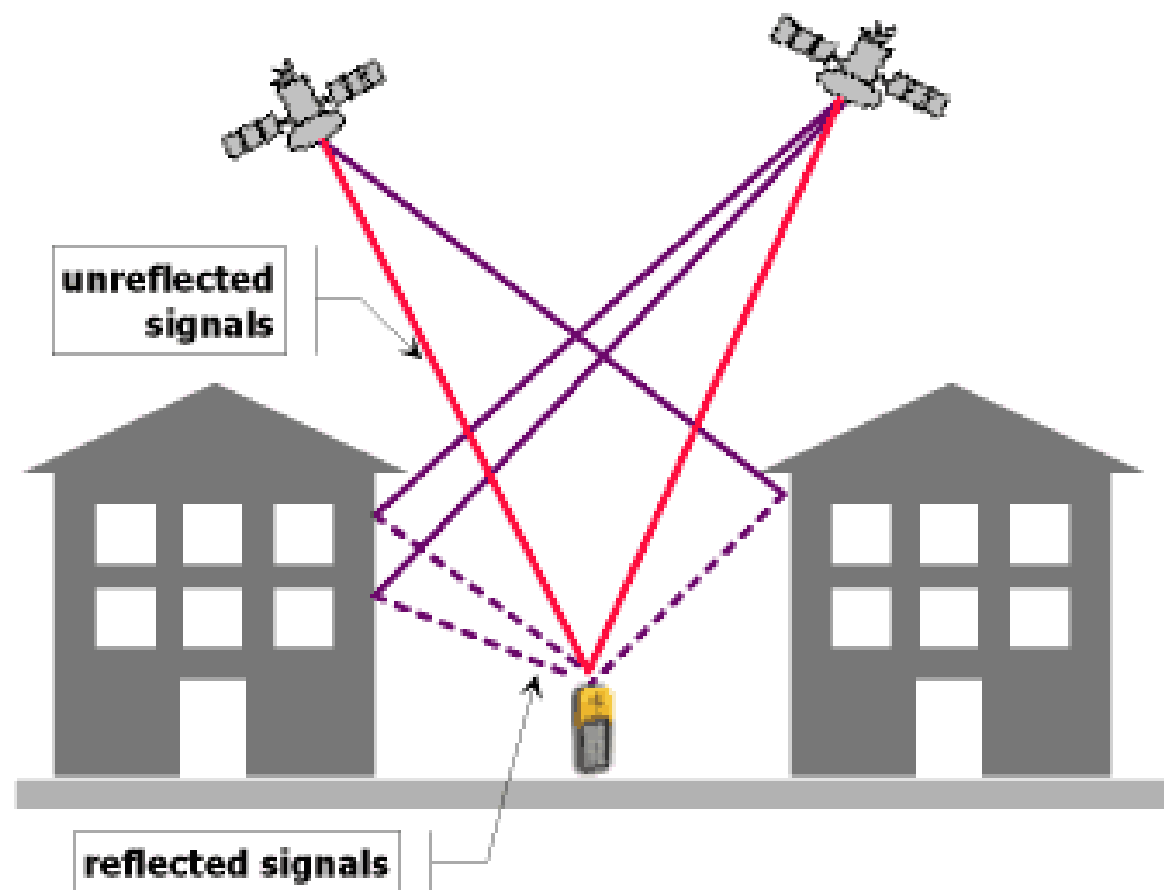
Sono fenomeni locali e non possono essere eliminati.

La corretta scelta del posizionamento del ricevitore e della finestra temporale del rilievo sono 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.



## DOP - 1

---

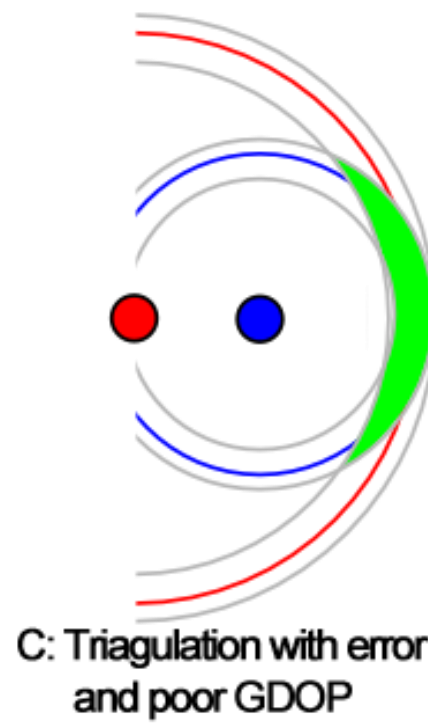
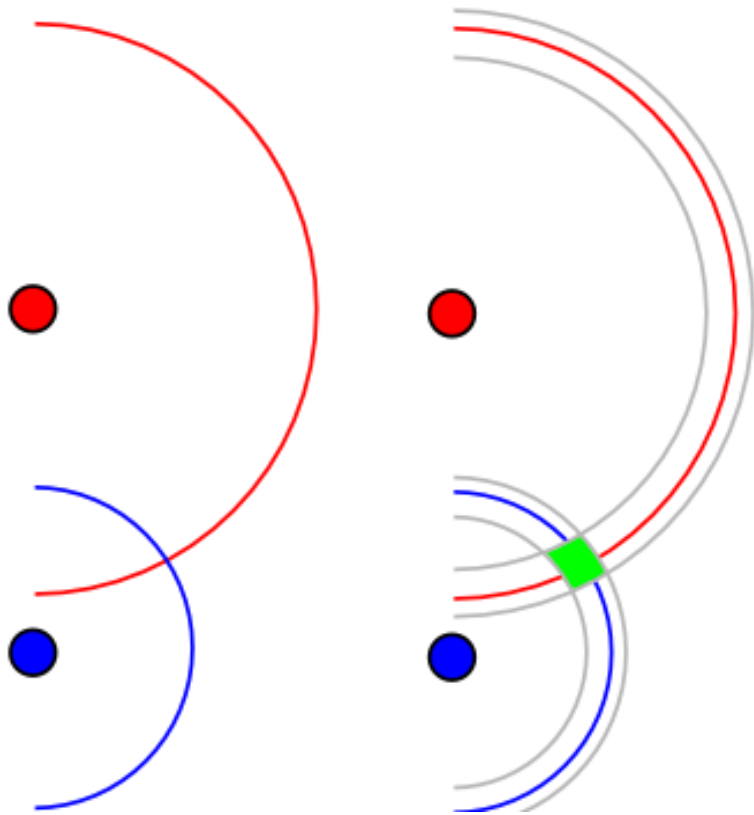
Sono indicatori della qualità del rilievo. Così come il numero di satelliti varia nel tempo anche tali parametri di qualità variano. In generale questi due elementi (numero dei satelliti e parametri di qualità) sono correlati tra loro.

Con il termine generale DOP (*Dilution Of Precision*) si indica l'effetto che la geometria satellitare ha sulla qualità finale del rilievo.

E' un concetto noto anche nella topografia classica: la geometria del rilievo influisce sulla qualità finale dei punti misurati (es. punti allineati).

# DOP - 2

Per il GPS il concetto è simile:





## DOP - 3

---

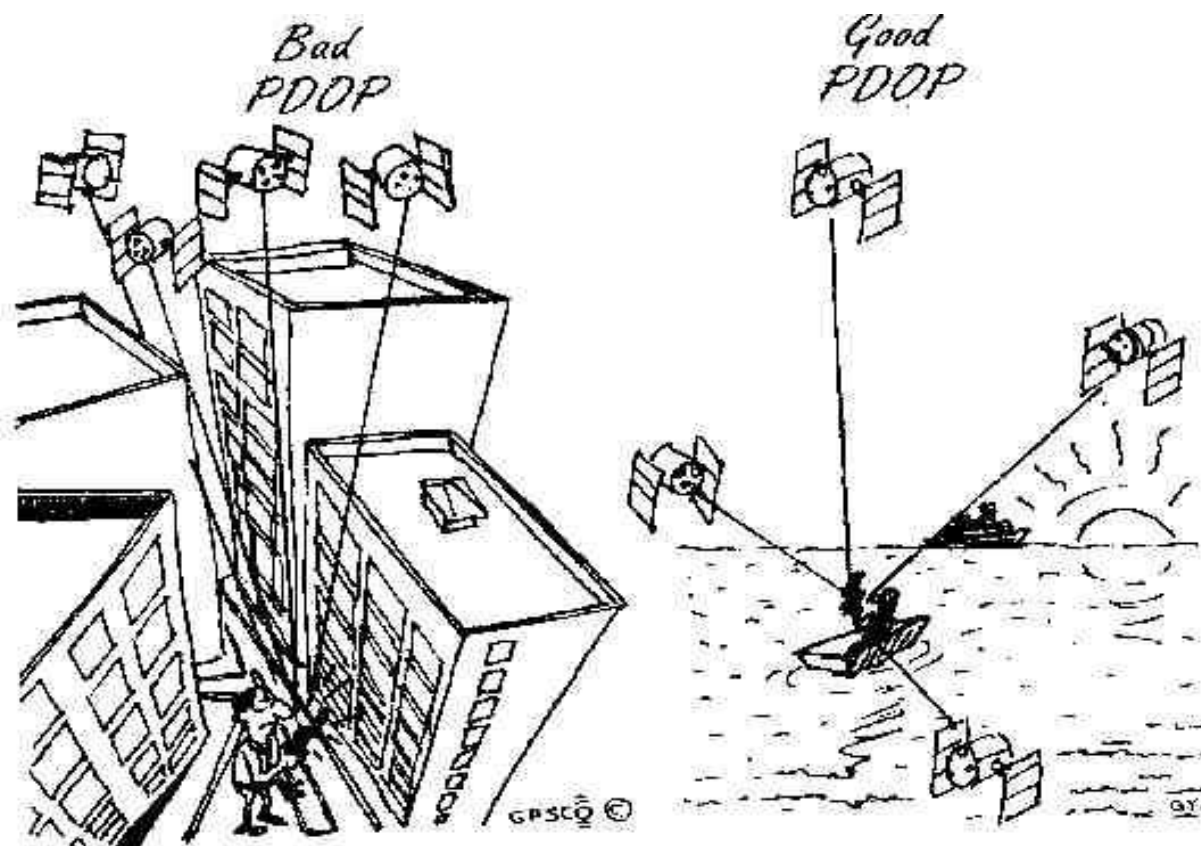
Esistono diversi parametri DOP:

- HDOP: horizontal DOP - parametro di qualità planimetrica
- VDOP: vertical DOP - parametro di qualità altimetrica
- PDOP: position DOP - l'insieme dei due parametri precedenti
- TDOP: temporal DOP - parametro di qualità del tempo
- GDOP: geometric DOP - l'insieme di PDOP e TDOP

## Regole pratiche per PDOP

Il valore ideale è 1.

- $1 \leq PDOP \leq 4$  OTTIMO
- $4 < PDOP \leq 7$  DISCRETO
- $PDOP > 7$  PESSIMO



## Budget degli errori

---

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

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

Per un ricevitore di codice va aggiunto l'errore commesso dal correlatore interno (3-6 m).

## 2 - Risultati esercitazione del 25 marzo

## Posizionamento assoluto 25 marzo 2014

---

E' stato rilevato con 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:                  | 510669.859  |
| Nord:                 | 5005601.429 |
| Altezza ellissoidica: | 123.662     |

## Rilievo con ricevitore di codice - 1

E' stato rilevato il punto con un ricevitore di codice Garmin 12XL.

Il punto è stato memorizzato 5 volte con le seguenti coordinate:

|   | Est    | Nord    |
|---|--------|---------|
| 1 | 510674 | 5005601 |
| 2 | 510672 | 5005605 |
| 3 | 510671 | 5005602 |
| 4 | 510669 | 5005608 |
| 5 | 510673 | 5005608 |



## Rilievo con ricevitore di codice - 2

---

Due considerazioni:

- il ricevitore utilizzato ha scopo navigazionale per cui non viene memorizzata la componente altimetrica
- il limite di qualità dei ricevitori di codice è visibile anche nel fatto che essi solitamente memorizzano le coordinate dei punti con una approssimazione metrica

## Rilievo con ricevitore di codice - 2

---

|        | Est      | Nord      |
|--------|----------|-----------|
| 1      | 510674   | 5005601   |
| 2      | 510672   | 5005605   |
| 3      | 510671   | 5005602   |
| 4      | 510669   | 5005608   |
| 5      | 510673   | 5005608   |
| media  | 510671.8 | 5005604.8 |
| dev.st | 1.924    | 3.271     |

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

Est:  $510671.8 \pm 1.9$

Nord:  $5005604.8 \pm 3.3$



## Rilievo con ricevitore a doppia frequenza - 1

Il risultato ottenuto con il ricevitore Leica a doppia frequenza è riportato nell'immagine sottostante.

The screenshot shows the 'Proprietà punto' dialog box with the following settings:

- Tab: Valori stocastici
- ID punto: pp13  Attivato
- Classe del punto: Soluzione con punto singolo
- Sottoclasse del punto: Solo codice
- Tipo di coordinate: Reticolo  WGS84  locali
- Formato coordinate: Est, nord, quota
- Modalità quota:  ellissoidica  ortometrica
- Est: 510670.3749 m Deviazione standard: 0.0754 m
- Nord: 5005601.8422 m Deviazione standard: 0.1005 m
- Quota: 128.9035 m Deviazione standard: 0.2294 m

Buttons at the bottom: OK, Annulla, Applica.

## Rilievo con ricevitore a doppia frequenza - 2

---

Qual è il significato di quelle coordinate?

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

Est:                    510670.375 ± 0.075

Nord:                   5005601.842 ± 0.101

Altezza ellissoidica:            128.904 ± 0.229

Fino ora abbiamo solo indicazioni sulla precisione del rilievo; la strumentazione a doppia frequenza risulta (come ci si aspettava) più precisa rispetto a quella di codice.

## Accuratezza delle misure

---

Ma quanto siamo lontani, o vicini, al valore vero?

Disponendo delle coordinate del punto ottenute con un metodo di rilievo avente qualità superiore è possibile valutare l'accuratezza.

|                | Est        | Nord        | h       |
|----------------|------------|-------------|---------|
| coord. vere    | 510669.859 | 5005601.429 | 123.662 |
| ric. di codice | 510671.8   | 5005604.8   |         |
|                | 1.941      | 3.371       |         |

|              | Est        | Nord        | h       |
|--------------|------------|-------------|---------|
| coord. vere  | 510669.859 | 5005601.429 | 123.662 |
| ric. di fase | 510670.375 | 5005601.842 | 128.904 |
|              | 0.516      | 0.413       | 5.242   |