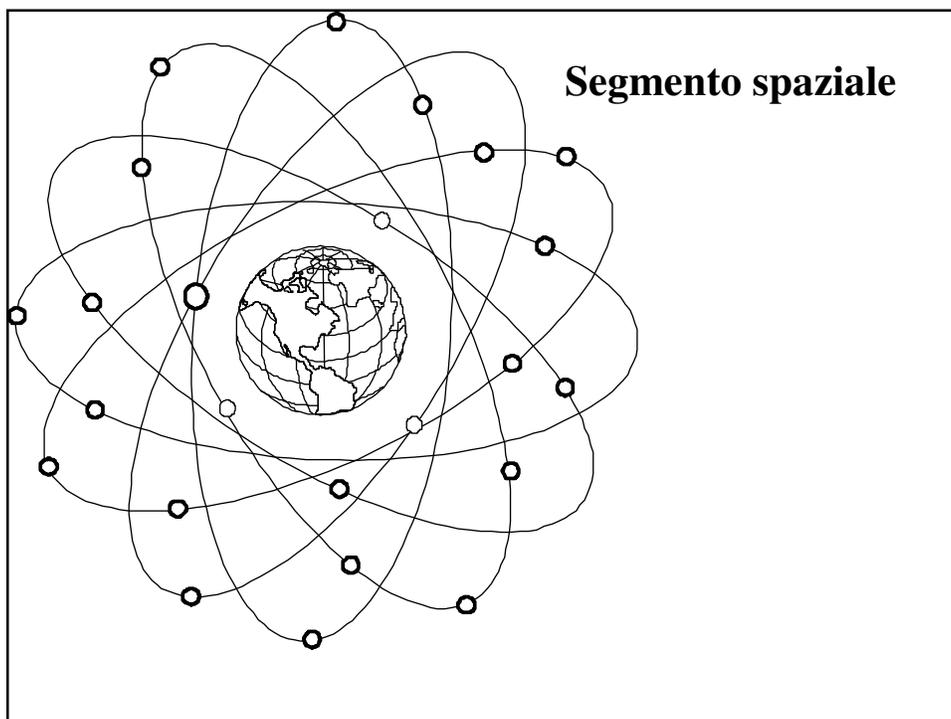


INTRODUZIONE AL GPS

Che cosa è il GPS?

Il NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System) è nato come un sistema di navigazione basato sulla ricezione a terra di segnali radio emessi da satelliti artificiali

- Segmento spaziale**
- segmento di controllo**
- segmento di utilizzo**



24 satelliti + due di scorta

6 piani orbitali (60° longitudine)

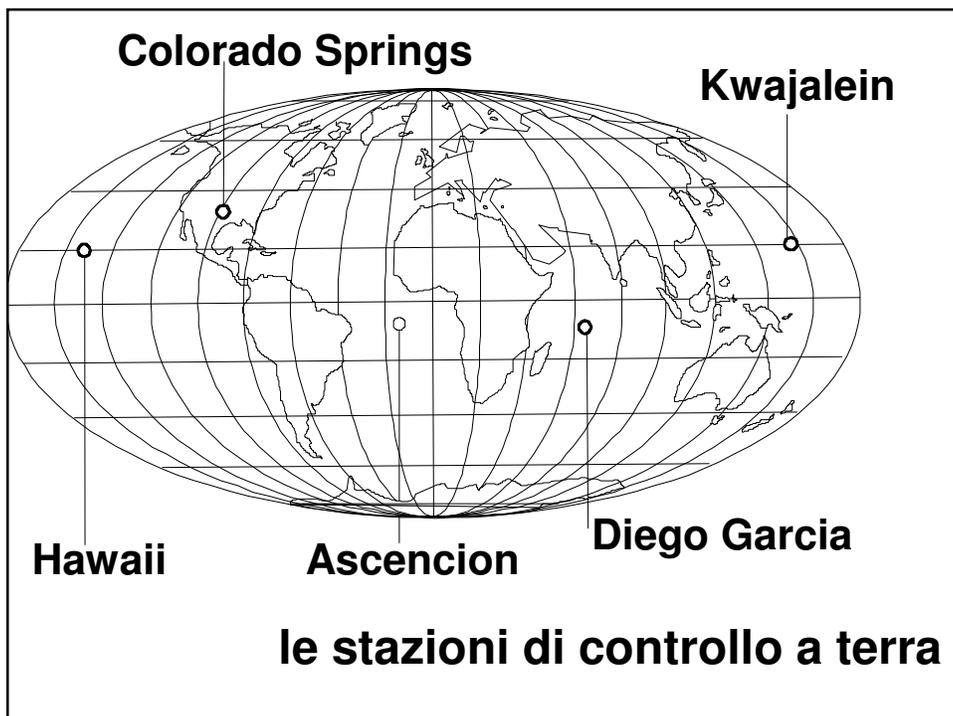
55° di inclinazione

20200 km di altezza

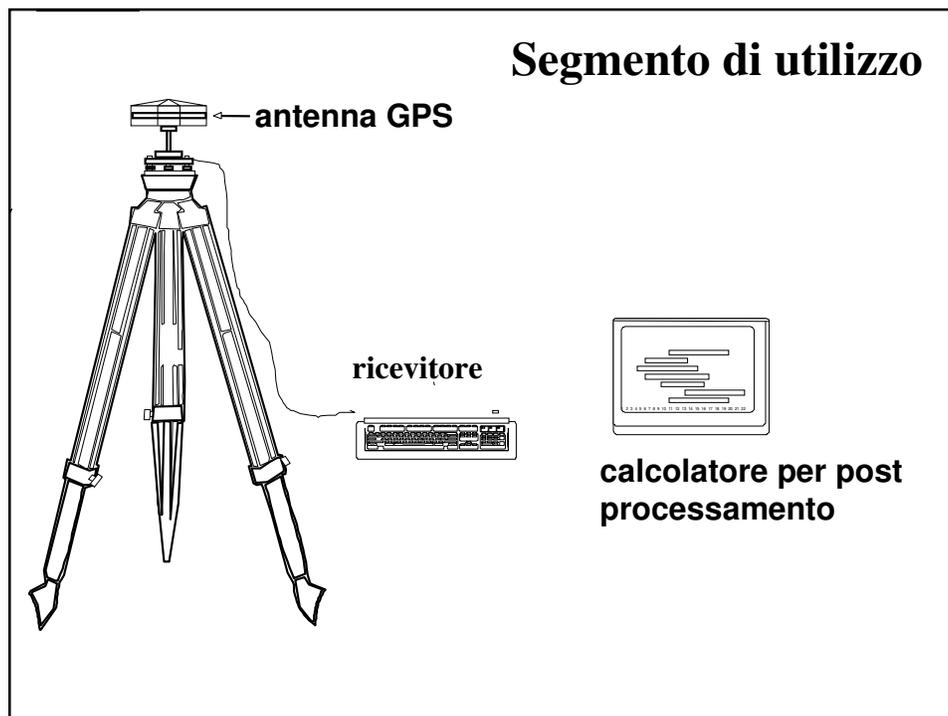
12 ore di periodo orbitale

Funzioni principali dei satelliti GPS

- **Trasmettere varie informazioni agli utilizzatori attraverso l'invio di vari segnali**
- **ricevere e memorizzare informazioni trasmesse dal segmento di controllo**
- **mantenere un segnale di tempo molto accurato utilizzando 4 oscillatori portati a bordo di ogni satellite**
- **eseguire manovre di correzione d'orbita con razzi guidati dal segmento di controllo**



- **Tracciamento continuo dei satelliti GPS**
- **elaborazione dei dati ricevuti dai satelliti per il calcolo delle efemeridi e delle correzioni degli orologi**
- **caricamento di nuovi dati sui satelliti**



Vantaggi del GPS rispetto ad altre tecniche di rilievo terrestre tradizionali

Tecniche tradizionali (*teodolite, stazioni totali, bussola, etc...*)

1. Si basano sulla intervisibilità tra lo strumento di rilievo e il target
2. La distanza fra strumento e target è limitata a pochi chilometri
3. Le condizioni meteo possono limitare le operazioni (pioggia, neve,...etc)
4. Il buio della notte impedisce il rilievo

GPS

1. Indipendente dalle condizioni meteo
2. Non richiede la intervisibilità.
3. Possiede un alta precisione
4. Si può operare il giorno e la notte
5. Più veloce e richiede meno operatori
6. Sistema di coordinate globali
7. Numerose applicazioni

APPLICAZIONI

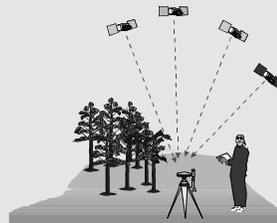
Navigazione aerea



Navigazione marittima

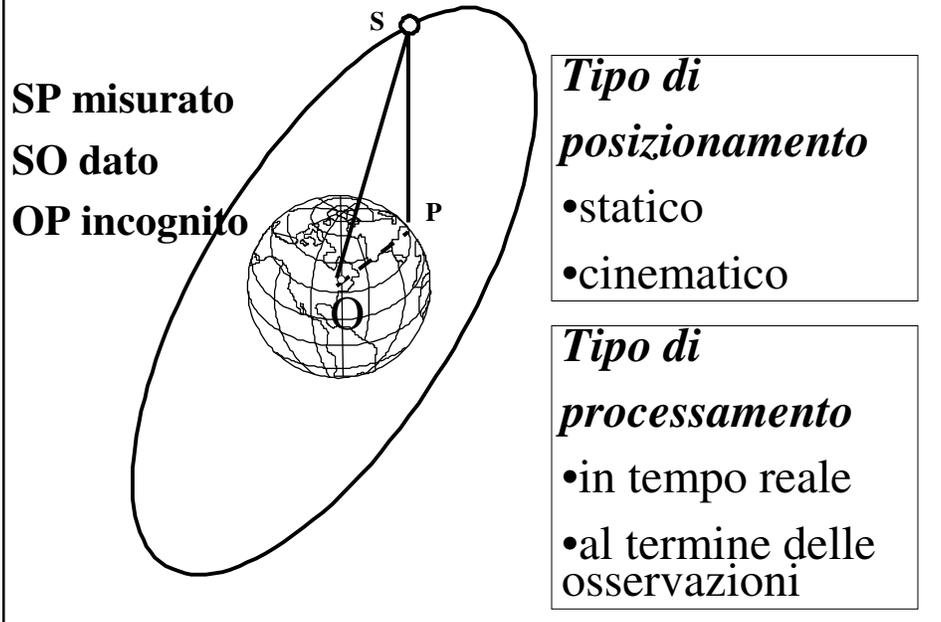


Navigazione terrestre



Topografia
Geodesia
GIS
Geodinamica

posizionamento con satelliti



•La misura viene effettuata
tramite onde
elettromagnetiche

•le efemeridi vengono inviate
tramite onde
elettromagnetiche



Analisi del segnale

Perché il segnale GPS è così complicato?

- **Sistema multi utente**

misura ad una via (non si rileva la propria posizione)

- **Posizionamento in tempo reale**

misure simultanee a più satelliti (ogni satellite ha un proprio codice)

misura del tempo di tragitto (modulazione con codici pseudocasuali)

conoscenza della posizione dei satelliti in tempo reale (invio di informazioni)

- **Precisione del posizionamento**

modulazione con onda metrica (P)

misure di fase (portanti)

correzione ionosferica (due frequenze)

- **Utilizzatori civili e militari**

due codici (P e C/A)

Quali tipi di misure si possono effettuare attraverso la ricezione del segnale GPS?

- **PSEUDO RANGE**

- **FASE**

hanno lo stesso contenuto geometrico (distanza stazione-satellite), ma precisioni diverse

SEGNALE GPS

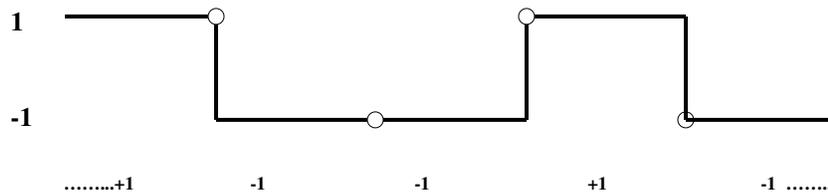
portanti + codici + messaggio

portanti

$$L_1 \quad f_{L1} = 154 f_0 \quad (\lambda_{L1} \cong 19\text{cm})$$

$$L_2 \quad f_{L2} = 120 f_0 \quad (\lambda_{L2} \cong 24\text{cm})$$

Codici pseudocasuali



$$\mathbf{C/A} \quad f_{C/A} = 1/10 f_0 \quad (\lambda_{C/A} \cong 300 \text{ m})$$

(solo su L_1)

$$T = 1 \text{ msec}$$

$$\mathbf{P} \quad f_P = f_0 \quad (\lambda_P \cong 30 \text{ m})$$

(su $L_1 L_2$)

$$T = 37 \text{ settimane}$$

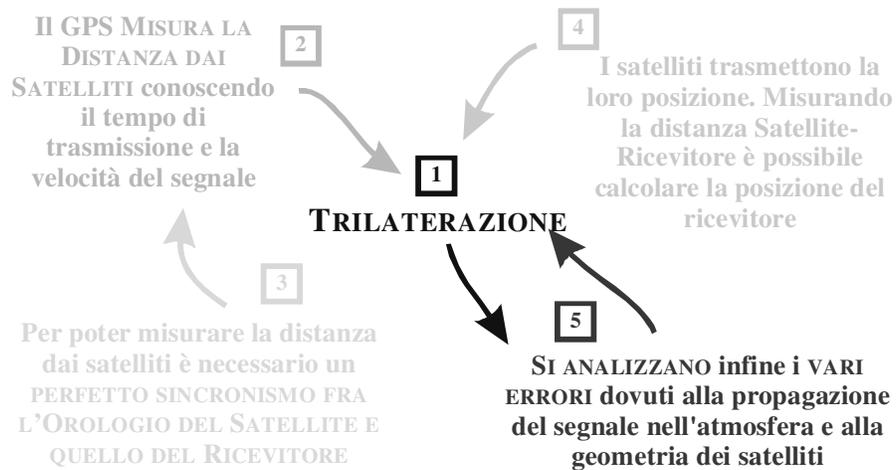
Messaggio

$$D \quad f_D = 50 \text{ Hz} \quad (1/204600 f_0)$$

1500 bits X 25 blocchi

30 sec X 25 = 12.5 min

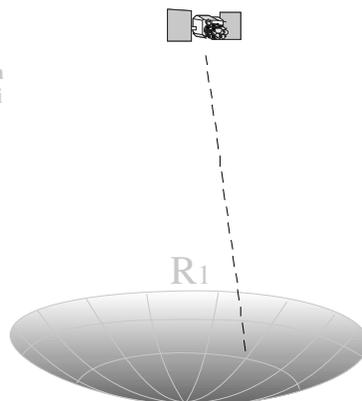
COME FUNZIONA IL GPS ?



TRILATERAZIONE CON IL GPS

Una sola misura di distanza da un punto (1 satellite) individua la nostra posizione ovunque sulla superficie di una sfera

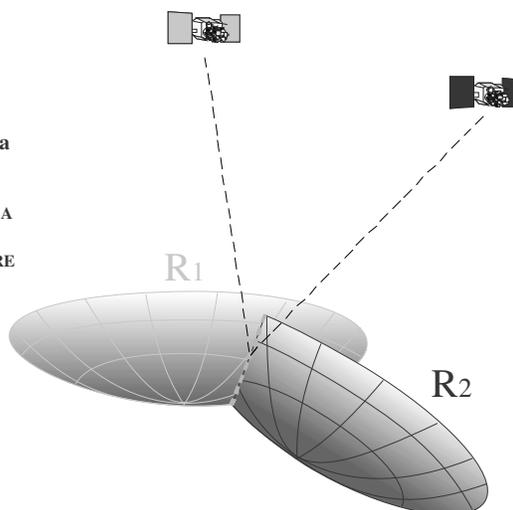
NOI CI TROVIAMO IN UN PUNTO QUALUNQUE SULLA SUPERFICIE DELLA SFERA!



TRILATERAZIONE CON IL GPS

L'intersezione di due sfere è una circonferenza

UNA SECONDA MISURA INDICA LA NOSTRA POSIZIONE SULL'INTERSEZIONE DI DUE SFERE

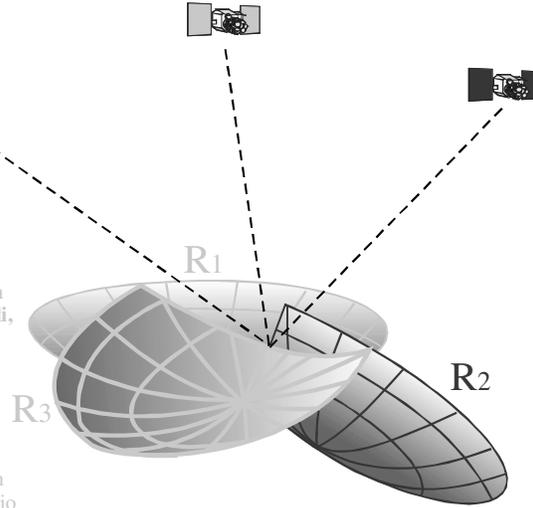


TRILATERAZIONE CON IL GPS

Una terza misura limita la nostra posizione in soli due punti possibili, coincidenti con i punti in cui si intersecano tre sfere

UNA SOLA SOLUZIONE È ACCETTABILE

Uno dei due punti risulta assurdo in quanto risulta posizionato nello spazio e muoversi ad altissima velocità



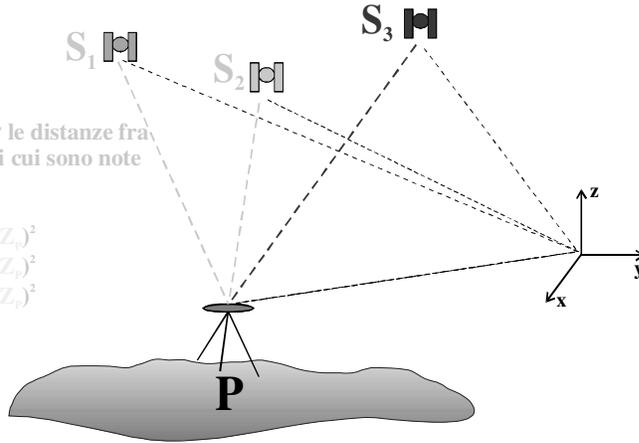
MISURATE SIMULTANEAMENTE le distanze fra il Punto e 3 diversi Satelliti di cui sono note le EFEMERIDI

$$PS_1^2 = (X_{S1} - X_p)^2 + (Y_{S1} - Y_p)^2 + (Z_{S1} - Z_p)^2$$

$$PS_2^2 = (X_{S2} - X_p)^2 + (Y_{S2} - Y_p)^2 + (Z_{S2} - Z_p)^2$$

$$PS_3^2 = (X_{S3} - X_p)^2 + (Y_{S3} - Y_p)^2 + (Z_{S3} - Z_p)^2$$

3 INCOGNITE 3 EQUAZIONI



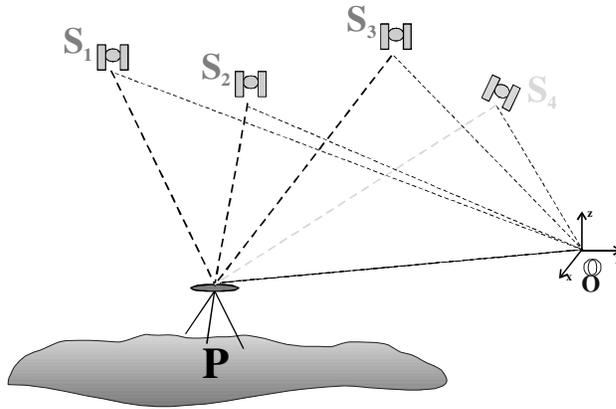
E' sufficiente la misura di tre distanze Punto-Satellite per determinare univocamente le tre coordinate del punto.

Poiché le distanze sono derivate da misure di tempo
**LA SOLUZIONE È ERRATA SE MANCA IL SINCRONISMO TRA
 L'OROLOGIO DEL RICEVITORE E QUELLO DEI SATELLITI**

Offset tra le scale di tempo Δt

4 INCOGNITE: Δt

4 MISURE DI DISTANZA PUNTO-SATELLITE SONO SUFFICIENTI PER DETERMINARE LE COORDINATE DEL PUNTO (LONGITUDINE, LATITUDINE, QUOTA) E L'OFFSET FRA LE SCALE DI TEMPO Δt .



POSIZIONAMENTO RELATIVO DI UN PUNTO CON GPS

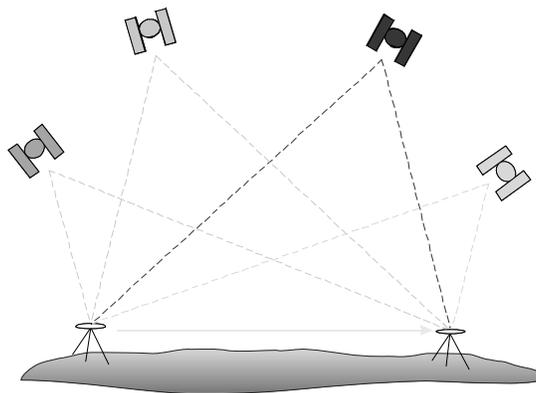
Per raggiungere precisioni elevate si devono effettuare misure di POSIZIONAMENTO RELATIVO FRA DUE STAZIONI.

Il segnale del Satellite è registrato contemporaneamente in A e B.

- Si ELIMINANO gli errori degli orologi dei satelliti e del ricevitore*
- si MINIMIZZA l'errore dovuto al ritardo ionosferico*

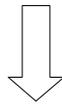
PRECISIONE PARI A 10^{-6} - 10^{-8} IL VALORE DELLA LUNGHEZZA DELLA LINEA DI BASE

Errore 0.5-5 m
Errore 0.5-1 cm



**•La misura viene effettuata
tramite onde
elettromagnetiche**

**•le efemeridi vengono inviate
tramite onde
elettromagnetiche**



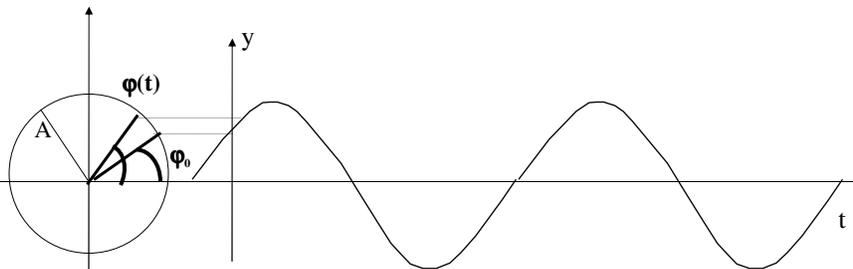
Analisi del segnale

Equazione di un'onda nel tempo

$$Y(x_0,t)=A\sin(\omega t+\varphi_0)$$

**Interpreta lo spostamento di
un generico punto di ascissa x_0
sottoposto ad un fenomeno
ondulatorio semplice**

Un moto ondulatorio semplice può essere ottenuto considerando la proiezione sull'asse y del moto di un punto su una circonferenza(moto circolare uniforme)



**A ampiezza
(raggio circonfer.)**

**$\omega=2\pi/T$ pulsazione(rad/s)
(velocità angolare)**

$\varphi = \omega t$ fase (cicli)

φ_0 fase iniziale (cicli)

Inoltre si ha:

T=periodo (tempo necessario per compiere un ciclo completo)

**$f=1/T$ =frequenza (cicli/s)
(numero di giri, ovvero di oscillazioni complete, nell'unità di tempo)**

Ad un intervallo di tempo Δt corrisponde una variazione di fase $\Delta\phi$, nell'ipotesi di f costante:

$$\Delta\phi = f \Delta t$$

viceversa, noti Δt e $\Delta\phi$ si può ricavare f :

$$f = \Delta\phi / \Delta t$$

al limite per $\Delta t \rightarrow 0$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta\phi / \Delta t = d\phi/dt = f$$

$\Delta t \rightarrow 0$

la frequenza è la derivata prima nel tempo della fase

Equazione di un'onda nello spazio

$$Y(x,t) = A \sin[\omega(t - \tau) + \phi_0]$$

Detta c la velocità di propagazione del fenomeno ondulatorio: $\tau = (x - x_0)/c$ e, supponendo per semplicità $x_0 = 0$, $\tau = x/c$

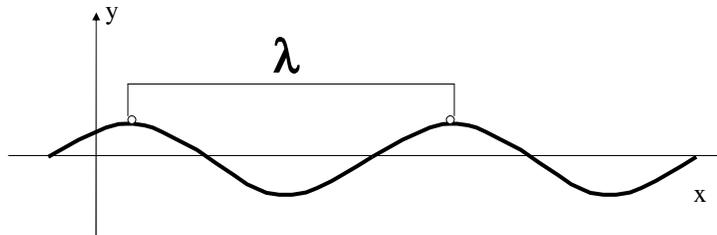
$$Y(x,t) = A \sin[\omega(t - x/c) + \phi_0]$$

Interpreta, per t fissato, lo spostamento dell'insieme dei punti sottoposti al fenomeno ondulatorio

Inoltre si ha:

$$cT = \lambda \quad (\text{lunghezza d'onda})$$

spazio percorso dal fenomeno ondulatorio nel periodo T



λ è la distanza tra due punti consecutivi di uguale fase frazionaria

Riepilogo delle principali quantità fisiche relative ad un fenomeno ondulatorio

c velocità di propagazione(m/s)

f frequenza(cicli/s = Hz)

T=1/f periodo(s)

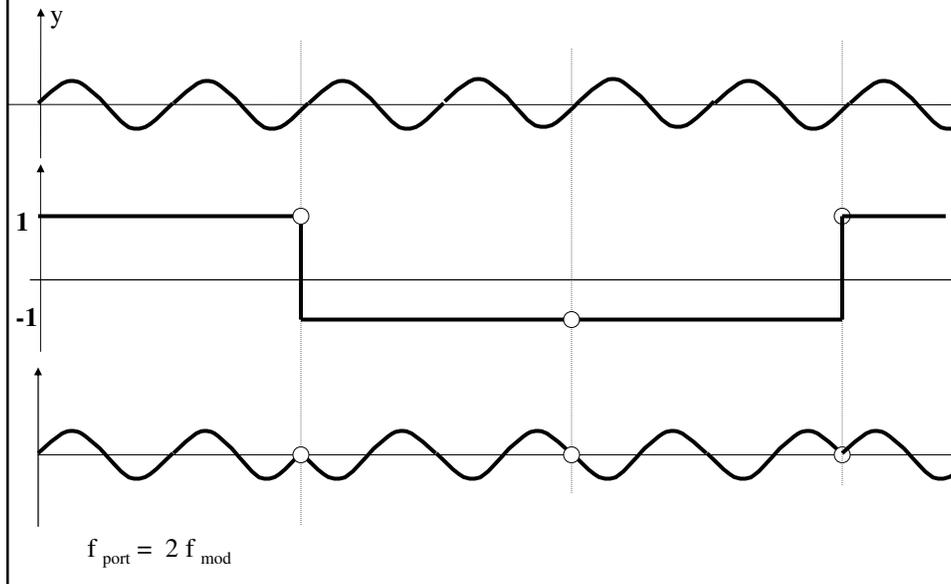
$\lambda=cT$ lunghezza d'onda(m)

$\varphi=f\Delta t+ \varphi_0$ fase(cicli)

$\omega=2\pi/T$ pulsazione(rad/s)

da ricordare: $f=d \varphi/dt$ $f \lambda=c$

Modulazione del segnale (in fase)



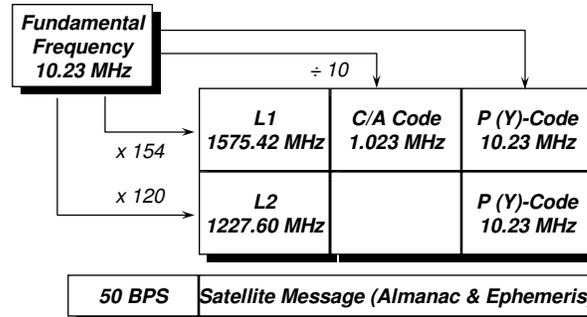
Il segnale GPS è composto da più onde tutte con frequenza multipla o sottomultipla di una frequenza fondamentale f_0 :

$$f_0 = 10.23 \text{ MHz}$$

f_0 è la frequenza dell'orologio atomico a bordo dei satelliti

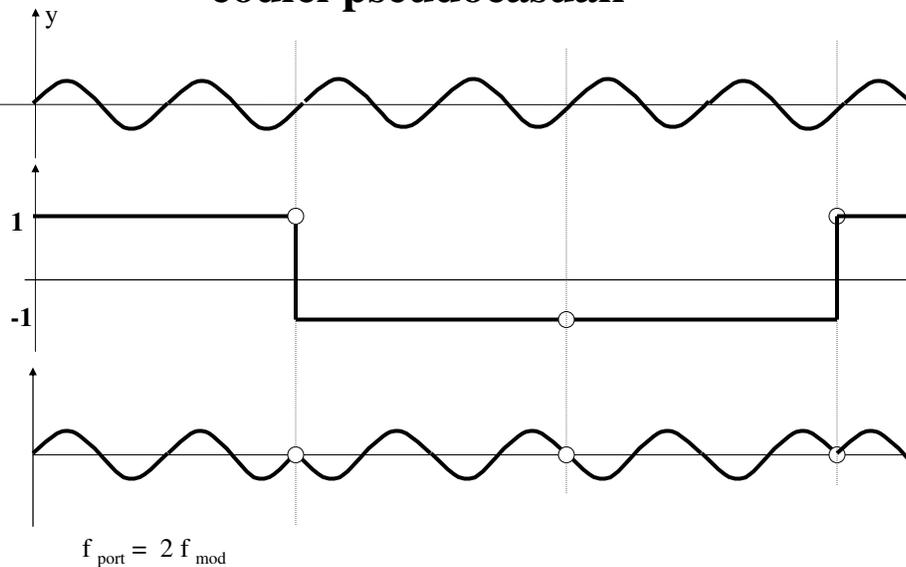
La struttura del segnale GPS

- Ogni satellite trasmette differenti segnali
- Il segnale comprende due onde portanti (L1 e L2) e due codici (C/A sulla L1 e P or Y sia sulla L1 che sulla L2)



Ogni satellite è in grado di generare le varie componenti del segnale GPS tramite un procedimento di moltiplicazione elettronica delle frequenze

Le portanti sono modulate in fase con i codici pseudocasuali



In particolare:

P modula sia L_1 che L_2

C/A modula solo L_1

$$S_{L1} = A_{C/A} C(t) D(t) \sin(2\pi f_{L1} t + \varphi_{L1}) + A_P P(t) D(t) \cos(2\pi f_{L1} t + \varphi_{L1})$$

$$S_{L2} = A_P P(t) D(t) \cos(2\pi f_{L2} t + \varphi_{L2})$$

Principio delle misure GPS

PSEUDO RANGE

- misura del tempo di volo Δt
- calcolo di $x = c\Delta t$ (poiché Δt noto a meno di vari errori sistematici \Rightarrow pseudorange)

FASE

- misura del numero di cicli necessari per la trasmissione, ϕ
- calcolo di $x = \frac{\phi\lambda}{2\pi}$

POSIZIONAMENTO ASSOLUTO CON MISURE DI CODICE

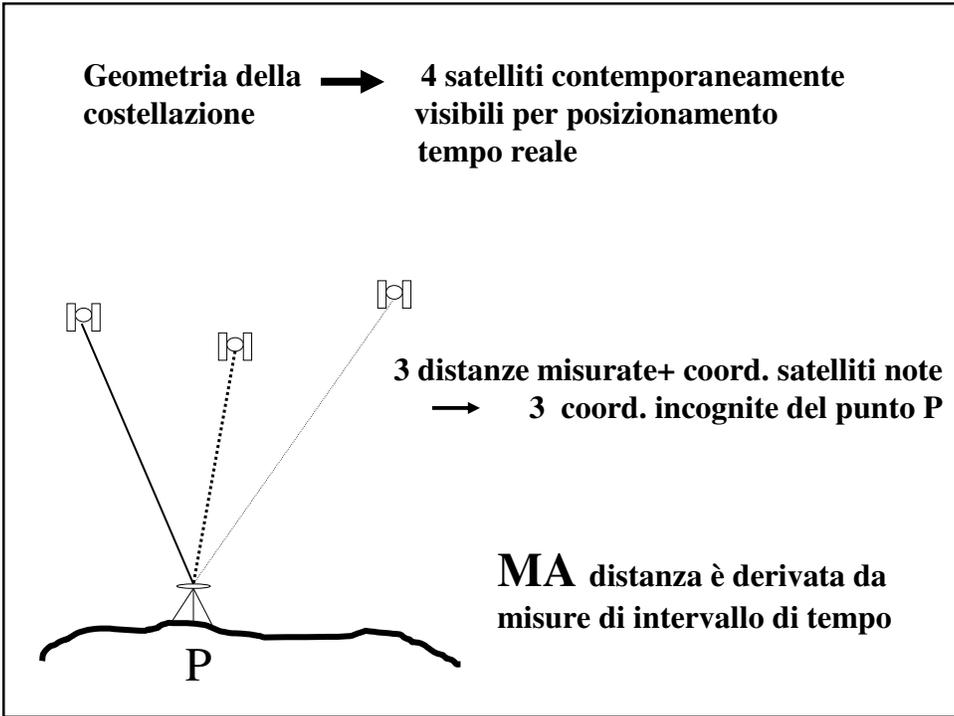
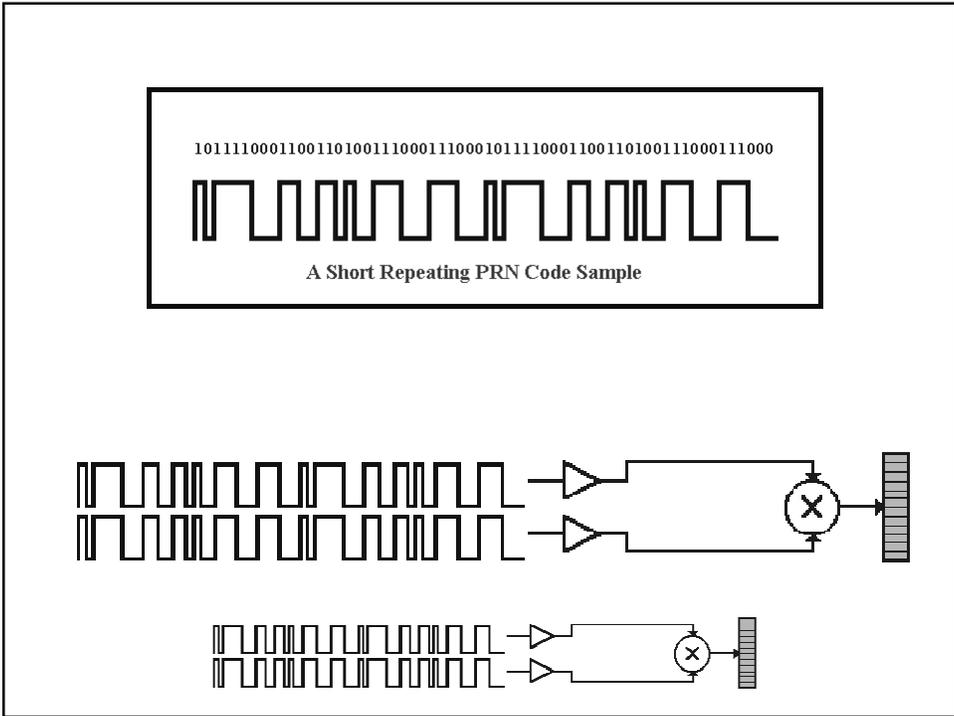
All'istante di arrivo del segnale satellitare al ricevitore, questo emette una replica identica. I due segnali si trovano sfasati nel tempo in quanto il segnale satellitare ha già percorso la distanza satellite-ricevitore. Il ricevitore sposta la replica del segnale nel tempo fino ad allineare i due segnali. Il TEMPO DI VOLO Δt è lo spostamento da dare alla replica del segnale del ricevitore per allinearla al segnale trasmesso dal satellite.

LA DISTANZA SATELLITE-RICEVITORE SI OTTIENE MOLTIPLICANDO IL TEMPO DI VOLO Δt PER LA VELOCITA' DELLA LUCE c

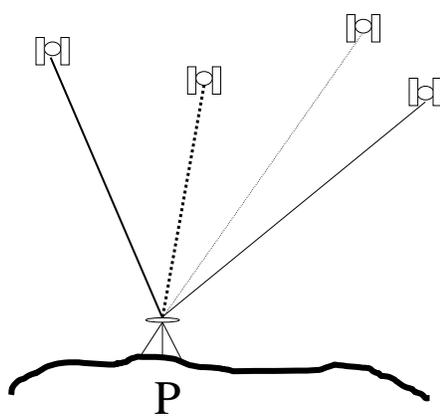
$$SR = c \Delta t$$

Con $c = 300.000 \text{ km/sec}$ velocità della luce nel vuoto





Necessità di sincronismo tra orologi del satellite e del ricevitore \Rightarrow incognita per la differenza di origine dei tempi



4 incognite $x_p, y_p, z_p, \Delta\tau$

4 osservazioni simultanee a 4 satelliti per il posizionamento in tempo reale

Non perfetta sincronizzazione tra orologi satelliti e orologio ricevitore \longrightarrow offset tra le scale dei tempi $\Delta\tau$

4 incognite $x_p, y_p, z_p, \Delta\tau$

4 osservazioni simultanee a 4 satelliti per il posizionamento in tempo reale

Regola pratica per la precisione misure pseudo range:

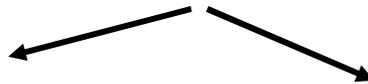
puri errori strumentali \Rightarrow 1-2 % della lunghezza d'onda

C/A $\lambda = 300 \text{ m}$ $\sigma = 3-6 \text{ m}$

P $\lambda = 30 \text{ m}$ $\sigma = 30-60 \text{ cm}$

Pseudo range misurato

differenza tra



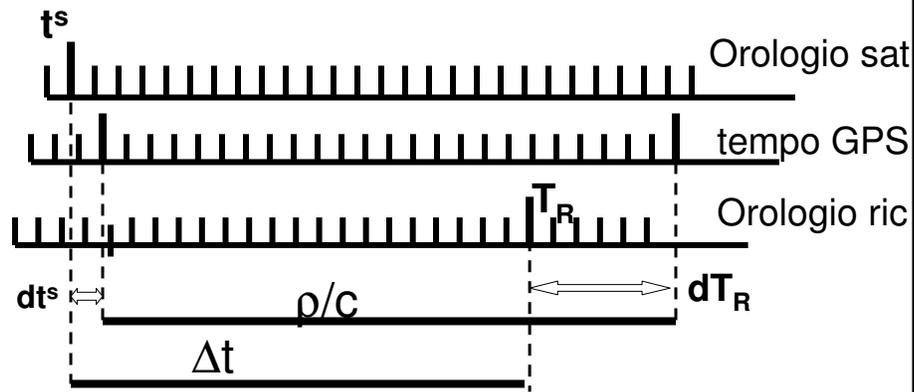
istante di ricezione T_R
(scala tempi ricevitore)

istante di trasmissione t^s
(scala tempi satellite)

$$\Delta t = T_R - t^s$$

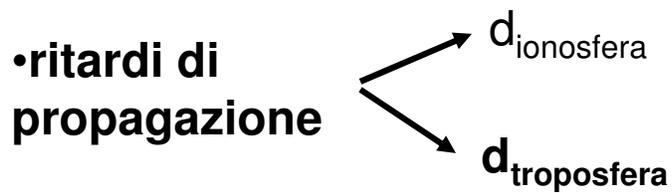
principali errori sistematici 1

- difetto di sincronizzazione degli orologi



$$\Delta t = (t_R(\text{GPS}) - t^s(\text{GPS})) - dT_R + dt^s$$

principali errori sistematici 2



Equazione alla misura di pseudorange (in unità di distanza)

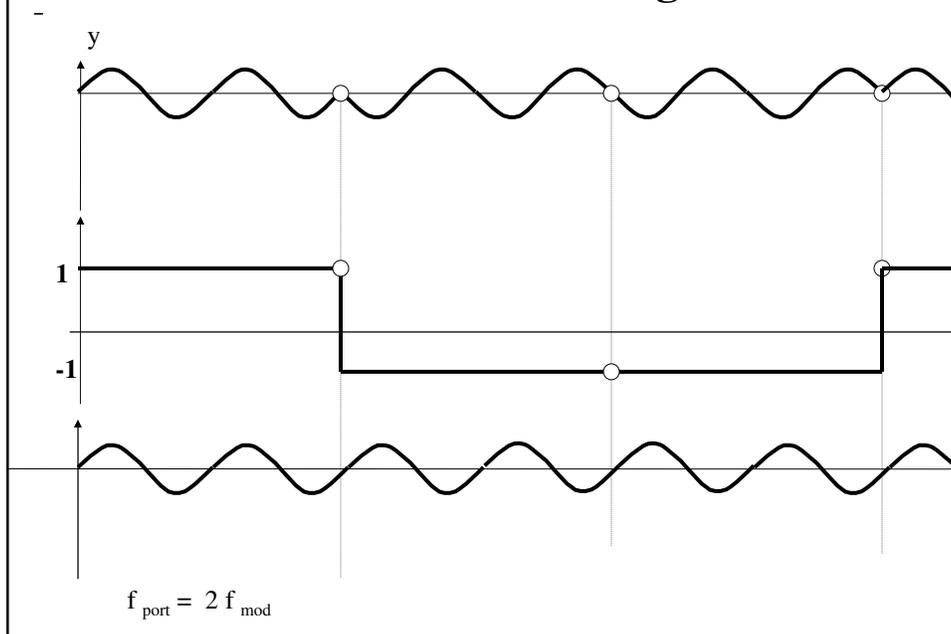
$$\rho = c \Delta t = \rho + c(dt^s - dT_R) + d_{\text{ion}} + d_{\text{trop}}$$

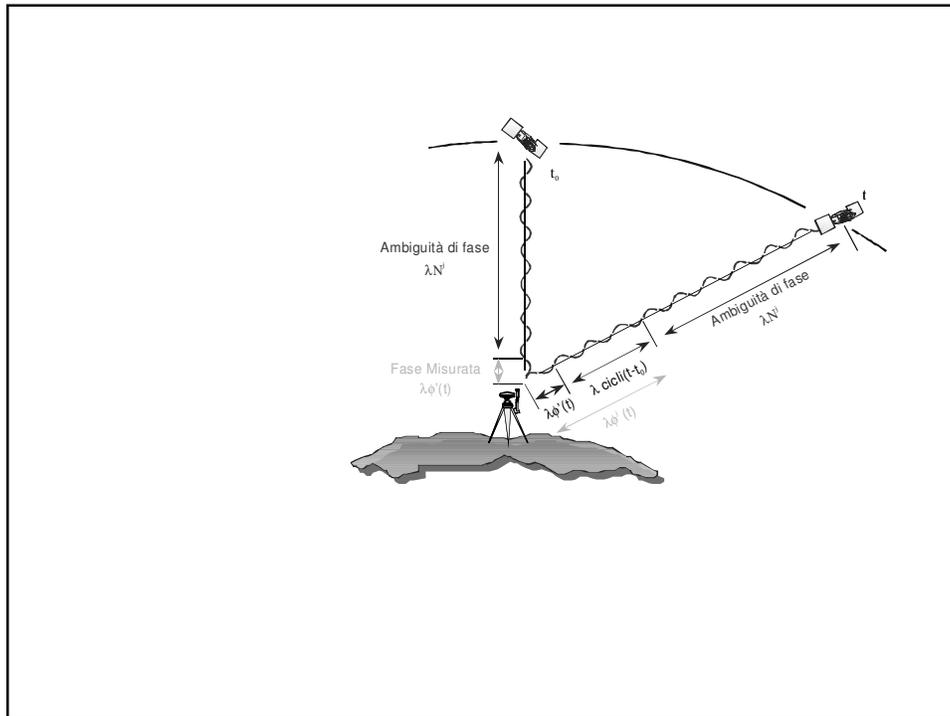
ρ contiene le quantità
geometriche

dt^s, dT_R sono positivi se satellite e
ricevitore sono in anticipo rispetto al
tempo GPS

$d_{\text{ion}}, d_{\text{trop}}$ sono positivi, cioè ionosfera e
troposfera causano un effettivo ritardo

demodulazione del segnale





Misure di fase 1

$$\varphi^s_R(T_R) = \varphi_{\text{gen } R}(T_R) - \varphi^{\text{gen } s}(t^s)$$

ma

$$\varphi^{\text{gen } s}(t^s) = \varphi^{\text{gen } s}(T_R) - f(T_R - t^s)$$



$$\varphi^s_R(T_R) = \varphi_{\text{gen } R}(T_R) - \varphi^{\text{gen } s}(T_R) + f(T_R - t^s)$$

Misure di fase 2

$$\varphi^s_R(T_R) = \varphi_{\text{gen } R}(T_R) - \varphi^{\text{gen } s}(T_R) + f(T_R - t^s)$$

ma $\varphi_{\text{gen } R}(T_R) = \varphi(T_R)_{\text{rif}} - f dT_R$

$$\varphi^{\text{gen } s}(T_R) = \varphi(T_R)_{\text{rif}} - f dt^s$$

$$(T_R - t^s) = \rho/c + (d_{\text{ion}} + d_{\text{trop}})/c$$



$$\varphi^s_R(T_R) = f(dt^s - dT_R) + f\rho/c + f(d_{\text{ion}} + d_{\text{trop}})/c$$

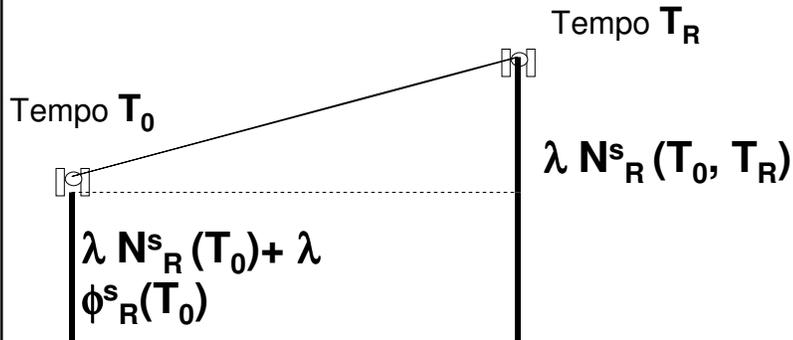
Misure di fase 3

Attenzione! al tempo di accensione $T_{R(0)}$ non posso misurare $\varphi^s_R(T_{R(0)})$ ma solo la sua parte fratta non conosco il numero intero di cicli $N^s_R(T_{R(0)})$ compiuti dal segnale nel percorrere la distanza satellite-stazione pertanto la quantità osservata al tempo di accensione $T_{R(0)}$ è:

$$\begin{aligned} \varphi^s_R(T_{R(0)}) = & f(dt^s - dT_R) + f\rho/c \\ & + f(d_{\text{ion}} + d_{\text{trop}})/c - N^s_R(T_{R(0)}) \end{aligned}$$

ambiguità iniziale

Misure di fase 4



A partire da T_0 si è in grado di contare la variazione del numero intero di cicli corrispondente alla variazione della distanza satellite ricevitore ovvero al tempo T_R si conosce la quantità $\Delta N_R^s(T_0, T_R)$

Confronto le equazioni di osservazione

Pseudo range:

$$\rho = c \Delta t = \rho + c(dt^s - dT_R) + d_{ion} + d_{trop}$$

Fase:

$$\varphi_R^s = f\rho/c + f(dt^s - dT_R) + f(d_{ion} + d_{trop})/c - N_R^s$$

$$\text{ma } \lambda = c/f$$

$$\lambda \varphi_R^s = \rho + c(dt^s - dT_R) + d_{ion} + d_{trop} - \lambda N_R^s$$

Confronto delle due espressioni:

- uguale contenuto geomentrico $\rightarrow \rho$
- presenza dell'ambiguità iniziale nelle misure di fase N_T^s

$$\rho_T^s = \sqrt{(x^s - x_T)^2 + (y^s - y_T)^2 + (z^s - z_T)^2}$$

Errori di modello:

- biases orologi
- biases d'orbita
- biases atmosfera

Biases degli orologi

- sincronismo: tutti gli orologi del sistema devono essere sincronizzati rispetto ad un tempo (ideale) GPS
- stabilità: gli oscillatori degli orologi controllano la generazione del segnale.

Le due condizioni non sono indipendenti: l'iniziale sincronismo è perso in assenza di stabilità!

Biases d'orbita

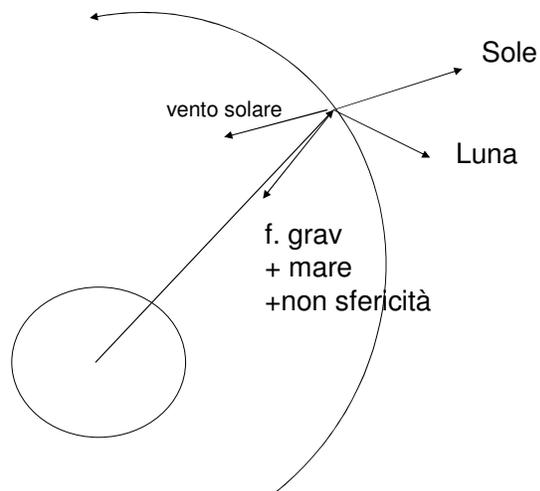
Situazione ideale:

- Terra perfettamente sferica ed omogenea
- assenza di forze perturbative esterne
→ orbita kepleriana

Situazione reale:

- non sfericità della Terra
- attrazione lunare
- attrazione solare
- maree terrestri
- pressione di radiazione

Principali forze agenti sui satelliti



Per calcolare l'orbita dei satelliti si applicano le equazioni del moto.

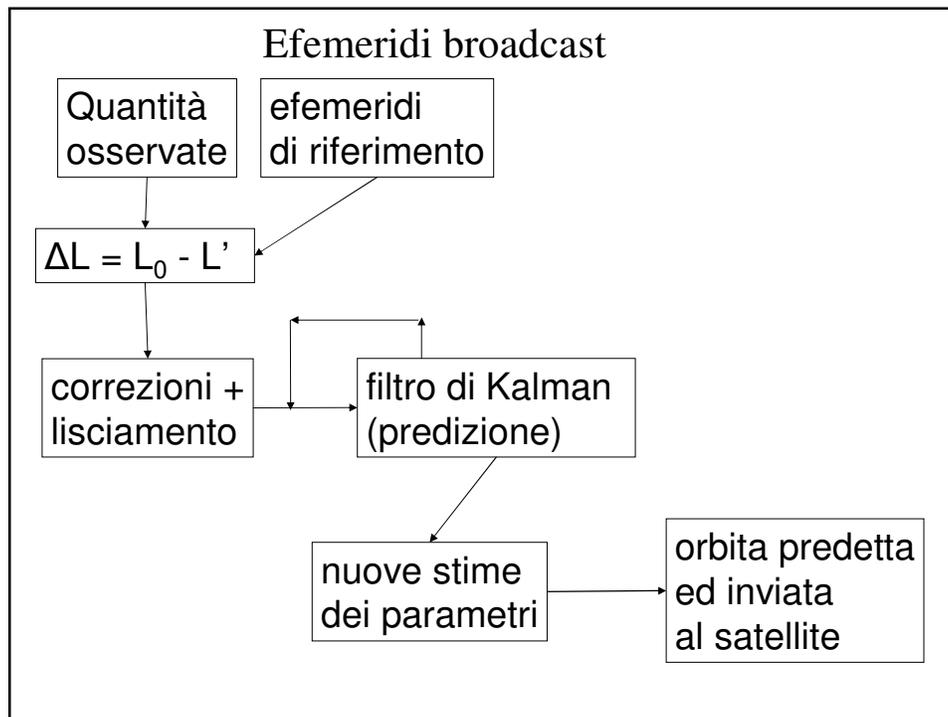
se disponiamo di osservazioni GPS eseguite da stazioni di **coordinate note**:

$$\Delta L = L_0 - L'$$

L_0 → quantità misurata

L' → quantità calcolata con soluzione numerica delle equazioni del moto

ΔL è funzione delle correzioni dei parametri di posizione del satellite (posizione e velocità) e degli effetti perturbativi.



Efemeridi precise

- sono calcolate mediante una metodologia analoga a quella usata per le broadcast
- sono efemeridi interpolate e non predette
- sono fornite con un ritardo di circa 1 settimana rispetto all'epoca della misura
- sono fornite sotto forma di posizione e velocità ad epoche equidistanti
- hanno precisione di 2 ordini di grandezza rispetto alle broadcast

Sono utilizzate principalmente per il posizionamento di alta e altissima precisione.

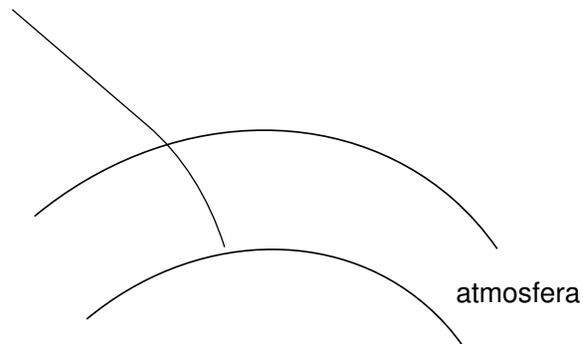
Fonti delle efemeridi precise

Attualmente sono fornite gratuitamente in rete:

Centri dell'IGS (International GPS Service for Geodynamics)

Biases atmosferici

- variazione della velocità di propagazione del segnale nell'atmosfera



Biases atmosferici

• ionosfera: 50-500 Km

l'effetto dipende dalla frequenza del segnale

• troposfera: 0-50 Km

parte soggetta alle variazioni climatiche,
l'effetto dipende dall'aria secca, dal vapor
acqueo, dalla temperatura.

Rimozione effetto ionosferico con ricevitori a doppia
frequenza

il ritardo dipende dall'inverso del quadrato della
frequenza $\rightarrow \Delta t = a/f^2$

misure di codice:

$$\tau_{L_1} = \tau + \frac{a}{f_1^2} \quad \tau_{L_2} = \tau + \frac{a}{f_2^2}$$

$$\Delta\tau = \tau_{L_1} - \tau_{L_2} = \frac{a}{f_1^2} - \frac{a}{f_2^2}$$

\Downarrow

$$a = \Delta\tau \frac{f_1^2 f_2^2}{f_2^2 - f_1^2}$$

$$\tau_{L_1} = \tau + \frac{(\tau_{L_1} - \tau_{L_2})f_2^2}{f_2^2 - f_1^2}$$

$$\tau = \frac{\tau_{L_1}(f_2^2 - f_1^2) - (\tau_{L_1} - \tau_{L_2})f_2^2}{f_2^2 - f_1^2} =$$

$$\tau = \frac{\tau_{L_1} - \tau_{L_1} \frac{f_1^2}{f_2^2} - \tau_{L_1} + \tau_{L_2}}{\left(1 - \frac{f_1^2}{f_2^2}\right)} = \frac{\tau_{L_2} - \alpha \tau_{L_1}}{1 - \alpha} \quad \alpha = \frac{f_1^2}{f_2^2}$$

Effetto rimosso!

Errori di "osservazione"

- multipath
- centro di fase
- cycle slips

segnale rumoroso antenna oscurata → interruzione nell'acquisizione dei dati al tempo T_0

quando il segnale è riagganciato al tempo T si misura la parte fratta della fase con nuova ambiguità $N_{s_T}(T)$

quindi si introduce una nuova incognita → procedure di trattamento più laboriose

una strada alternativa è il pre-processamento dei dati per identificare e rimuovere i cycle-slips

diverse strategie → combinazione misure fase e pseudo range
 combinazione delle due portanti
 combinazione delle misure effettuate da stazioni diverse

I modelli per la correzione degli errori non sono hanno precisioni adeguate per alcune applicazioni che richiedono il posizionamento di precisione.

Un'alternativa per ridurre e/o eliminare gli errori consiste nel differenziare le misure acquisite simultaneamente da due stazioni

Differential Positioning - DGPS - posizionamento relativo



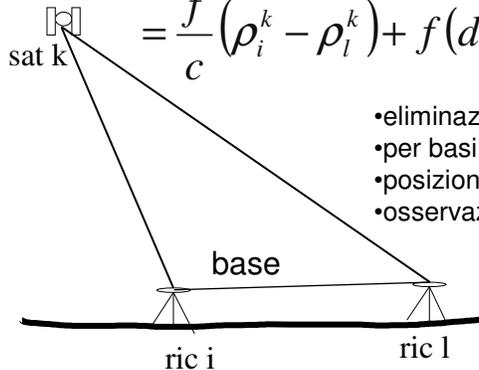
$$\bar{x}_a = \bar{x}_b + \bar{b}_{ab} \quad \bar{b}_{ab} = \begin{bmatrix} x_a - x_b \\ y_a - y_b \\ z_a - z_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix}$$

Differenza singola tra ricevitori

$$\Phi_i^k(t) = \frac{f}{c} \rho_i^k + f(dt^k - dT_i) + \frac{f}{c} (d_{ion} + d_{trop}) - N_i^k$$

$$\Delta\Phi_{il}^k(t) = \Phi_i^k(t) - \Phi_l^k(t) =$$

$$= \frac{f}{c} (\rho_i^k - \rho_l^k) + f(dT_l - dT_i) - (N_i^k - N_l^k)$$

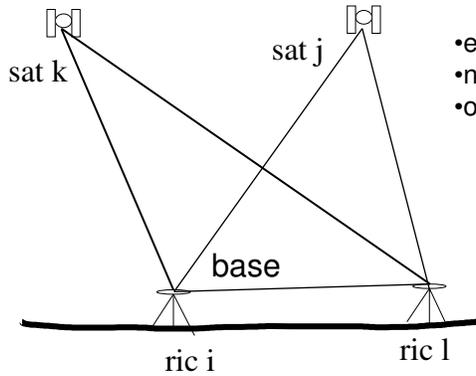


- eliminazione biases orologio satellite
- per basi corte forte riduzione ritardi atmosferici
- posizionamento relativo
- osservazioni incorrelate

2 ric. 4 satelliti
4 equazioni

Differenze doppie

$$\nabla \Delta \Phi_{il}^{ks}(t) = \frac{f}{c} [(\rho_i^k - \rho_l^k) - (\rho_i^j - \rho_l^j)] +$$
$$- [(N_i^k - N_l^k) - (N_i^j - N_l^j)]$$



- eliminazione biases orologi satelliti
- natura intera di ΔdN
- osservazioni correlate

2 ric. 4 sat.
3 equazioni

Osservando che le differenze doppie sono quantità “liscie” al variare del tempo \rightarrow alla fine della compensazione i residui delle differenze doppie mostrano salti in corrispondenza dei cycle slips

Differenze doppie minimi quadrati

osservazioni

- precisione osservazioni
- legami tra quantità osservate e parametri incogniti

minimi quadrati

- stime dei parametri incogniti
- precisione delle stime e delle osservazioni

I Metodi di Rilievo

Statico e Statico Rapido

Tecnica differenziale GPS con post processing

I tempi di rilievo sono funzione di:

- ☞ lunghezza della baseline
- ☞ disponibilità satellitare (numero e geometria satelliti)
- ☞ tipo di ricevitore utilizzato (L1 o L1/L2)
- ☞ precisione che si vuole ottenere

Stop & Go e Cinematico

Tecniche differenziali GPS con post processing

Si devono agganciare un minimo di 5 satelliti

Per ottenere dal rilievo una precisione centimetrica, è necessario eseguire, all'inizio del rilievo e dopo ogni eventuale perdita di segnale dai satelliti, una fase di inizializzazione. Questa fase di inizializzazione, viene eseguita in maniera automatica ed in movimento (tecnica On The Fly) dai ricevitori a doppia frequenza, mentre per i ricevitori a singola frequenza, è necessario eseguire la procedura di inizializzazione seguendo uno dei seguenti metodi: Statico Rapido, Punto Noto, Antenna Swap (l'inizializzazione deve sempre essere eseguita da fermi).

RTK OTF

Real Time Kinematic

Risoluzione delle ambiguità in tempo reale.

La reference station trasmette via radiomodem o via GSM i propri dati, permettendo al ricevitore mobile, di calcolare istantaneamente la propria posizione con alta precisione. Per ottenere dal rilievo una precisione centimetrica, è necessario eseguire, all'inizio del rilievo e dopo ogni eventuale perdita di segnale dai satelliti, una fase di inizializzazione. Questa fase di inizializzazione, viene eseguita in maniera automatica ed in movimento (tecnica On The Fly) dai ricevitori a doppia frequenza, mentre per i ricevitori a singola frequenza, è necessario eseguire la procedura di inizializzazione seguendo uno dei seguenti metodi: Statico Rapido, Punto Noto, Antenna Swap (l'inizializzazione deve sempre essere eseguita da fermi).

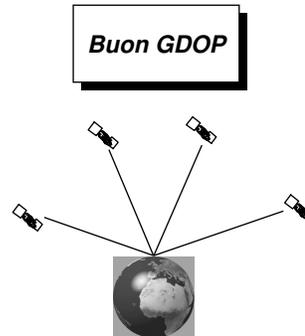
QUIQUIQUIQUI

Metodo	Tempo di misura	Lunghezza Basi	Precisione	Rate [s]	Note
Statico	>1/2 ora 1 ora 3—4 ore variabile	10 km 20-30 km >100 km	10^{-6} - 10^{-8}	10-60	Doppia frequenza con basi >15km
Rapido Statico	20-30 min (L1) 6-8 min (L1/L2)	<10-15km	10^{-6}	5-15	Configurazione sat. buona
Cinem. S&G	<1 min	Qualche km (<10)	10^{-5}	1-5	Contatto continuo
Cinem. Cont.	Continuo	Qualche km	10^{-5}	1-5	

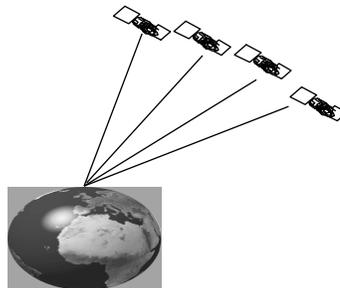
Dilution of Precision (DOP)

- E' un indicatore della geometria dei satelliti agganciati al momento del rilievo.

- *GDOP (Geometrical) < 8*
 - Lat, Lon, Quota & Tempo
- *PDOP (Positional)*
 - Lat, Lon & Quota
- *HDOP (Horizontal)*
 - Lat & Lon
- *VDOP (Vertical)*
 - Quota



Cattivo GDOP



Gli Standard GPS

Gli standard GPS

Il formato RINEX

Il formato RINEX (Receiver Independent Exchange format) costituisce il formato ASCII standard secondo il quale i file binari provenienti dalle differenti marche di ricevitori GPS devono essere trasformati in file leggibili da qualsiasi software di trattamento dati GPS.

Questo formato è stato sviluppato presso l'Istituto Astronomico dell'Università di Berna in modo da favorire lo scambio di dati della campagna EUREF '89, e prevede l'esistenza di tre tipi differenti di file:

- **observation data file**
- **navigation data file**
- **metereological data file**

Gli standard GPS

Il formato RINEX

In ogni file si trova una parte di *intestazione* ed una parte di *dati*; ogni file meteorologico e di osservazione contiene i dati relativi ad una stazione e ad una sessione.

I nomi dei file RINEX sono definiti in base alla convenzione *ssssgggn.aat* dove:

- *ssss* sono i primi 4 caratteri del nome identificativo del sito di misura
- *ggg* è il giorno dell'anno
- *n* è il numero della sessione
- *aa* sono le ultime due cifre dell'anno corrente
- *t* denota il tipo di file (O per osservazione, N per navigazione, M per dati meteo)

Navigation file

```
2.10          NAVIGATION DATA      G (GPS)          RINEX VERSION / TYPE
DAT2RINW 3.10 001  Mario Rossi      07MAR05 16:27:49  PGM / RUN BY / DATE
                                     COMMENT
      .1024D-07  .1490D-07  -.5960D-07  -.1192D-06
      .8806D+05  .3277D+05  -.1966D+06  -.1966D+06
      .000000000000D+00 .000000000000D+00  0  1024 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
      0                                     LEAP SECONDS
                                     END OF HEADER
2 99  2 24 18  0 0.0 -.286460854113D-04 -.454747350886D-11 .000000000000D+00
      .000000000000D+00 .400000000000D+01 .505878228196D-08 .303289882338D+01
      .106170773506D-06 .184806835605D-01 .938586890697D-05 .515367496300D+04
      .324000000000D+06 .204890966415D-07 .166343615837D+01 -.242143869400D-06
      .936211842330D+00 .184093750000D+03 -.222327942671D+01 -.795461740921D-08
      -.332871008535D-09 .100000000000D+01 .998000000000D+03 .000000000000D+00
      .480000000000D+02 .000000000000D+00 -.232830643654D-08 .512000000000D+03
      .321996000000D+06 .400000000000D+01
...
31 99  2 24 20  0 0.0 .141165219247D-04 .568434188608D-12 .000000000000D+00
      .140000000000D+03 .104750000000D+03 .470269601038D-08 .166359755773D+01
      .542588531971D-05 .878322508652D-02 .844337046146D-05 .515370235062D+04
      .331200000000D+06 -.188127160072D-06 .275279547870D+01 .391155481339D-07
      .955697912608D+00 .215937500000D+03 .766418809905D+00 -.826284374256D-08
      .307155655077D-10 .100000000000D+01 .998000000000D+03 .000000000000D+00
      .480000000000D+02 .000000000000D+00 .139698386192D-08 .140000000000D+03
      .324666000000D+06 .400000000000D+01
```

```

2.10          OBSERVATION DATA      G (GPS)          RINEX VERSION / TYPE
DAT2RINW 3.10 001  Mario Rossi        07MAR05 16:35:03  PGM / RUN BY / DATE
Aldo Bianchi      Posione                               OBSERVER / AGENCY
220227034          TRIMBLE 4700        Nav 1.30 Sig 0.00  REC # / TYPE / VERS
00000000          TRM33429.00+GP      ANT # / TYPE
-----
Offset from BOTTOM OF ANTENNA to PHASE CENTER is 62.5 mm COMMENT
-----
70341960          COMMENT
7034              MARKER NAME
4314986.2306 1094843.8949 4553556.1321  MARKER NUMBER
1.1501          0.0000          0.0000          APPROX POSITION XYZ
*** Above antenna height is from mark to BOTTOM OF ANTENNA. ANTENNA: DELTA H/E/N
-----
Note: The above offsets are CORRECTED. COMMENT
Raw Offsets: H= 1.2126 E= 0.0000 N= 0.0000 COMMENT
-----
1 1 0          WAVELENGTH FACT L1/2
5 L1 C1 L2 P2 D1 # / TYPES OF OBSERV
15.000          INTERVAL
2004 7 14 5 12 15.0000000 TIME OF FIRST OBS
2004 7 15 15 2 0.0000000 TIME OF LAST OBS
0          RCV CLOCK OFFS APPL
29          # OF SATELLITES
1 2979 2985 2968 2968 2979 PRN / # OF OBS
3 1865 1875 1847 1849 1865 PRN / # OF OBS
...
28 2782 2790 2681 2681 2782 PRN / # OF OBS
29 2059 2072 2007 2009 2059 PRN / # OF OBS
30 1630 1630 1623 1623 1630 PRN / # OF OBS
31 3105 3108 3040 3042 3105 PRN / # OF OBS
END OF HEADER
...

```

Rinex file obs

```

...
L1          C/A          L2          P          D
04 7 14 5 12 15.0000000 0 6 3 11 14 15 19 22
100161.95417 21292861.17207 51758.26759 21292858.91449 -2342.57800
-115770.89817 22391845.71107 -66774.83858 22391842.12548 2716.32800
-82634.56717 22173900.75807 -49063.97558 22173897.82048 1943.57800
109166.75117 22236667.73407 55304.58058 22236665.71548 -2572.03100
-21091.15917 20363591.13307 -15947.11159 20363585.71149 509.01600
102935.91617 22013959.09407 52859.50858 22013954.02748 -2451.15600
04 7 14 5 12 30.0000000 0 6 3 11 14 15 19 22
135251.59607 21299538.68807 79100.82249 21299536.17249 -2335.87500
-156595.23307 22384077.16407 -98586.01848 22384073.14848 2727.00000
-111825.88607 22168345.73407 -71810.46548 22168342.37148 1948.68800
147670.24606 22243995.01606 85307.26648 22243992.70748 -2561.71900
-28760.44107 20362131.67207 -21923.18049 20362125.87149 513.70300
139641.54907 22020944.08607 81461.28648 22020939.28948 -2442.73400
04 7 14 5 12 45.0000000 0 6 3 11 14 15 19 22
170242.69007 21306197.38307 106366.58449 21306194.80549 -2329.73400
-197577.27907 22376278.68007 -130520.08548 22376274.58648 2737.09400
-141090.43607 22162777.14107 -94614.01748 22162773.80548 1953.15600
186021.83007 22251292.41407 115191.59448 22251290.64548 -2551.96900
-36498.62607 20360659.25807 -27952.95749 20360653.78549 517.89100
176223.04807 22027905.24207 109966.32448 22027900.50848 -2434.82800
04 7 14 5 13 0.0000000 0 6 3 11 14 15 19 22
205139.96207 21312838.14807 133559.23749 21312835.55149 -2323.53100
...

```

Gli standard GPS

Il formato RTCM

RTCM sta per Radio Technical Commission for Maritime Service, una organizzazione governativa degli stati Uniti, che ha creato una commissione speciale per definire appunto il formato dei dati e la struttura del messaggio GPS. Da qui il nome SC104 (Special Committee 104); RTCM quindi non è altro che il nome di un formato di dati: i dati consistono in una correzione della distanza misurata (pseudorange) dal ricevitore tra la sua posizione nota, e ciascun satellite che riesce a tracciare.

Esistono differenti versioni del formato RTCM: le versioni 2.1 e 2.2 contengono informazioni di codice e di fase del segnale, permettendo quindi l'esecuzione di rilievi in tempo reale anche con precisione centimetrica, tra ricevitori di marche differenti (una sorta di RINEX quindi, per il tempo reale).

Gli standard GPS

Il formato RTCM

☞ Che informazioni contiene?

Esempi di informazioni contenute nei messaggi:

- 1 correzione di pseudorange
- 2 correzione di range-rate
- 3 coordinate della stazione reference (X, Y, Z)
- 5 informazioni sui satelliti GPS (stato di salute)
- 17 effemeridi dei satelliti GPS
- 18-21 dati per applicazioni di tipo RTK
- 31-32 correzioni per satelliti GLN

PRECISIONE DELLE MISURE GPS

circa 1% della lunghezza d'onda

codice C/A **Errore 3 m**

codice P **Errore 0.3 m**

portanti L1, L2 - **Errore 2 mm.**

Errore 5-10m

Errore 10-100m

RITARDO DEL SEGNALE *Errore 2-10 m*

RITARDO DEL SEGNALE *Errore 20-50 m*

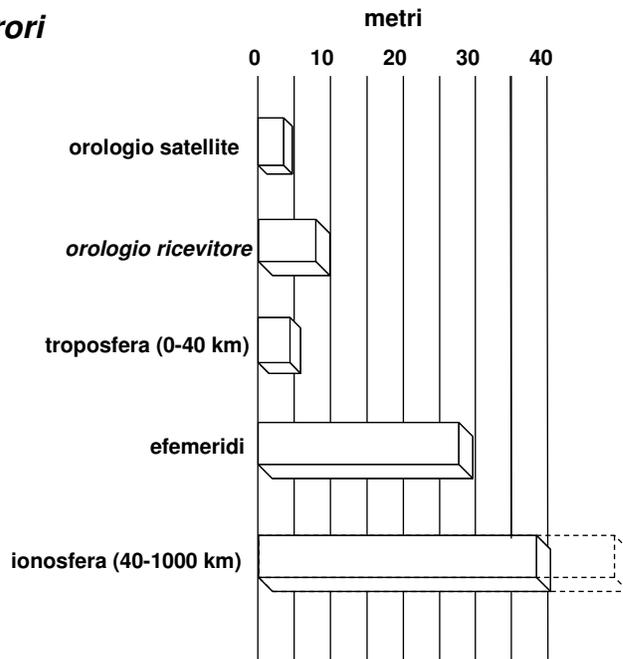
Dipende dalla frequenza del segnale

Errore 20-40m

Errore 3-5m

Errore 1-2 cm

errori



- www.gpsworld.com
- www.usgs.gov
- www.utexas.edu
- tycho.usno.navy.mil
- www.cnde.iastate.edu