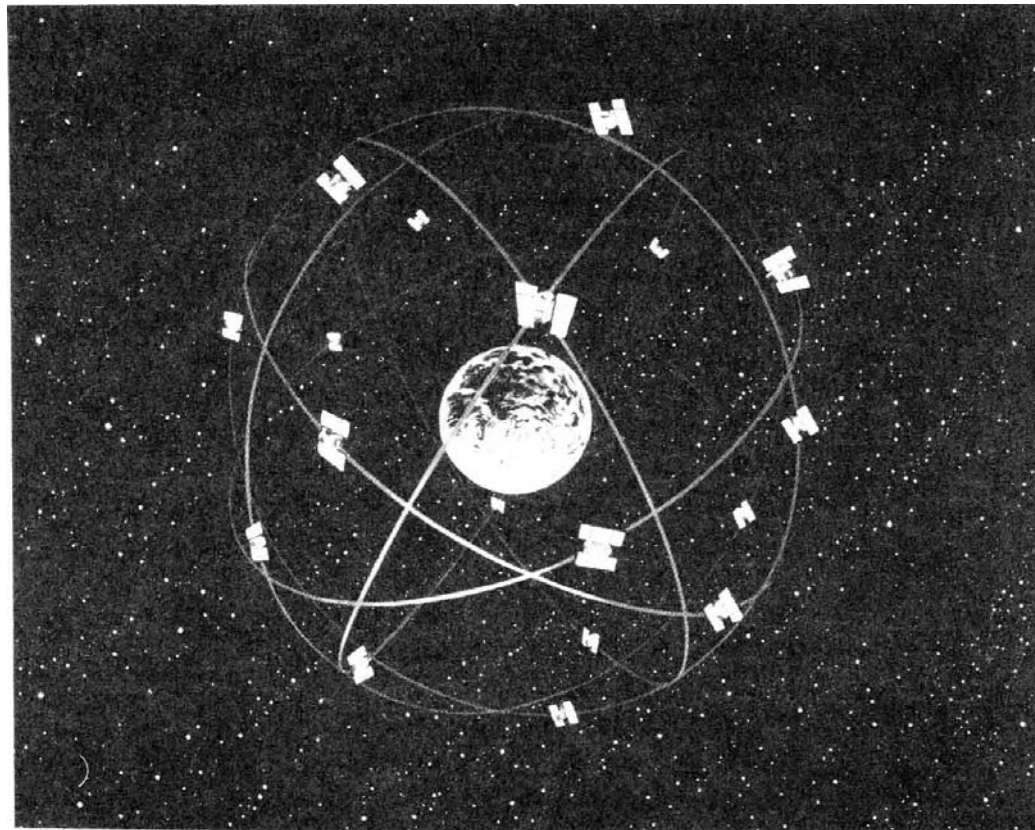


NAVSTAR GPS

(NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Position System)
gestito dal Dipartimento della Difesa (USA)



costellazione dei satelliti (space segment)

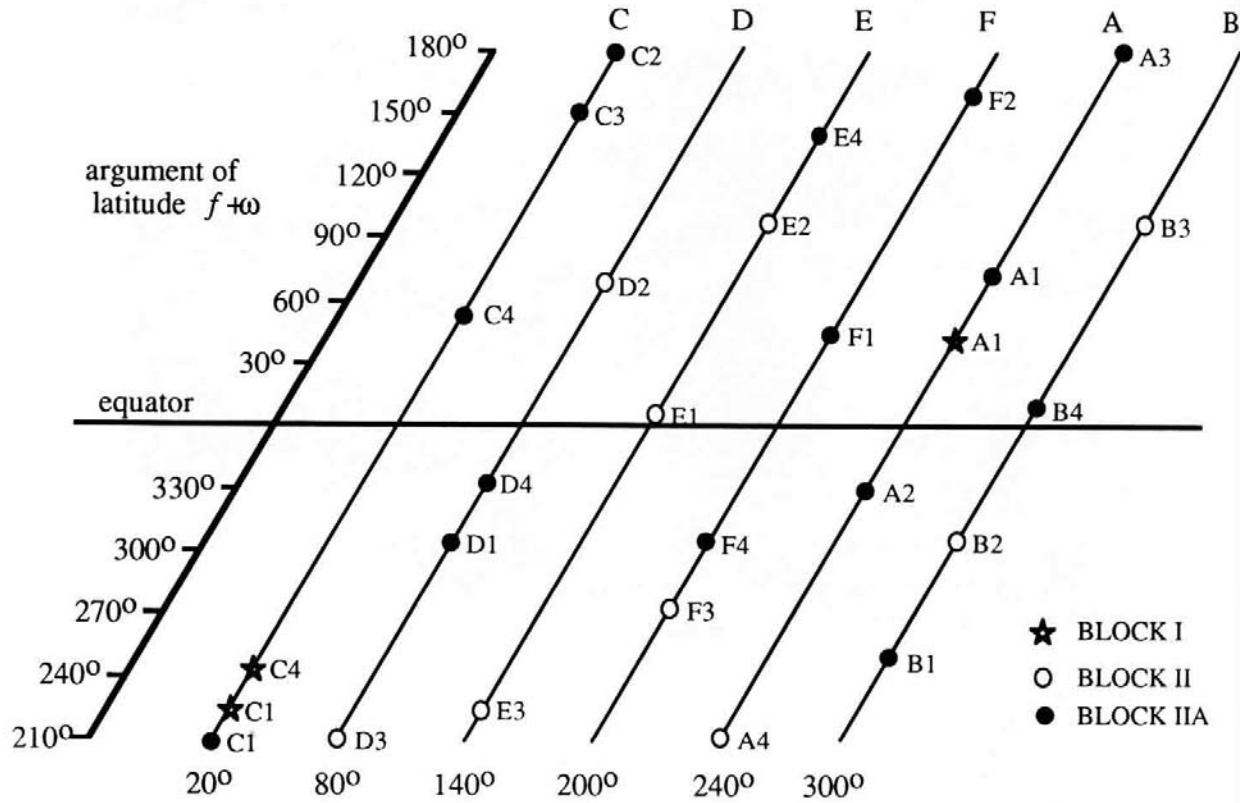
21 satelliti assicurano che da ogni punto della terra siano visibili almeno 4 satelliti; quasi ovunque e quasi sempre sono visibili 6÷8 satelliti.

Initial Operational Capability 8.12.1993

Full Operational Capability 17.7.1995

Le orbite dei satelliti GPS	
Altezza orbita dei satelliti	$h_s = 20\,200\text{ km}$
Raggio medio terrestre	$R_T = 6\,370\text{ km}$
Raggio dell'orbita	$R_s = 26\,570\text{ km}$
Lunghezza dell'orbita	$L_s = 166\,944\text{ km}$
Periodo di rivoluzione	$T_s = 12\text{ h} = 43200\text{ s}$
velocità tangenziale media	$v = 3864\text{ m/s} = 13912\text{ km/h}$
tempo medio di volo del segnale	$t = 0.067\text{ s}$
spostamento del satellite nel tempo di volo	$\Delta_s = 260\text{ m}$

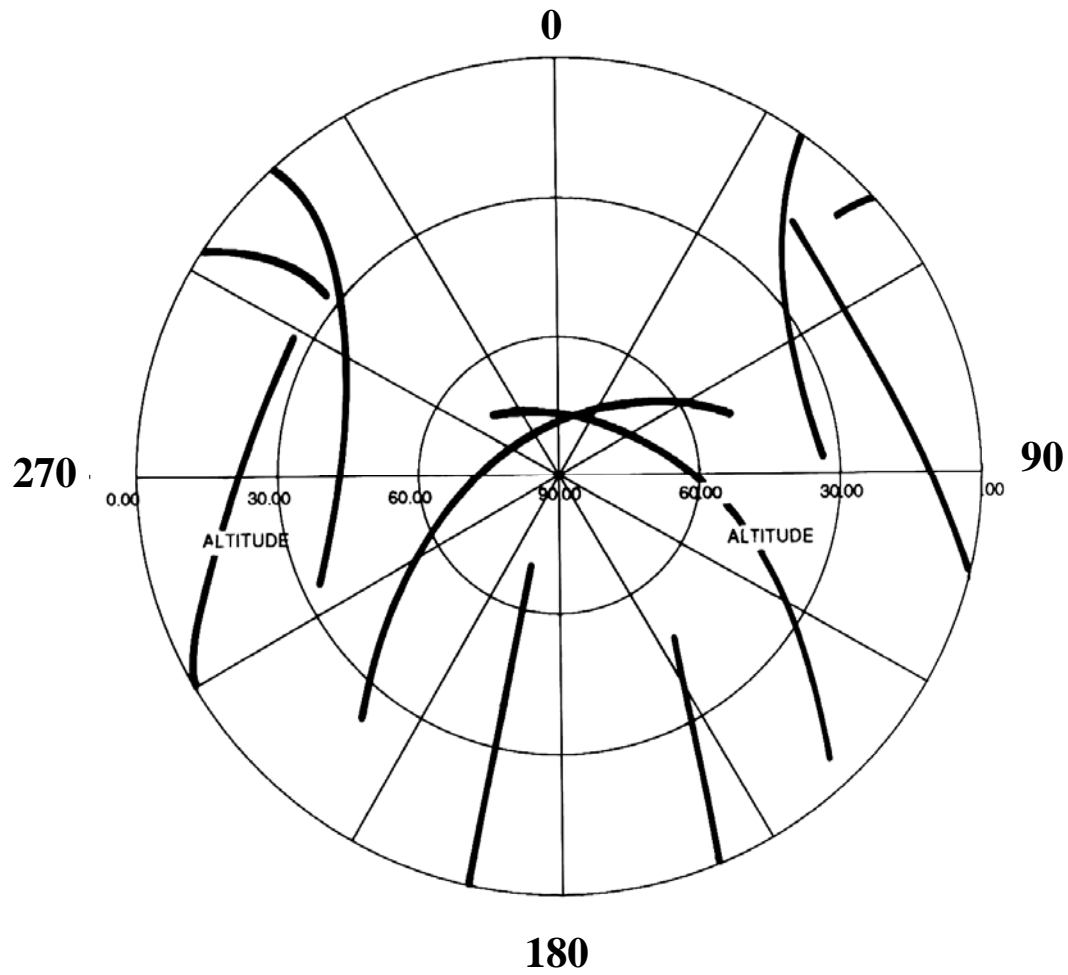
la costellazione satellitare GPS (1984)



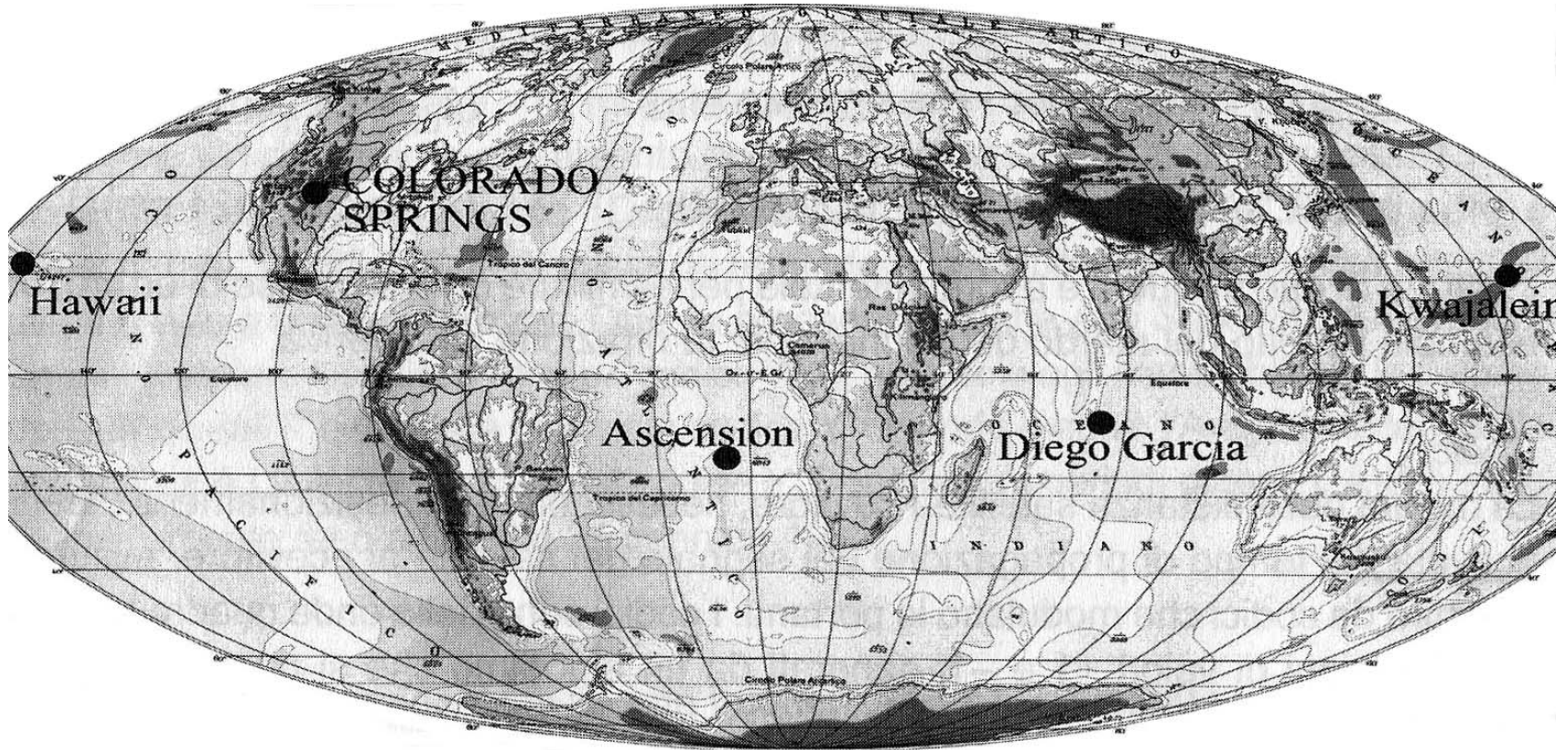
Satelliti attualmente in servizio

LAUNCH ORDER	PRN	SVN	LAUNCH DATE	FREQ STD	PLANE	US SPACE COMMAND**
II-2	02	13	10 JUN 89	Cs	B5	20061
II-5	17	17	11 DEC 89	Rb	D6	20361
II-9	15	15	01 OCT 90	Cs	D5	20830
IIA-11	24	24	04 JUL 91	Cs	D1	21552
IIA-12	25	25	23 FEB 92	Cs	A2	21890
IIA-14	26	26	07 JUL 92	Rb	F2	22014
IIA-15	27	27	09 SEP 92	Rb	A4	22108
IIA-16	01	32	22 NOV 92	Cs	F4	22231
IIA-17	29	29	18 DEC 92	Rb	F5	22275
IIA-19	31	31	30 MAR 93	Rb	C3	22581
IIA-20	07	37	13 MAY 93	Rb	C4	22657
IIA-21	09	39	26 JUN 93	Cs	A1	22700
IIA-22	05	35	30 AUG 93	Cs	B4	22779
IIA-23	04	34	26 OCT 93	Rb	D4	22877
IIA-24	06	36	10 MAR 94	Rb	C1	23027
IIA-25	03	33	28 MAR 96	Cs	C2	23833
IIA-26	10	40	16 JUL 96	Cs	E3	23953
IIA-27	30	30	12 SEP 96	Rb	B2	24320
IIA-28	08	38	06 NOV 97	Rb	A3	25030
IIR-2	13	43	23 JUL 97	Rb	F3	24876
IIR-3	11	46	07 OCT 99	Rb	D2	25933
IIR-4	20	51	11 MAY 00	Rb	E1	26360
IIR-5	28	44	16 JUL 00	Rb	B3	26407
IIR-6	14	41	10 NOV 00	Rb	F1	26605
IIR-7	18	54	30 JAN 01	Rb	E4	26690
IIR-8	16	56	29 JAN 03	Rb	B1	27663
IIR-9	21	45	31 MAR 03	Rb	D3	27704
IIR-10	22	47	21 DEC 03	Rb	E2	28129
IIR-11	19	59	20 MAR 04	Rb	C3	28190

carta della visibilità satellitare



strutture di controllo a terra (control segment)



Master Control Station : Schriever Colorado

Control Station : Hawaii, Kwajalein, Ascension Island,
Diego Garcia, Colorado Springs

strutture di controllo a terra, obiettivi:

- sincronizzazione degli orologi dei satelliti di bordo
- previsione a breve termine delle orbite dei satelliti (effemeridi predette)
- verifica delle orbite dei satelliti (effemeridi precise)
- eventuale correzione delle orbite dei satelliti

l'informazione sull'errore degli orologi di bordo e sulla stima delle orbite predette viene inserita nel segnale di navigazione diffuso dai satelliti

utenti (user segment)

civili (navigazione, topografia, ecc)

codice C/A (Coarse Acquisition) che permette una precisione di posizionamento di circa 100 m

militari e utenti autorizzati

codice P (Precision)

stazioni permanenti GPS in Italia



segnale trasmesso

frequenza fondamentale $f_0 = 10.23$ MHz

portanti: L1 $f_1 = 154 f_0 = 1575.42$ MHz ($\lambda = 19$ cm)

L2 $f_2 = 120 f_0 = 1227.60$ MHz ($\lambda = 24$ cm)

codice C/A (Coarse Acquisition)

codice P (Precision)

Messaggio Navigazionale (D)

	C / A	P	D
velocità di trasmissione	1.023 Mbps	10.23 Mbps	50 bps
lunghezza del chip	293 m	29.3 m	5950 km
ripetizione	1 ms	1 settimana	—
tipo di codice	gold	pseudo-random	—
portante	L1	L1 e L2	L1 e L2

segnale trasmesso da ogni satellite

$$S_1(t) = (D(t) \cdot C(t)) \otimes A_I \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1) + (D(t) \cdot P(t)) \otimes A_Q \sin(2\pi f_1 t + \varphi_1)$$

$$S_2(t) = (D(t) \cdot P(t)) \otimes A \sin(2\pi f_2 t + \varphi_2)$$

S_1 segnale trasmesso sulla portante L1

S_2 segnale trasmesso sulla portante L2

D Messaggio Navigazionale

C codice C/A

P codice P

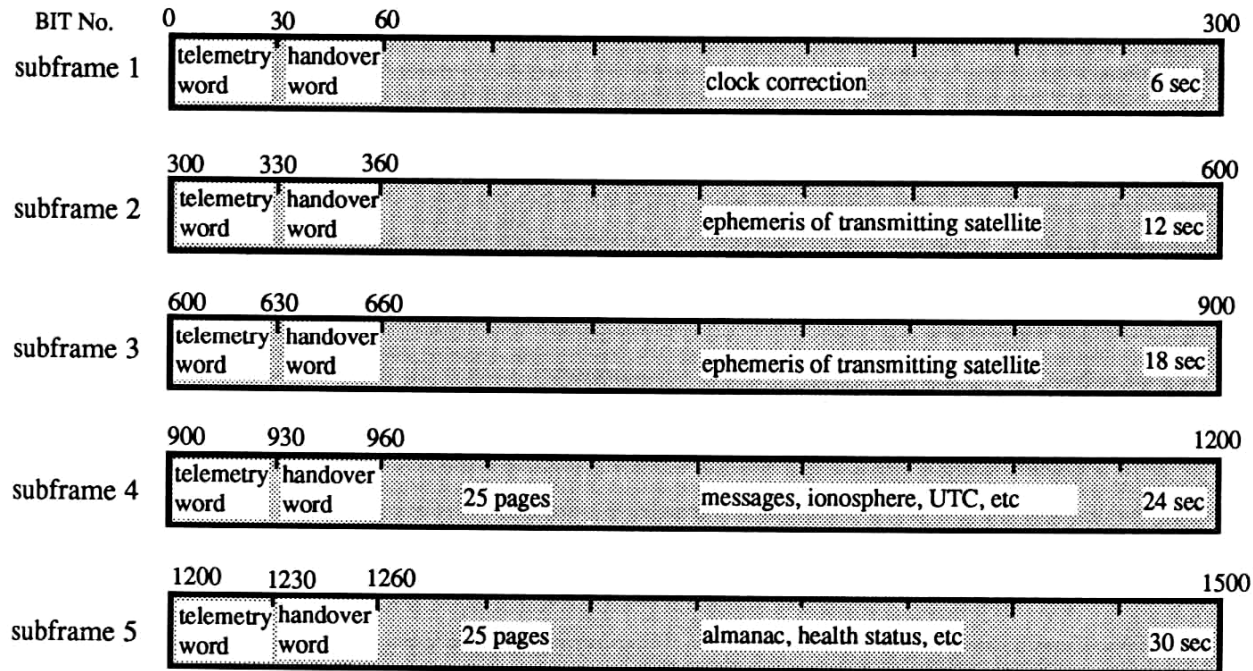
\otimes simbolo di modulazione binaria di fase (BPSK)

A_I ampiezza della componente in fase

A_Q ampiezza della componente in quadratura

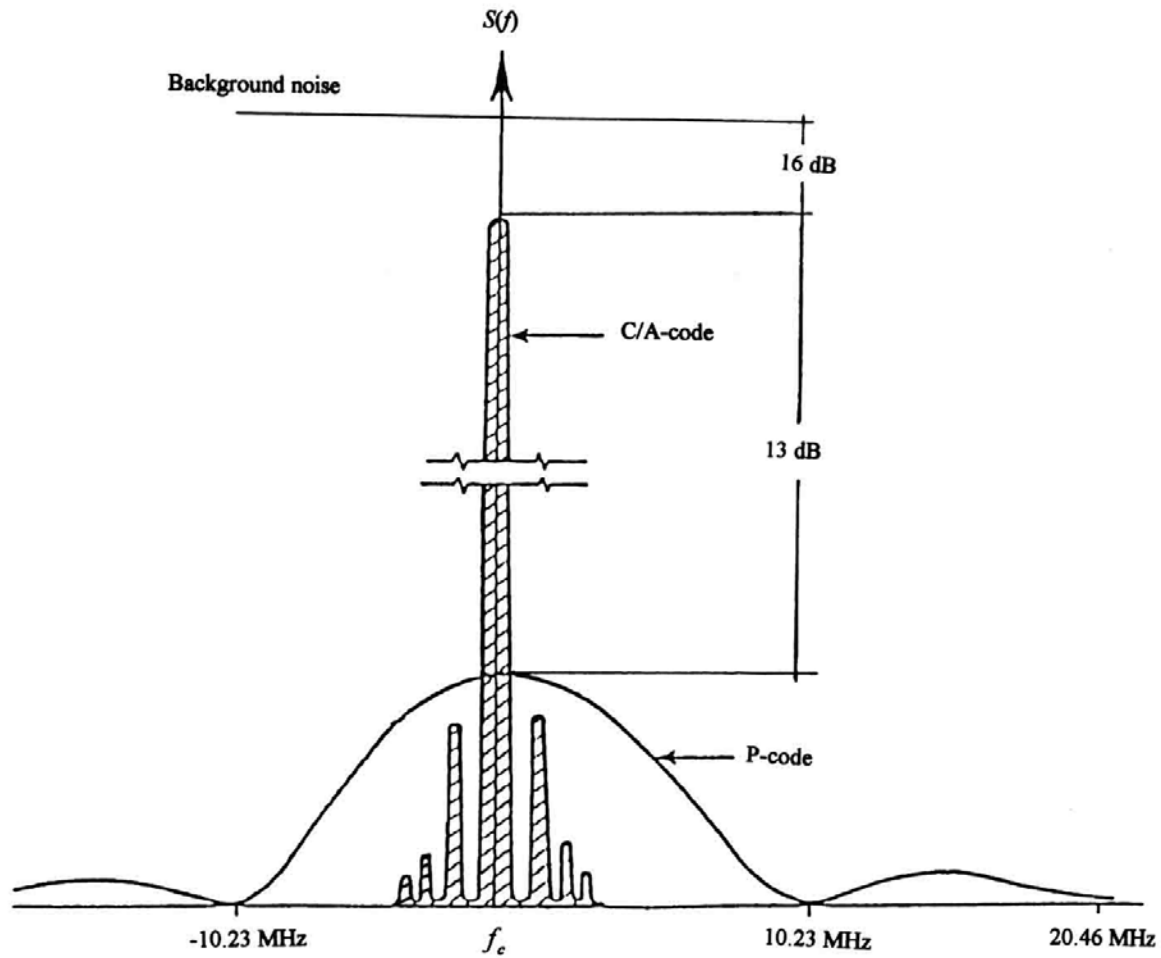
A ampiezza

Struttura del messaggio di navigazione



Il messaggio completo è costituito da 25 frames, ciascuno contenente 1500 bits, dura 12.5 minuti

densità spettrale di potenza del messaggio GPS



segnale ricevuto dalla stazione d'utente sulla portante L1

$$S_1(t) = \sum_{i=1}^n F_i (D_i(t - \Delta t_i) \cdot C_i(t - \Delta t_i)) \otimes A_{li} \cos(2\pi(f_1 + \Delta f_{li})(t - \Delta t_i) + \varphi_{li}) + \\ \sum_{i=1}^n F_i (D_i(t - \Delta t_i) \cdot P_i(t - \Delta t_i)) \otimes A_{Qi} \sin(2\pi(f_1 + \Delta f_{li})(t - \Delta t_i) + \varphi_{li}) + \text{rumore}$$

- n numero di satelliti visibili all'istante t
- $F_i, \Delta t_i$ attenuazione e ritardo dovuti alla propagazione dalla posizione del satellite i -esimo alla posizione della stazione ricevente
- Δf_{li} spostamento di frequenza per effetto Doppler dovuto alla velocità radiale del satellite i -esimo rispetto alla stazione ricevente

definizione della posizione utilizzando il codice C/A

$$\frac{1}{\tau} \int_{t_0}^{t_0+\tau} C_i(t+\Delta t) C_j(t) dt \approx \begin{cases} 1 - |\Delta t|/T & \text{se } i = j \text{ e } |\Delta t| < T \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$\frac{1}{\tau} \int_{t_0}^{t_0+\tau} C_i(t+\Delta t) P_j(t) dt \approx 0$$

$$\frac{1}{\tau} \int_{t_0}^{t_0+\tau} C_i(t+\Delta t) N(t) dt \approx 0$$

correlazione tra
codici Gold

correlazione tra codici
Gold e pseudorandom

correlazione tra codici
Gold e rumore

$$\frac{1}{\tau} \int_{t_0}^{t_0+\tau} S_{ric}(t) \{ C_p(t+\Delta t) \} dt \rightarrow \{ \Delta t_i \}$$

insieme di codici C/A generati
localmente dalla stazione GPS

insieme dei tempi di ritardo
per i quali si ha la massima
correlazione

pseudorange

$$p_i = c \Delta t_i = r_i + (\delta t - \delta t_i) c + I_i + T_i$$

$$r_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2} \quad \text{distanza del satellite i-esimo}$$

p_i distanza stimata (pseudorange) del satellite i-esimo

Δt_i tempo di ritardo misurato dal segnale del satellite i-esimo

$\{ x, y, z \}$ posizione della stazione ricevente (coordinate cartesiane)

$\{ x_i, y_i, z_i \}$ posizione del satellite i-esimo

δt errore dell'orologio della stazione ricevente

δt_i errore dell'orologio di bordo del satellite i-esimo

I_i, T_i equivalenti in distanza dei ritardi dovuti all'attraversamento della ionosfera e della troposfera da parte del segnale del satellite i-esimo

soluzione navigazionale

$$p_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} + (\delta t - \delta t_i) c + \cancel{I_i} + \cancel{T_i}$$

I_i, T_i vengono trascurati

δt_i viene assunto uguale alla stima contenuta nel messaggio navigazionale

δt non noto, indipendente dal satellite e dipendente solo dalle epoche

$$n_{eq} = n_{ep} n_{sat}$$

$$n_{in} = 3 + n_{ep}$$

$$n_{eq} \geq n_{in} \Rightarrow n_{ep} \geq \frac{3}{n_{sat} - 1}$$

definizione della posizione utilizzando la fase della portante

$$\frac{r_i}{\lambda} = N_i + \frac{\Delta\varphi_i}{2\pi} - \frac{c}{\lambda} (\delta t - \delta t_i) - \frac{I_i + T_i}{\lambda}$$

$\Delta\varphi_i$ differenza di fase misurata tra il segnale del satellite i-esimo e la portante generata localmente

N_i ambiguità iniziale = numero intero di lunghezze d'onda contenute in r_i

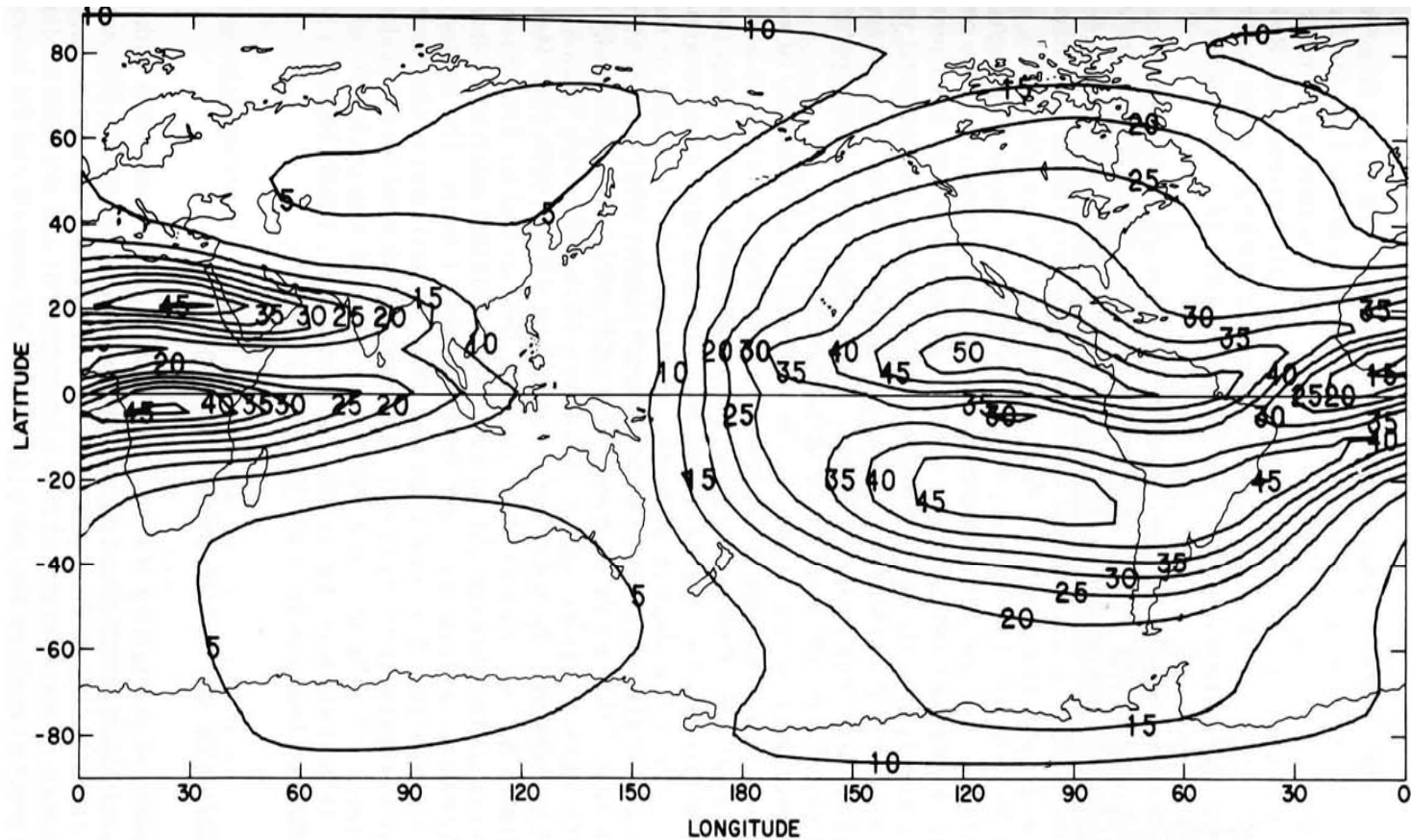
$$n_{eq} = n_{ep} n_{sat}$$

$$n_{in} = 3 + n_{ep} + n_{sat}$$

$$n_{eq} \geq n_{in} \Rightarrow n_{ep} \geq \frac{3 + n_{sat}}{n_{sat} - 1}$$

N_i è relativo alla prima epoca, le variazioni dell'ambiguità della distanza nelle epoche successive sono incluse in $\Delta\varphi_i$, per questo è necessario che la stazione GPS mantenga stabile il riferimento di fase per la durata di tutte le epoche necessarie alla misura.

errori sulla misura della distanza satellite-ricevitore	
errori di orologio <ul style="list-style-type: none"> • satellite • ricevitore 	<p style="text-align: center;">5 ÷ 10 m</p> <p style="text-align: center;">10 ÷ 100 m</p>
errori d'orbita <ul style="list-style-type: none"> • effemeridi trasmesse • effemeridi precise 	<p style="text-align: center;">20 ÷ 40 m</p> <p style="text-align: center;">3 ÷ 5 m</p>
errori di rifrazione <ul style="list-style-type: none"> • ionosferica • troposferica 	<p style="text-align: center;">20 ÷ 50 m</p> <p style="text-align: center;">2 ÷ 10 m</p>



distribuzione dell'equivalente in distanza [m] del tempo di ritardo di propagazione ionosferica in un periodo prossimo alla massima attività solare

dipendenza dei ritardi dovuti alla troposfera dall'angolo di elevazione

