

NAVSTAR GPS

**(NAVigation Satellite Timing And Ranging
Global Positioning System)**

**SISTEMA SATELLITARE GLOBALE DI NAVIGAZIONE,
TEMPORIZZAZIONE, MISURA DI DISTANZE E POSIZIONAMENTO**

ANDREA MONALDINI

SOMMARIO

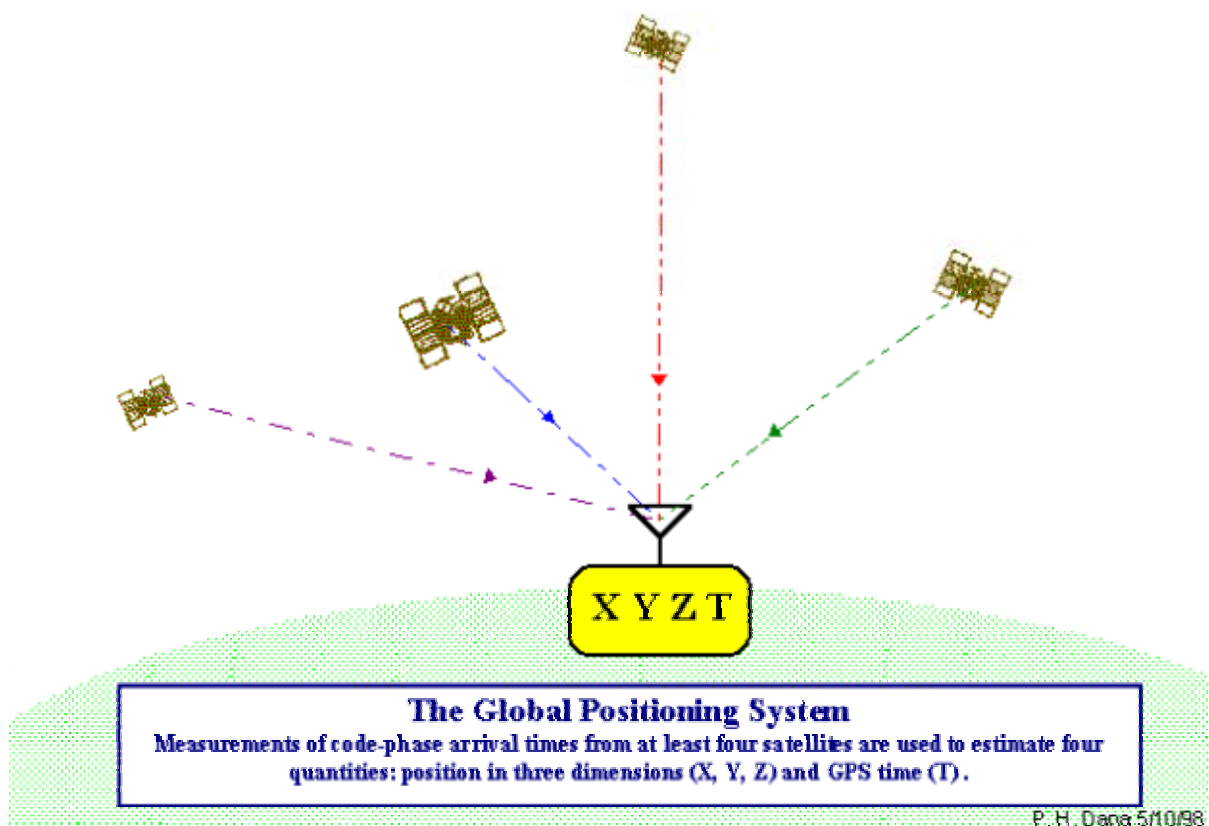
Una breve introduzione.....	3
Segmenti principali.....	4
Il funzionamento.....	7
Posizionamento.....	8
I tipi di posizionamento.....	8
Posizionamento Navigazionale.....	9
Posizionamento con le fasi.....	10
I segnali per il posizionamento.....	11
Il tempo nel GPS.....	12
Gli errori nel GPS.....	13
DGPS (GPS differenziale).....	14
Il sistema GLONASS.....	16
ALLEGATO 1.....	17
ALLEGATO 2.....	18
ALLEGATO 3.....	20
ALLEGATO 4.....	21
ALLEGATO 5.....	22
ALLEGATO 6.....	23
ALLEGATO 7.....	24

Una breve introduzione...

Già dalla fine degli anni '50, con il lancio dello Sputnik (1957), ci si è accorti che impiegando un segnale inviato da un satellite in un orbita ben definita si può individuare la posizione di un ricevitore sulla Terra. Negli anni '70 l'America realizzò il sistema Transit (Transit Satellite Positioning System) che utilizzava lo spostamento doppler, questo era però molto lento (per una rilevazione erano necessari 100 minuti) e le apparecchiature molto costose, infine la precisione del sistema, spinta al massimo, non poteva scendere sotto al metro.

La misurazione dello spostamento doppler venne sostituita dall'idea di misurare la distanza e proprio a causa delle necessità del Dipartimento della Difesa USA cominciò a nascere il progetto GPS.

Il sistema è basato sulla trasmissione di segnali da satelliti gestiti dal Dipartimento della Difesa USA. L'invio di segnali a terra da parte di questi satelliti permette, con determinate condizioni, di conoscere la propria posizione fino ad una precisione centimetrica o sub-centimetrica.



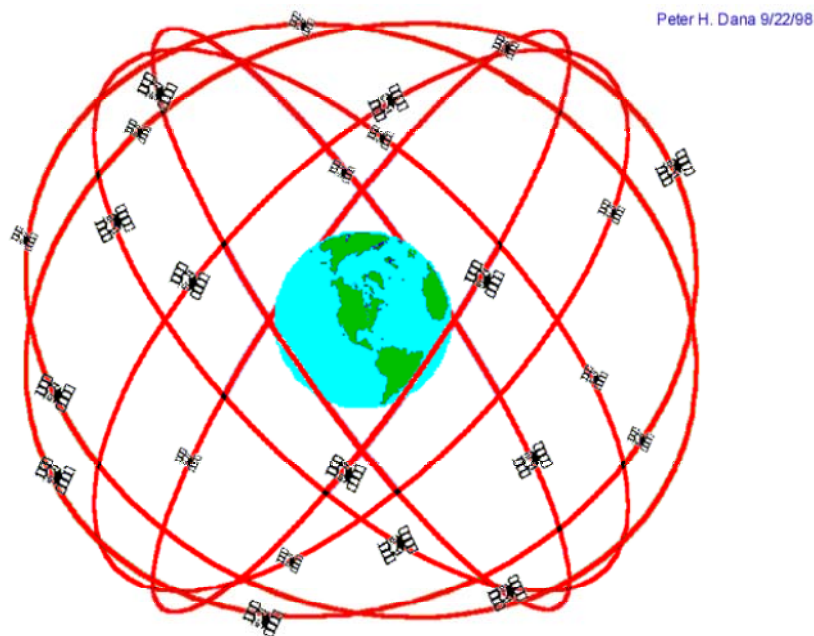
Il sistema si divide in tre segmenti principali

- Spaziale
- Controllo
- Utente

Il **segmento spaziale** è composto da 28 satelliti (il progetto ne prevede 24) disposti in sei piani orbitali paralleli ad un'altezza di 20200 km inclinati di 55° rispetto all'equatore e 60° tra loro che compiono un'intera rivoluzione in 11 ore e 58 minuti percorrendo 166944 km alla velocità di 13912 km/h.

- Tabella Riassuntiva

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	$\Delta s = tv = 260 \text{ m}$

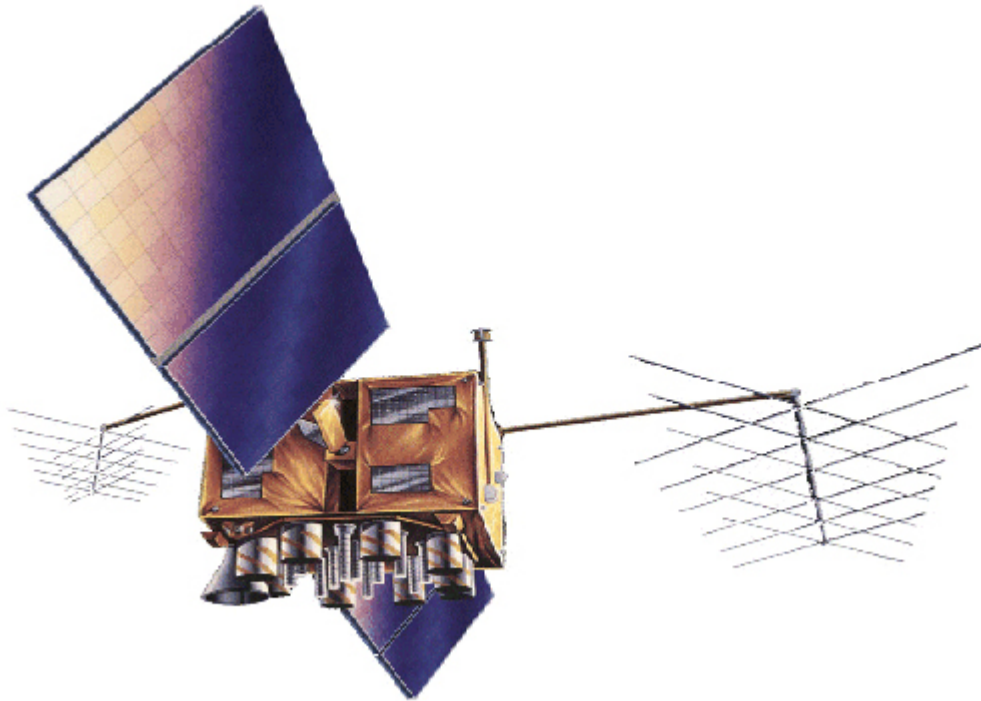


GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

I satelliti che hanno caratterizzato questo progetto sono suddivisibili in blocchi secondo il periodo di lancio:

- **BLOCCO I:** questi satelliti sono stati progettati e sviluppati dalla Rockwell International dal 1975 al 1985. Sono stati lanciati dalla base di Vandenberg in California con razzi vettore ATLAS E/F, sono caratterizzati da un SVN (Satellite Vehicle Number) dall'1 all'11, avevano un'inclinazione rispetto all'equatore di 63° e svolgevano anch'essi un'orbita in un periodo di 24 ore. A bordo essi avevano un orologio atomico al Cesio e due al Rubio. La vita utile dei satelliti di questo blocco era prevista di 5 anni ma molti sono andati oltre le previsioni. È importante dire che i satelliti del blocco I servivano solo per mandare a regime il sistema, non erano definitivi; il compito della completa operatività era assegnata ai satelliti dei blocchi II, IIA, IIR.
- **BLOCCO II:** le caratteristiche orbitali sono uguali a quelle dei satelliti del blocco precedente ma con un'inclinazione rispetto al piano equatoriale di 60° anziché 63° . I loro SVN vanno dal 13 al 21, sono stati lanciati dal febbraio 1989 all'ottobre 1990 per mezzo di razzi Delta II MLV da Cape Canaveral in Florida. I satelliti, sempre della Rockwell International, hanno a bordo quattro orologi atomici, due al cesio e due al rubio, per una maggiore accuratezza della temporizzazione, inoltre grazie alla loro nuova struttura sarebbero utilizzabili per un periodo di 14 giorni senza contatto con le Stazioni di Controllo. La vita utile di questi satelliti era di poco più di sette anni e anche questi hanno superato le aspettative.
- **BLOCCO IIA (A = Advanced):** sono dotati di caratteristiche uguali ai precedenti, sempre di sviluppo Rockwell. I SVN di questi satelliti lanciati dal novembre 1990 vanno dal 22 al 40, sono capaci di un'autonomia di 180 giorni senza contatto con le Stazioni di Controllo anche se, a differenza dei satelliti del blocco successivo, durante questo periodo il segnale si degraderebbe progressivamente (evidenziando però il degrado nel messaggio NAV).
- **BLOCCO IIR (Replacement):** sono stati sviluppati dalla Lockheed Martin per portare il GPS nel nuovo millennio, sostituendo progressivamente quelli dei blocchi II e IIA. Sono in grado di mantenere inalterato il segnale per più di 180 giorni senza contatto con la Terra grazie al sistema AUTONAV che permette la comunicazione tra i vari satelliti di questo blocco. I SVN vanno dal 41 al 62, a bordo ognuno di essi ha tre orologi atomici al rubio e la vita media stimata è di poco inferiore a 8 anni. I lanci sono iniziati nel gennaio del 1997.
- **BLOCCO IIF (Follow on):** sono satelliti in via di sviluppo che saranno lanciati nei prossimi anni.

La figura seguente mostra un satellite del blocco IIR



I satelliti devono subire manutenzione, che li rende inutilizzabili per 18 ore in caso di intervento sugli orologi (almeno due volte l'anno) e per 12 ore per una correzione dell'orbita (in genere una volta l'anno).

Il **segmento di controllo** consiste in stazioni di monitoraggio, antenne di terra e nella stazione di controllo principale (MCS).

Peter H. Dana 5/27/95



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

- Le cinque stazioni di monitoraggio (Hawaii, Colorado Springs, Diego Garcia, Kwajalein, Ascension Island) tracciano l'orbita di ogni satellite avvistato e passano i dati alla MCS che li processa.

- La stazione di controllo principale (Colorado Springs) elabora i dati ricevuti dalle stazioni di monitoraggio per effettuare eventuali correzioni alle orbite dei satelliti o ai loro orologi e per aggiornare il messaggio NAV di ogni velivolo.
- Ovviamente le antenne (Diego Garcia, Kwajalein, Ascension Island) servono per trasmettere i dati elaborati dalla MCS.

Il **segmento utente** è formato da un ricevitore satellitare (talvolta talmente piccolo da essere contenuto in un orologio da polso) che ci può dare informazioni sull'altezza dal suolo, sulla velocità alla quale si sta muovendo e sulla latitudine/longitudine della sua posizione, nonché dell'orario esatto.

Il funzionamento del GPS

Il GPS basa il suo funzionamento sulla misura della distanza tra il ricevitore e il satellite, misurazione che può avvenire attraverso l'analisi della fase della portante (misurazione che permette precisioni subcentimetriche) oppure attraverso l'utilizzo dei codici C/A e P preposti a questo uso.

La distanza misurata dal ricevitore non è però quella esatta, è invece affetta da tre errori principali (e per questo si chiama pseudo-distanza):

- L'errore dell'orologio del ricevitore rispetto al tempo GPS
- L'errore dell'orologio del satellite rispetto al tempo GPS
- L'errore di misurazione della distanza a causa dei ritardi atmosferici (troposfera, ionosfera)

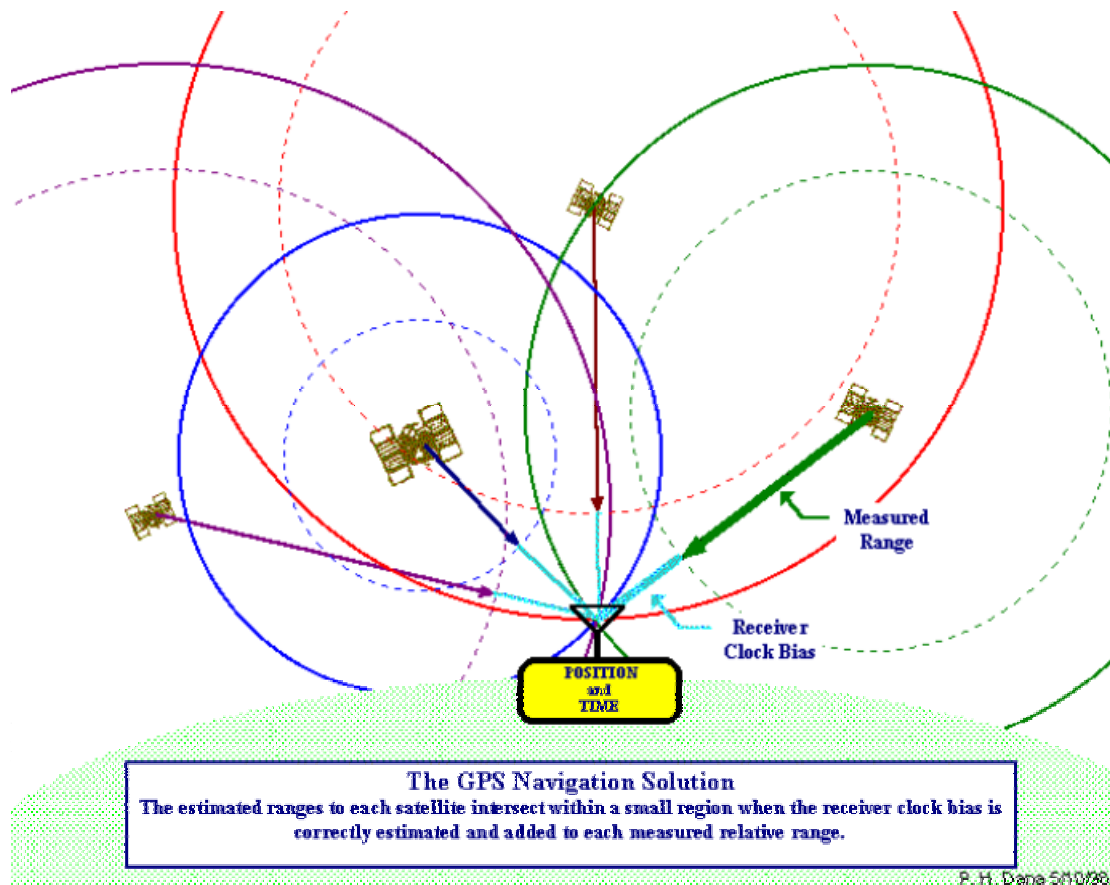
L'errore degli orologi a bordo dei satelliti rispetto al tempo GPS ci viene inviato nel messaggio NAV e quindi non è un'incognita, lo stesso si può dire degli errori atmosferici, che sono ridotti da modelli all'interno dei ricevitori rappresentanti i tipici valori di ritardo nelle varie zone della terra. I ricevitori militari basano la rilevazione dei ritardi atmosferici sull'analisi della portante L2 per avere un minor grado di incertezza.

È interessante vedere che è proprio a causa dell'errore dell'orologio del ricevitore che sono necessari quattro satelliti per la corretta rilevazione della posizione. Infatti, la misura delle pseudo-distanze da un satellite ci indica la nostra posizione su di una sfera; l'intersezione di tre sfere indicherebbe la nostra posizione con l'incertezza di due punti, dei quali però uno è da scartare perché o si trova all'interno della terra oppure nello spazio che si muove ad elevatissima velocità; sarebbero necessari quindi solo tre satelliti.

L'equazione seguente mostra la relazione tra la pseudo-distanza (cioè la distanza misurata dal ricevitore, $x_s - x_r$) e la vera distanza d tra ricevitore e satellite, nella quale si tiene conto degli errori sopracitati.

$$d = (x_s - x_r) + (\delta t_s + \delta t_r)c + R_{atm}$$

Come si può vedere oltre alle incognite x, y, z risolte da tre satelliti, rimane incognito δt_r , che verrà calcolato in base all'osservazione di un quarto satellite che correggerà la posizione individuata dai tre satelliti precedenti



Posizionamento

Esistono due tipi di posizionamento, che si differenziano per la precisione e di conseguenza per gli impieghi possibili:

- SPS
- PPS

Inoltre si possono distinguere altri due tipi di posizionamento, a seconda se ci si basi sui PRN oppure sulle fasi delle portanti:

- Posizionamento navigazionale (con i codici)
- Posizionamento con le fasi
-

I tipi di posizionamento

SPS, più impreciso

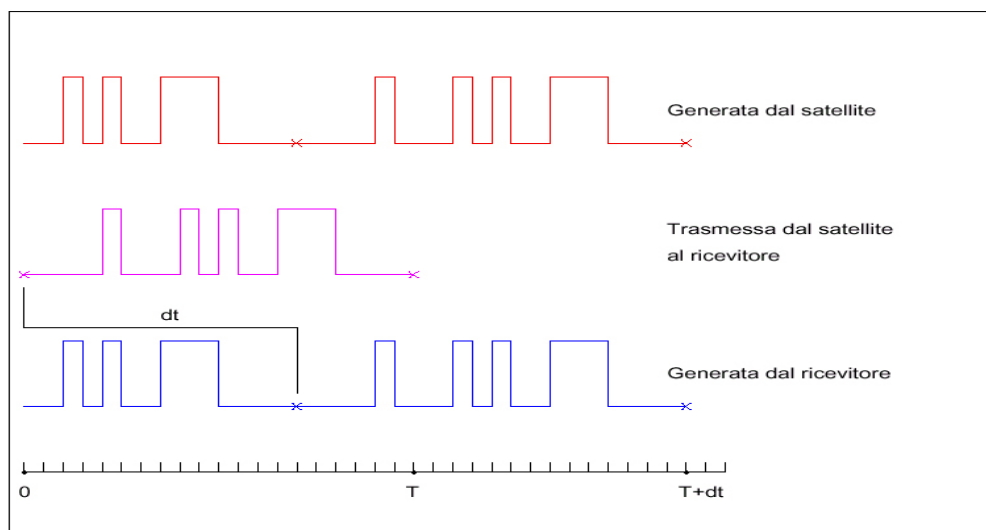
PPS, più preciso

- L'**SPS** (Standard Positioning System) è il segnale GPS generato per scopi civili, libero e gratuito; esso è trasmesso dalla frequenza L1 che contiene il codice C/A che permette, senza l'utilizzo di altre elaborazioni del segnale, una precisione di circa 30 metri in orizzontale. Questo segnale è stato disturbato appositamente dal Dipartimento della Difesa USA, fino al 2 maggio del 2000, per evitare l'impiego del suddetto segnale per scopi bellici ma la nascita di nuove tecniche per il miglioramento della precisione (GPS differenziale) hanno reso inutile questo disturbo.
- Il **PPS** (Precision Positioning System) è il segnale impiegato per scopi militari e utilizza una combinazione dei segnali che modulano la portante L1 ed L2, in particolare si basa sul codice P. Gli errori che scaturiscono dall'utilizzo del codice P sono subcentimetrici e 200 nanosecondi di massima discrepanza tra l'orario GPS e quello dell' UTC.

Posizionamento Navigazionale (con i codici)

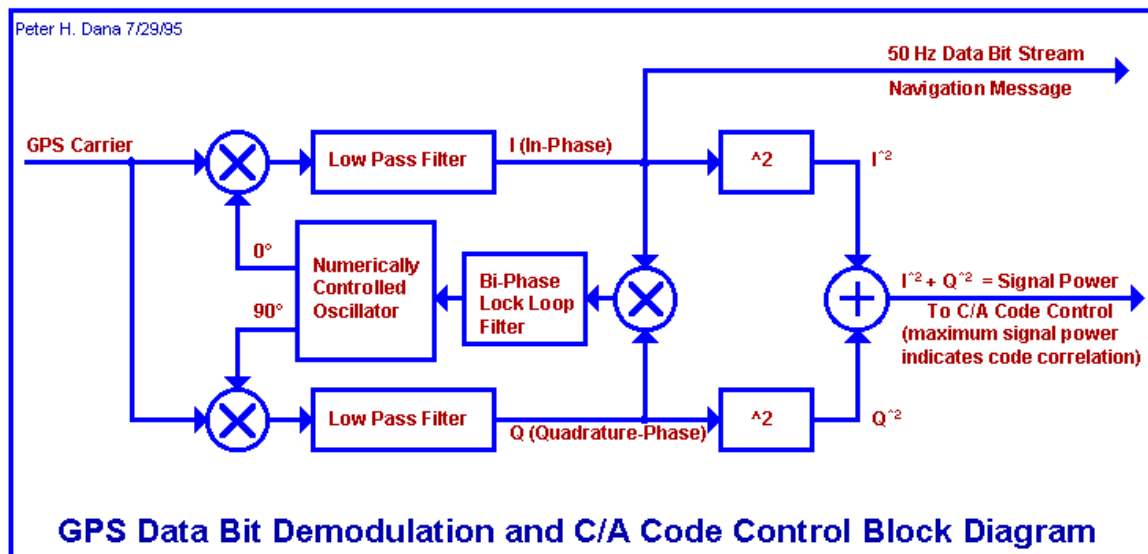
Il ricevitore, grazie all'almanacco e alle effemeridi, sa quali satelliti cercare per il posizionamento. Per ricercare questi satelliti il ricevitore (che ha al suo interno memorizzate i PRN di ogni satellite) sovrappone ai dati in uscita al demodulatore il PRN del satellite cercato per mezzo di uno shift register. Nel momento in cui i PRN si sovrappongono un circuito dedicato ne rileva la somiglianza e inizia così la decodifica del segnale NAV e la prima acquisizione dei ritardi di propagazione dovuti alla distanza dai satelliti.

Questa prima acquisizione avviene sincronizzando l'orologio del ricevitore con quello del satellite e producendo, nello stesso istante, il codice C/A (o il codice P). Quando il ricevitore riceve il codice, lo shifta fino a sovrapporlo a quello prodotto da se stesso, ottenendo una relazione tra quanto l'ampiezza dello shift e il tempo impiegato dal segnale per giungere a terra.



Le successive acquisizioni non saranno come la precedente, infatti il ricevitore si aggancerà al codice ricevuto e stimerà solamente quanto deve ritardare o anticipare la generazione del codice per mantenersi agganciato

La demodulazione avviene tramite un circuito demodulatore PSK il cui schema a blocchi è il seguente:



Si noti che il circuito rappresentato dallo schema a blocchi di figura oltre a demodulare il segnale NAV permette di avere un altro segnale che rivela la corretta sovrapposizione dei codici PRN di ricevitore e SV.

Dopo l'acquisizione dei ritardi nell'invio dei segnali di quattro satelliti, il ricevitore è in grado di calcolare le distanze reali rispettive dai satelliti e di conseguenza la propria posizione in latitudine, longitudine, altitudine, tempo nonché la velocità.

Per il calcolo della velocità il ricevitore può utilizzare due diversi metodi:

1. Rilevare ad intervalli di tempo precisi la propria posizione e calcolare la velocità con la formula $v = s/t$
2. Analizzare i dati forniti all'oscillatore del demodulatore (sintetizzatore) dal PLL; questi mostreranno una variazione a causa del moto del ricevitore e del satellite (effetto doppler). Conoscendo le caratteristiche orbitali del satellite preso in esame è semplice estrarre la variazione di frequenza dovuta unicamente al moto del ricevitore e quindi risalire alla sua velocità.

Posizionamento con le fasi

Esiste anche un posizionamento, basato sulle fasi delle portanti anziché sui codici C/A e P, che permette precisioni notevolmente superiori (millimetriche) ma necessita di apparecchiature molto complesse e inoltre dallo studio matematico dei segnali viene messo in luce l'impossibilità di arrivare al posizionamento corretto in tempo reale, cioè con i dati relativi ad un solo rilevamento di 4 o più satelliti, come avveniva invece per il posizionamento navigazionale.

Il posizionamento avviene sempre misurando le pseudodistanze, che vengono però calcolate tenendo conto della lunghezza d'onda della portante e della fase residua rilevata dal ricevitore. Il tempo relativo alla fase residua viene sommato al tempo impiegato dalla portante per compiere N

numeri di cicli completi nel tragitto satellite-ricevitore, pervenendo così alla pseudodistanza finale, più precisa ma comunque affetta dagli errori caratteristici del sistema.

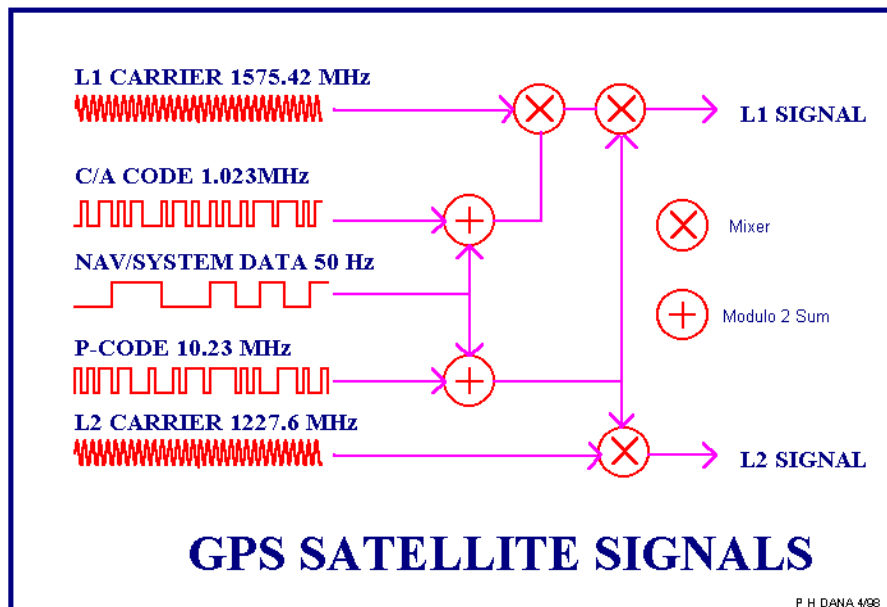
I segnali per il posizionamento

I satelliti inviano segnali a terra utilizzando onde elettromagnetiche della banda UHF (300 Mhz – 3 Ghz) e più precisamente su due portanti di frequenze diverse:

L1 → 1575,42 Mhz (lunghezza d'onda 0.19 m) - utilizzata per trasportare i codici C/A, P, NAV

L2 → 1227,6 Mhz. (lunghezza d'onda 0.24 m) - utilizzata per trasportare il codice P e per eliminare gli offset ionosferici

Queste portanti (ricavate da una frequenza fondamentale prodotta dagli orologi atomici di 10,23 Mhz) vengono modulate in BPSK (Binary Phase Shift Keying).



Il **codice C/A** (Coarse Acquisition) è un rumore pseudo-casuale caratterizzato da una frequenza di 1,023 Mhz (cioè un tempo di bit di 1 microsecondo) ed è lungo 1023 bit (e quindi si ripete ogni millisecondo) (ogni satellite ha un diverso PRN Pseudo-Random Noise) che viene impiegato per l'individuazione della distanza tra il ricevitore e un particolare satellite. -APPROFONDIMENTO ALLEGATO 1-

Questo codice viene a sua volta modulato dal messaggio di navigazione **NAV** (50 hz) che porta al ricevitore e alle stazioni di controllo informazioni sullo stato del satellite, sull'orbita e sul funzionamento degli orologi. -APPROFONDIMENTO ALLEGATO 2-

Il **codice P** modula sia la portante L1 che L2, ha una frequenza di 10,23 Mhz ed è notevolmente lungo. E' utilizzato per eliminare, nell'utilizzo PPS, gli errori dovuti ai ritardi introdotti dalla ionosfera. -APPROFONDIMENTO ALLEGATO 7-

Il tempo nel GPS

Il segnale di tempo dell'intero sistema è il risultato dell'unione di tre tempi fondamentali:

- Space Vehicle Time
- GPS Time
- UTC (tempo universale coordinato)

Lo **space vehicle time** è il tempo che viene generato dagli orologi atomici a bordo dei satelliti GPS. Esso è monitorizzato dalle stazioni di controllo e viene mantenuto con un errore massimo rispetto all'UTC di 1 millisecondo.

Il **tempo del GPS** è quello della MCS di Colorado Springs. Questa stazione implementa nel segnale NAV di ogni satellite quanto lo SVT si differenzia da questa ora. Questo tempo, presente nel primo subframe di ogni frame del messaggio NAV serve alla corretta rilevazione del tempo di volo del segnale da parte del ricevitore, che deve essere interamente basato sul tempo GPS in modo da essere sufficientemente preciso.

SV 8: SUBFRAME 1

WORD	BITS	#1-8	#9-16	#17-24	#25-30
1	1-30	10001011	11000000	00111111	101000
2	31-60	00110101	10110001	10000100	110000
3	61-90	00111010	01010011	00000000	011000
4	91-120	01011000	01001101	11111100	010101
5	121-150	11011010	10110101	10100010	000101
6	151-180	00001111	10001111	01101010	010100
7	181-210	00111010	00111000	11111101	001001
8	211-240	00101001	00101001	01001111	010100
9	241-270	00000000	00000001	10110000	011101
10	271-300	01010010	10100111	01110000	001100↑

PREAMBLE: 10001011

TIME OF WEEK: 00110101 10110001 1 = 27491 subframes = 164946 seconds = 1 day, 21 hours 49 minutes, 06 seconds = SV time at end of bit 300 (↑)

t_{oc}: 00101001 01001111 = 169200

af₂: 00000000 = 0.0

af₁: 00000001 10110000 = 4.91127138959 E-11

af₀: 01010010 10100111 011100 = 6.30600377918E-04

(Δt_r = relativistic correction)

ΔT_{sv} = af₀ + af₁ (t-toc) + af₂(t-toc)² + Δt_r = 630.392 microseconds + Δt_r

Peter H. Dana 12/23/94

L'UTC è il tempo al quale si riferiscono le correzioni effettuate agli orologi dei satelliti e di conseguenza dei ricevitori.

Sebbene il tempo sia impiegato principalmente per il rilevamento della posizione, il GPS è anche fonte dell'ora più precisa alla portata di tutti, in quanto i ricevitori, utilizzando particolari algoritmi di correzione, non si allontanano mai dall'UTC più di 1 microsecondo.

Gli errori nel GPS

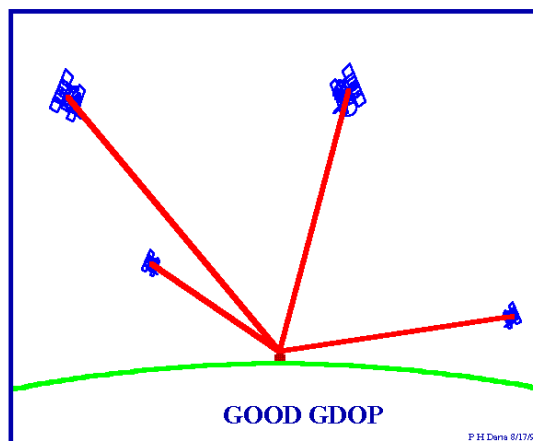
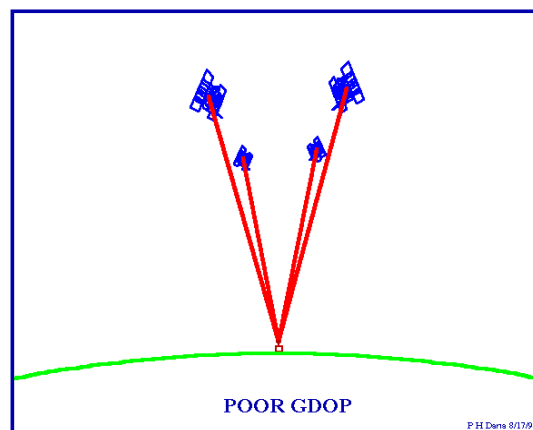
Il segnale GPS non viaggia nel vuoto, infatti esso percorre il suo tragitto nella ionosfera (80-500km), dove le onde elettromagnetiche vengono deviate da particelle elettricamente cariche, e nella troposfera (0-10km), dove risiedono i principali fenomeni metereologici.

Gli errori nel GPS hanno diversa origine e diversa influenza sulla precisione del sistema:

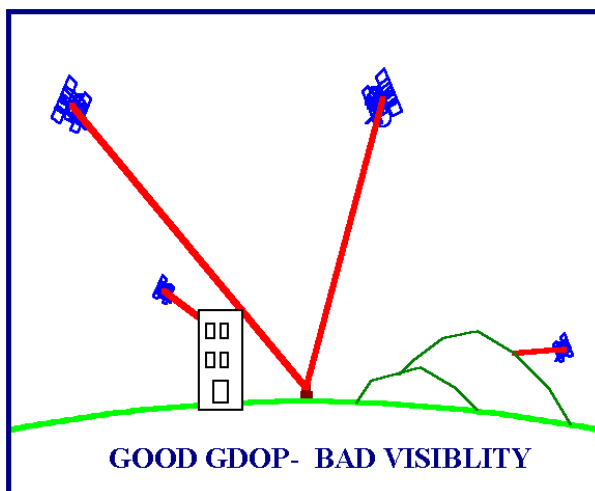
- Errori nell'orbita dei satelliti (0.5m)
- Errori negli orologi dei satelliti (0.5m)
- Errori negli orologi dei ricevitori (1 m)
- Ionosfera / Troposfera (10m)
- Percorsi multipli del segnale (0.5m)

Un altro importante fattore che pregiudica il corretto funzionamento del sistema è la posizione dei satelliti rispetto al ricevitore (Geometric Dilution of Precision); al diminuire dell'angolo formato tra i satelliti utilizzati per il rilevamento l'errore aumenta.

L'immagine seguente mostra una costellazione che avrà un'elevata GDOP mentre quella successiva permetterà una buona rilevazione. Ovviamente, siccome si conoscono le orbite dei satelliti e quindi gli angoli tra queste è possibile, per mezzo di particolari algoritmi, diminuire notevolmente questo errore.



E' anche ovvio che edifici o elementi naturali possono impedire o rendere più difficile la ricezione del segnale dai satelliti



Con questi errori l'incertezza sulla posizione è di circa 30 metri ma spesso è notevolmente inferiore.

Va inoltre ricordato che prima del 2 maggio 2000 il Dipartimento della Difesa USA utilizzava un sistema per introdurre un errore che degradava il segnale GPS chiamato Disponibilità Selettiva. Questa degradazione, attuata tramite il puntamento volutamente errato degli orologi a bordo dei satelliti e l'alterazione dei dati reali sulle effemeridi, causava un'incertezza sulla posizione di circa 100 metri. Ovviamente i ricevitori PPS possedevano al loro interno l'algoritmo con il quale venivano effettuati i disturbi quindi non erano affetti dal degrado.

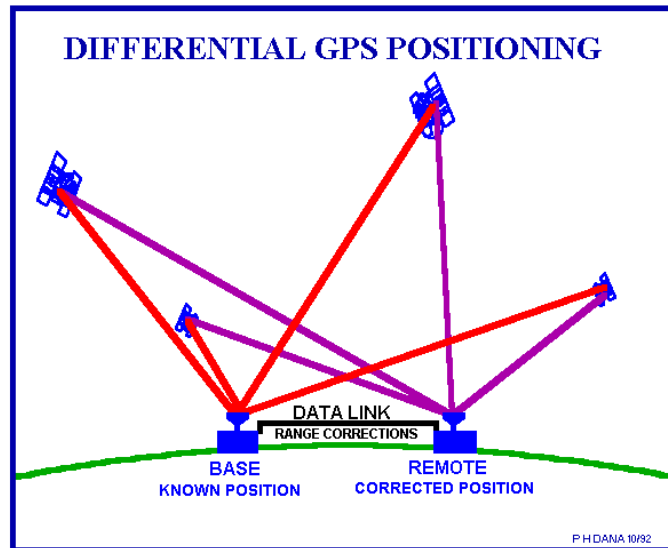
Nonostante la presenza di questo disturbo si era trovato il modo di migliorare la precisione del sistema, raggiungendo prestazioni al di sopra del PPS utilizzando unicamente i segnali caratteristici del SPS: questo sistema si chiama GPS differenziale o DGPS.

DGPS (GPS differenziale)

Questo sistema, messo a punto da Charles Counselman al Massachusetts Institute of Technology è molto semplice ma altrettanto efficace, al punto da superare la precisione del PPS e infatti si utilizza tuttora che la disponibilità selettiva è stata annullata.

Il funzionamento è il seguente:

Un ricevitore posto in un luogo di coordinate note rileva la propria posizione GPS rilevando le pseudo-distanze dai satelliti che sono affette da errore; questo errore è precisamente identificabile in quanto si conoscono le distanze vere dai satelliti; si può ora trasmettere ad altri ricevitori nei pressi del luogo di coordinate conosciute il segnale errore per la correzione dei rilevamenti.



Come è ovvio, questo sistema corregge, oltre che la vecchia disponibilità selettiva, il modello ionosferico presente in ogni ricevitore e l'imprecisione dell'orologio a bordo di quest'ultimo, rivelandosi quindi di notevole validità anche se è utilizzabile a medio-brevi distanze dalla stazione di coordinate note..

La seguente tabella mostra il miglioramento introdotto dal DGPS:

GPS ERROR SOURCES

ERROR SOURCE	TYPICAL RANGE ERROR	DGPS (CODE) RANGE ERROR <100 KM REF-REMOTE
SV CLOCK	1 M	
SV EPHEMERIS	1 M	
SELECTIVE AVAILABILITY	10 M	
TROPOSPHERE	1 M	
IONOSPHERE	10 M	
PSEUDO-RANGE NOISE	1 M	1 M
RECEIVER NOISE	1 M	1 M
MULTIPATH	0.5 M	0.5 M
RMS ERROR	15 M	1.6 M
ERROR * PDOP=4	60 M	6 M

PDOP=Position Dilution of Precision (3-D) 4.0 is typical

Esempio di caratteristiche di un sistema DGPS commerciale: -ESEMPIO-

Il sistema GLONASS

GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema.

Sviluppato alla fine degli anni '80 dall'ex Unione Sovietica, attualmente gestito dalla Repubblica russa. Ha raggiunto la piena operatività nel 1996, con 24 satelliti orbitanti, ma successivamente tale numero si è ridotto. Sempre nel 1996, la Russia ha offerto l'uso gratuito del sistema per l'aviazione civile fino al 2010.

È un sistema analogo al NAVSTAR - GPS, del quale condivide il principio di funzionamento, lo schema costitutivo, il tipo di costellazione, la banda di frequenza utilizzata, la salvaguardia del segnale riservato agli utenti militari mediante codifica.

Si differenzia tuttavia dal GPS per i seguenti aspetti:

- Orario di riferimento è l'UTC - SU, UTC sovietico, ora russo.
- Il datum geodetico di riferimento è differente da quello del GPS.
- Ciascun satellite trasmette su una propria e particolare frequenza; questo evita la necessità di trasmettere il codice identificativo.
- Le effemeridi dei satelliti vengono aggiornate ogni 30 minuti; questo comporta che il ricevitore deve elaborare i dati ricevuti dal satellite prima di procedere al calcolo della sua posizione.

A causa di queste differenti modalità operative, ricevitori GLONASS non sono compatibili con il segnale GPS, e viceversa.

L'accuratezza dei dati forniti dal GLONASS è comparabile a quella del GPS: in particolare, il segnale civile GLONASS consente una precisione orizzontale di 60 m e verticale di 75 m.

ALLEGATO 1

Il codice C/A

- C/A sta per Coarse Acquisition (Acquisizione Grezza), infatti il segnale è studiato per usi civili, e quindi riserva il più alto grado di approssimazione (senza l'utilizzo del GPS differenziale). E' impiegato nel posizionamento come il codice P. Questo codice fa parte dei Gold Code, codici pseudocasuali che hanno le caratteristiche di essere molto diversi l'uno dall'altro (si elimina quasi completamente la possibilità che il ricevitore confonda due satelliti) e di avere una bassissima correlazione con la propria copia tranne che in un punto (si garantisce così l'esatta rilevazione del ToA, Time of Arrival, cioè del tempo impiegato al codice per arrivare a Terra dal satellite)
- Chipping rate (velocità di trasmissione dell'intero codice di 1023 bits) è di 1.023 Mbps, quindi per inviare un intero codice è necessario 1 microsecondo.
- La frequenza di questo alla quale si succedono i bits di questo codice è quindi 1.023 mhz.
- La distanza coperta dal codice nel tempo che intercorre tra una generazione e l'altra è il chip length, cioè la lunghezza d'onda del codice stesso:

$$\lambda_{c/a} = \frac{c}{f_{c/a}} = 293,05m$$

- Il code length è la distanza coperta dal segnale nel tempo necessario a una ripetizione completa del codice:

$$d_{c/a} = 1023\lambda_{c/a} = 299,79km$$

Tempo addietro si assumeva la precisione della misurazione pari al 1, 2% della lunghezza d'onda del segnale con un errore conseguente di circa 3-6 metri mentre oggi, con il miglioramento delle tecnologie, si è arrivati a ridurre questo errore a 30-60 cm

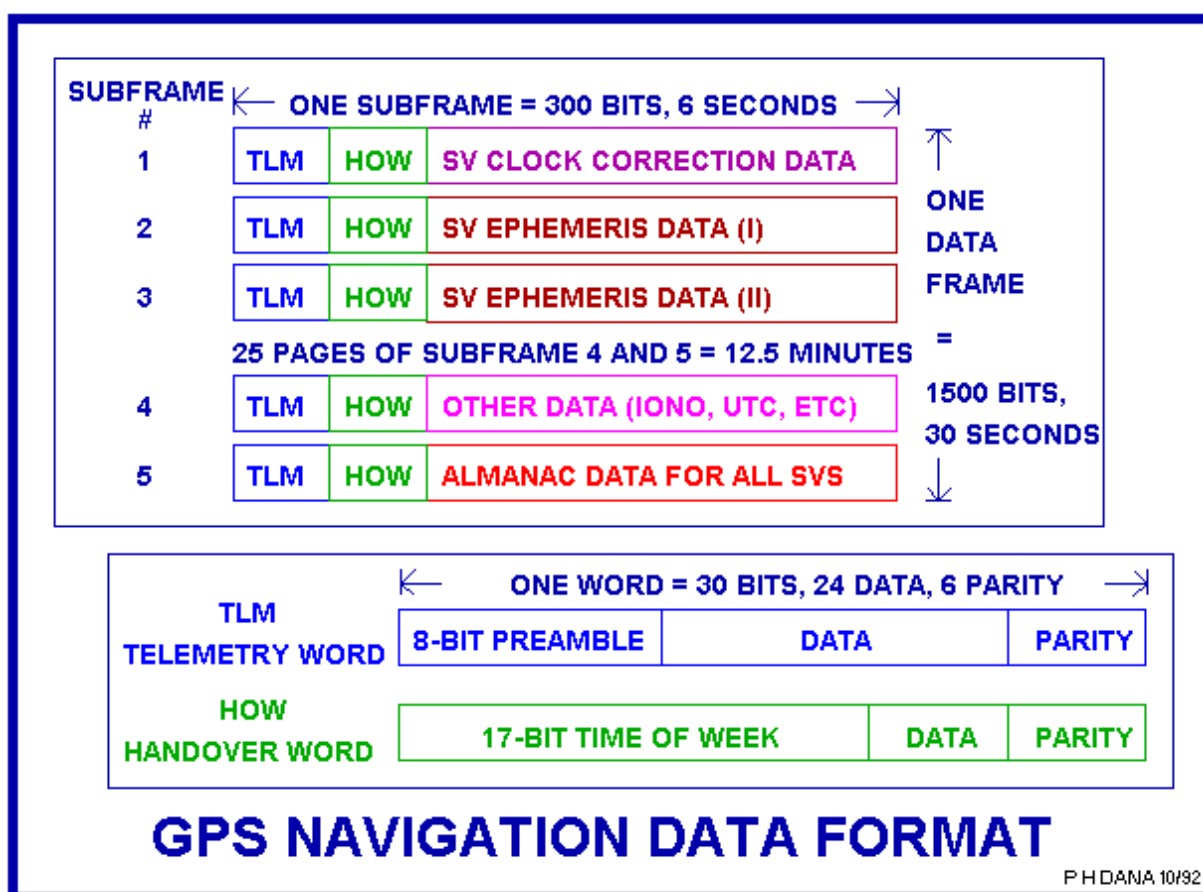
ALLEGATO 2

La composizione del pacchetto dati NAV

Il pacchetto dati NAV è un frame di 1500 bits suddivisi in subframes di 300 bits ciascuno trasmessi appunto ad una velocità di 50 hz. A questa velocità l'intero frame viene inviato in 30 secondi e ogni subframe impiega un periodo di 6 secondi.

All'interno del pacchetto dati NAV i subframes sono così suddivisi:

1. Informazioni sull'orario GPS
2. Informazioni sulle effemeridi
3. Informazioni sulle effemeridi
4. Informazioni sulla ionosfera
5. Almanacco



Le informazioni sull'orario GPS consistono nell'indicazione dello scarto tra l'ora GPS e l'UTC.
-ESEMPIO PARAMETRI ORARI ALLEGATO 3-

Le informazioni sulle effemeridi indicano al ricevitore la posizione del satellite nell'orbita per periodi di tempo abbastanza brevi. Queste vengono ricercate dal ricevitore circa ogni ora ma l'errore introdotto da questo parametro è trascurabile a meno che non passino più di quattro ore tra un'acquisizione e l'altra. -ESEMPIO INFORMAZIONI SULLE EFFEMERIDI ALLEGATO 4-

Le informazioni sulla ionosfera sono dati che i ricevitori devono interpretare per attenuare l'errore di tempo introdotto dal fenomeno di rifrazione ionosferico. -ESEMPIO PARAMETRI IONOSFERICI ALLEGATO 5-

Gli almanacchi sono informazioni che ogni satellite invia relative alla propria posizione approssimata e quella degli altri satelliti. Questa informazione è piuttosto lunga e per essere completa richiede l'invio di 25 subframes e quindi l'almanacco completo si otterrà solo dopo 12 minuti e mezzo (30 secondi x 25 frames = 12,5 minuti). -ESEMPIO DI ALMANACCO ALLEGATO 6-

I dati trasmessi sono protetti da un controllo sulla parità che viene allegato ad ogni subframe.

ALLEGATO 3

Esempio parametri orologio

UTC

A0 : -9.3132E-09 sec

A1 : -4.5297E-14 sec/sec

dtLS : 1.0000E+01 sec

tot : 4.6694E+05 sec

WNt : 2.9000E+01 weeks

WNlsf : 2.4300E+02 weeks

DN : 5.0000E+00 days

dtLSF : 1.0000E+01 sec

ALLEGATO 4

Esempio di informazioni sulle effemeridi

EPHEMERIS FOR SATELLITE 2 :

PRN number for data 2
Issue of ephemeris data 224
Semi-Major Axis (meters) 2.65603E+07
C(ic) (rad) 1.88127E-07
C(is) (rad) -1.00583E-07
C(rc) (meters) 321.656
C(rs) (meters) 87.6875
C(uc) (rad) 4.36418E-06
C(us) (rad) 2.70829E-06
Mean motion difference (rad/sec) 5.04521E-09
Eccentricity (dimensionless) 0.0139305
Rate of inclination angle (rad/sec) .. 4.11089E-10
Inclination angle @ ref. time (rad) .. 0.950462
Mean Anomaly at reference time (rad) . -2.62555
Corrected Mean Motion (rad/sec) 0.000145859
Computed Mean Motion (rad/sec) 0.000145854
Argument of perigee (rad) -2.56865
Rate of right ascension (rad/sec) -8.43857E-09
Right ascension @ ref time (rad) 1.75048
Sqrt (1 - e²) 0.999903
Sqr root semi-major axis, (m^{1/2}) 5153.67
Reference time ephemeris (sec) 240704

ALLEGATO 5

Esempio parametri ionosferici

Ionospheric parameters:

Alpha[0] : 1.397E-08

Alpha[1] : 2.235E-08

Alpha[2] : -1.192E-07

Alpha[3] : -1.192E-07

Beta[0] : 1.044E+05

Beta[1] : 9.83E+04

Beta[2] : -1.966E+05

Beta[3] : -3.932E+05

ALLEGATO 6

Esempio di Almanacco

ALMANAC FOR SATELLITE 1 :

PRN number for data 1

Health of SV 0

Reference Week of Almanac 797

Eccentricity 0.00346661

Corr: inclination angle (rad) ... 0.00388718

Mean Anomaly @ ref time (rad) ... 2.79387

Argument of Perigee (rad) -1.31888

Rate right ascension (rad/sec) .. -8.01176E-09

Right ascension @ ref time (rad) -0.296182

Sqrt semi-major axis (m^{1/2}) 5153.58

Clock correction term 1 0.000148773

Clock correction term 2 7.63976E-11

Reference time almanac 466944

Semi-Major Axis (meters) 2.65594E+07

Corrected Mean Motion (rad/sec) . 0.000145862

Inclination angle (rad) 0.95469

ALLEGATO 7

Il codice P

- P è l'iniziale di Precision, infatti questo codice ha lo stesso scopo del codice C/A ma ha caratteristiche diverse (migliori) che lo rendono utilizzabile per rilevazioni più accurate.
- Il chipping rate è di 10,23 Mbps, quindi il segnale è dieci volte più veloce del C/A

- Il chip length è:

$$\lambda_p = \frac{c}{f_p} = 29,31m$$

- Ne consegue una precisione, basata sul chip length, di 3-6cm
- Il codice è molto lungo ed ogni satellite ne trasmette solo una parte, che si ripete ogni settimana
- Il codice P è conosciuto ma il Dipartimento della Difesa USA cripta questo codice generando il codice P(Y) che rende inutilizzabile il codice P per scopi non militari.