



I SEGRETI DEL GPS

I segreti tecnici del sistema Navstar-global positioning system, che ha rivoluzionato la navigazione.

www.vfrmagazine.net

Massimo Belloni

Indice

1. CONVENZIONI.....	4
2. LIMITI DEL SISTEMA.....	4
3. INIZIALIZZAZIONE.....	4
4. TARATURA DEL RICEVITORE.....	4
4.1 ORA.....	4
4.2 FORMATO DELLA POSIZIONE.....	5
4.3 PROIEZIONE CARTOGRAFICA.....	5
4.4 UNITÀ DI MISURA.....	5
4.5 DECLINAZIONE MAGNETICA.....	5
5. DEFINIZIONE DEI PUNTI.....	6
5.1 COS'È UN WAYPOINT.....	6
5.1.1 Immissione manuale.....	6
5.1.2 Immissione sul posto.....	6
5.1.3 Immissione tramite computer.....	6
5.2 NAVIGAZIONE CON WAYPOINT.....	6
5.3 NEAREST WAYPOINT.....	7
5.4 NAVIGAZIONE CON ROTTA.....	7
5.4.1 Il cambio di indicazione nelle tratte di rotta.....	8
6. NOZIONI DI BASE.....	8
6.1 CARTOGRAFIA E ORIENTAMENTO.....	8
6.2 LA TERRA.....	9
6.3 LATITUDINE E LONGITUDINE.....	9
6.4 I PUNTI CARDINALI E LA ROSA DEI VENTI.....	9
6.5 IL SISTEMA UTM/UPS.....	10
6.6 NORD VERO / NORD MAGNETICO - DECLINAZIONE.....	10
6.7 CARTE GEOGRAFICHE.....	10
6.8 ORTODROMIA E LOSSODROMIA.....	11
6.9 DETERMINAZIONE DI UN PUNTO SULLA CARTA SENZA GPS.....	11
6.10 RILEVAMENTO COORDINATE SULLA CARTINA.....	12
7. APPROFONDIMENTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA GPS.....	13
7.1 I SATELLITI GPS.....	13
7.2 COME FUNZIONA IL GPS.....	13
7.3 RILEVAMENTO DELLA DISTANZA DEI SATELLITI.....	13
7.4 MISURA DELLA DISTANZA DAI SATELLITI.....	14
7.5 I SATELLITI NELLO SPAZIO.....	14
7.6 LA SINCRONIZZAZIONE.....	15
7.7 GPS DIFFERENZIALE.....	15
7.8 WAAS / EGNOS / MSAS.....	16
7.9 PRECISIONE ED ERRORI.....	16
7.10 PROPAGAZIONE IONOSFERICA.....	16
7.11 ERRORI DI PROPAGAZIONE ATMOSFERICA.....	16
7.12 ERRORI DI EFFEMERIDE.....	16
7.13 ERRORI DEI RICEVITORI.....	16
7.14 ERRORE DEGLI OROLOGI ATOMICI.....	17
7.15 SELECTIVE AVAILABILITY.....	17
7.16 DILUIZIONE DELLA PRECISIONE.....	17
8. RIFERIMENTI.....	18
8.1 TERMINOLOGIA.....	18
8.2 BIBLIOGRAFIA.....	19
8.3 RIFERIMENTI INTERNET.....	19

Quest'opera è stata rilasciata sotto la licenza Creative Commons Attribuzione-Non commerciale-Non opere derivate 3.0 Unported. Per leggere una copia della licenza visita il sito web <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/> o spedisci una lettera a Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.



Revisione: 87

Data revisione: 3 settembre 2011

© Massimo Belloni

Introduzione

La nascita del sistema di navigazione satellitare Navstar GPS ha finalmente posto chiunque nelle condizioni di poter sapere in qualsiasi momento la sua posizione sul globo terrestre. In questa breve monografia tenteremo di comprendere quali sono i principi di funzionamento del sistema e le più semplici ed utili funzioni che questo strumento ci mette a disposizione, per poterle utilizzare al meglio e rapidamente. L'implementazione dei vari comandi sui diversi modelli è simile, ma non identica (spesso ci sono variazioni dipendenti dalla versione software del ricevitore), per cui volutamente non viene specificata la sequenza di tasti da utilizzare per ottenere le varie funzioni qui descritte. Per utilizzare le funzioni descritte sul proprio ricevitore, è necessario fare riferimento al proprio manuale d'istruzione. La suddivisione degli argomenti è stata organizzata in modo cronologico: dall'apertura della scatola contenente il ricevitore al suo uso completo.

Poiché, comunque, non ci si può basare solo ed esclusivamente sui GPS per navigare, è stata inclusa un'appendice riguardante cartografia e orientamento, che sono argomenti strettamente correlati all'uso del GPS. Mi auguro che la trattazione degli argomenti sia stata fatta in modo esauriente e facilmente comprensibile.

Massimo Belloni

1. Convenzioni

Per semplificare il testo saranno utilizzate alcune convenzioni: si considerano i GPS come ricevitori a 12 canali

2. Limiti del sistema

Il segnale che utilizzano i ricevitori commerciali sfrutta la precisione civile che ha il sistema GPS, la quale potrebbe essere di pochi metri, che fino al 2001 il governo Americano, per motivi di sicurezza nazionale, degradava volutamente a 100 m orizzontali e 150 verticali (questa imprecisione voluta si chiamava "Selective Availability"). In ogni caso il GPS non deve essere considerato come esclusivo sistema di navigazione, ma le consuete cartine e la bussola continuano a svolgere una funzione indispensabile e si integrano con esso. La frequenza con cui i dati vengono mostrati sullo schermo del GPS è generalmente di una volta al secondo, per cui bisogna lasciare al sistema alcuni secondi per avere con certezza la rotta corrente quando si esce da una virata stretta. Si veda poi l'appendice per una maggiore trattazione delle problematiche relative alla precisione del sistema. Nei paragrafi seguenti si partirà considerando un GPS di tipo non cartografico (e quindi da utilizzare tipicamente insieme ad una cartina), mentre, naturalmente, se si dispone di un sistema cartografico (che ormai è quello utilizzato nella maggioranza dei casi) diverse considerazioni non avranno ragione di essere fatte, poiché già risolte dal sistema stesso.

3. Inizializzazione

Il funzionamento di un GPS si divide in due fasi distinte: l'acquisizione del punto corrente ("*fix*") ed il funzionamento normale. Appena acceso lo strumento inizia l'esplorazione dei segnali che sta ricevendo dai satelliti, in modo da poter calcolare dove è situato sulla superficie terrestre, per poi passare al funzionamento normale. In tutti i casi la prima acquisizione dipende da quanto si è spostato lo strumento dall'ultima volta che è stato in funzione, e da quanto tempo è passato. Si distingue una accensione "a freddo" da una "a caldo". Un avviamento a caldo avviene nel giro di circa 15 minuti massimi dall'ultima accensione, a freddo in tutti gli altri casi. Una partenza a caldo significa che il tempo per avere il *fix* sarà di pochissimi minuti (a volte pochi secondi), mentre una a freddo può impiegare molto di più. La prima accensione (dall'apertura della confezione), e quando viene spostato di più di 300 Km dall'ultima accensione sono considerate delle partenze a freddo. In questo caso è talvolta necessario attuare la procedura di inizializzazione prevista dal fabbricante, in che significa generalmente fornire allo strumento una posizione iniziale approssimativa da cui esso possa partire per effettuare i calcoli, con un'approssimazione di 300 km intorno alla vera posizione del punto (in alcuni ricevitori più evoluti si imposta semplicemente la nazione in cui ci si trova), ed impostando nel contempo l'orologio del GPS con la data corretta ed una tolleranza di 10 minuti rispetto all'ora effettiva. Lo strumento è comunque in grado di arrivare al *fix* anche senza questi dati, ma in tal caso potrebbe anche impiegare parecchio tempo per effettuare tutti i calcoli, ed è quindi opportuno "aiutarlo" in questi casi. Bisogna notare che l'acquisizione del punto è più rapida se lo strumento è fermo, ed è quindi meglio farla a terra prima di decollare. Va anche sottolineato che gli odierni ricevitori a canali paralleli hanno ovviato in gran parte a questi problemi di avviamento, che si sono drasticamente ridotti. Anche il luogo ove si impiega il GPS è molto importante: la vicinanza di linee elettriche ad alta tensione, o peggio di ripetitori radiotelevisivi è fonte di anomalie elettromagnetiche spesso in grado di disturbare il debole segnale dei satelliti e pregiudicare l'acquisizione del punto. È altrettanto importante che lo strumento, specie nella fase iniziale, abbia una chiara visione del cielo, non impedita da alcun tipo di ostacolo.

4. Taratura del ricevitore

Per ottenere il meglio dal GPS è indispensabile provvedere ad una opportuna regolazione di alcuni parametri principali, che se non correttamente impostati pregiudicano le prestazioni del sistema. Qui di seguito vengono analizzati i principali.

4.1 Ora

Oltre alla importante funzione che una corretta impostazione dell'ora ha sull'inizializzazione del sistema, è importante impostare sul ricevitore il corretto fuso orario e l'eventuale impostazione dell'ora legale, in modo che le previsioni sui tempi di percorrenza delle tratte di rotta siano giuste ed immediatamente comprensibili. In alternativa si può pensare di lavorare con l'ora universale (UTC), la quale costringe però ad effettuare a

mente tutti i calcoli per riportarsi al tempo effettivo. Per l'impostazione con l'ora corretta per il fuso orario Italiano lo strumento va impostato con +1 h nel periodo dell'ora solare e +2 h durante l'ora legale. Altre possibili indicazioni di taratura per il nostro fuso orario possono essere GMT+1 e GMT+2, oppure CET o MET.

4.2 Formato della posizione

È il tipo di formato con cui vengono mostrate le coordinate geografiche sul display dello strumento. I sistemi più usati sono i vari tipi di gradi (sessagesimali e centesimali), oppure con il sistema UTM. Questa impostazione dipende dal tipo di cartina su cui si effettueranno poi i riscontri di rotta. Nelle cartine a basso formato (generalmente con scala maggiore di 1:75.000) si utilizzano normalmente i gradi, mentre per chi volesse utilizzare le cartine militari, con scala più alta (massimo 1:50.000), avrà a che fare con il sistema UTM. In questo caso bisogna ricordare che l'Italia è sita nella zona UTM **32T**. Tutti i ricevitori provvedono autonomamente ad effettuare le conversioni tra sistemi di coordinate: se si immette una coordinata in formato UTM nello strumento, e poi si cambia la rappresentazione in gradi, i dati di quel punto verranno convertiti automaticamente nell'altro sistema. È quindi sempre possibile memorizzare nello strumento i punti dati con qualsiasi sistema, basta selezionare quello corrispondente prima di immetterli, per poi eventualmente tornare a quello preferito. È importante però fare attenzione ai dati forniti in gradi: talvolta non viene bene specificato se si tratta di sessagesimali o centesimali, ed è importante quindi verificare quale tipo di notazione è stata utilizzata nella lista. Se sono state rispettate le convenzioni ecco come si dovrebbero presentare le coordinate in diversi sistemi:

Tipo di notazione	Formato	Esempio coordinate
Gradi / Minuti	hdd'mm.mmmm	45°09 043' N 7°27 832' E
Gradi / Minuti / Secondi	hdd°mm'ss.s"	45°09'02.6" N 7°27'49.9" E
Gradi semplici	hddd.dddd°	45.150717 N 7.463872 E
UTM	-	32T 379242 5000934

4.3 Proiezione cartografica

Con questa indicazione, che sugli strumenti è conosciuta usualmente con la denominazione "*map datum*", si indica il tipo di ellissoide utilizzato per la definizione matematica del globo terrestre. Esistono più di 100 tipi diversi di ellissoidi standard, che cambiano generalmente in funzione della nazione della quale si utilizza la carta geografica. Nel caso di mappe elettroniche georeferenziate (ad esempio quelle che si possono trovare sul sito della NIMA del Governo USA, per chi utilizzasse un sistema che permetta l'inserimento di mappe scannerizzate), lo standard comune è il WGS84 (che è quello che assume che la Terra sia una sfera perfetta). Nel caso di voler avere una corrispondenza perfetta con le carte di produzione militare Italiana questo valore va impostato normalmente come "**European 1950**", oppure "**European 1950 mean**", se non altrimenti specificato. Le carte aeronautiche (IGM e Jeppesen, ad esempio) utilizzano invece il map datum WGS84, che è universale e non è riferito a specifiche convenzioni cartografiche locali. È quindi molto importante fare in modo che il GPS stia utilizzando lo stesso sistema di proiezione della carta, così da avere corrispondenza esatta tra i punti.

4.4 Unità di misura

L'unità di misura utilizzata dai ricevitori è variabile, e riguarda tanto le distanze quanto le velocità. Le distanze possono essere espresse generalmente in miglia, chilometri e metri, mentre le velocità in miglia orarie, nodi, chilometri orari o metri al secondo. Su alcuni sistemi la suddivisione delle regolazioni è più semplicemente espressa in sistema statuario, nautico o metrico. Se si vuole utilizzare il sistema aeronautico standard, si imposterà la quota in piedi (feet) e la distanza in miglia statutarie.

4.5 Declinazione magnetica

Questa è una regolazione molto importante, ed è funzione del tipo di navigazione effettuata: se si usa un GPS non cartografico e quindi anche la cartina, si può impostare su "*Nord Vero*" (True North), che indica le direzioni riferendosi al Nord vero geografico. Se invece si naviga utilizzando la bussola, è opportuno impostare questo valore su "*Nord magnetico*" (Magnetic North), poiché in questo caso l'indicazione sarà corrispondente a quella che indicherà la bussola. Nella memoria GPS è contenuta una tabella di correzione

per l'angolo di declinazione magnetica delle varie zone terrestri e della loro variazione nel tempo, in modo che l'indicazione sia sempre coerente con quella della bussola.

5. Definizione dei punti

Utilizzando un GPS senza definire nella sua memoria dei punti significa utilizzare lo strumento al minimo delle sue possibilità. In tal caso si potrà sapere solo la direzione di volo e la velocità rispetto al terreno. Disponendo invece di punti noti in memoria (meglio noti come *waypoint*, *landmark* o *POI – Point of Interest*) sarà possibile anche sapere numerose altre informazioni, quali i suggerimenti sulla rotta da seguire, di quanto ci si trova spostati lateralmente rispetto alla rotta ottimale, la velocità effettiva verso il punto d'arrivo, la distanza e il tempo stimato per raggiungere tale punto, ecc. Queste sono le ragioni principali per abituarsi presto all'utilizzo dei *waypoint*.

5.1 Cos'è un waypoint

Un *waypoint* è semplicemente la memorizzazione nello strumento delle coordinate di un certo punto, spesso i *waypoint* vengono anche chiamati "boe". Tale definizione può essere fatta in diversi modi:

5.1.1 Immissione manuale

In questo caso, mediante la tastiera dello strumento, si inseriscono il nome, le coordinate del punto ed un eventuale commento. Le coordinate possono essere state rilevate su una cartina o fornite come informazione, e l'operazione avviene in qualsiasi luogo o momento, anche se lo strumento non ha rilevato la propria posizione (in casa, ad esempio).

5.1.2 Immissione sul posto

Trovandosi fisicamente sul posto del quale si vuole memorizzare la posizione, con semplici comandi si può inserirne le coordinate in memoria. In questo caso generalmente lo strumento fornisce un nome generico al luogo (tipo WPT001), ed è quindi opportuno modificarlo subito, onde evitare che in futuro non ci si ricordi più a che luogo corrispondeva tale rilevazione. Ovviamente per effettuare questa operazione è necessario che lo strumento abbia rilevato il proprio *fix*. Alcuni GPS permettono di memorizzare il valore considerando la media delle letture (indicando nel contempo quale è la stima dell'errore di posizione in quel dato momento).

5.1.3 Immissione tramite computer

Disponendo di opportuni programmi (alcuni a pagamento, altri gratuiti, molti già a corredo del GPS stesso) facilmente reperibili via Internet è possibile crearsi un archivio contenente un numero infinito di *waypoint*, per poi scaricare solo quelli necessari in un certo momento sul ricevitore, tramite un apposito cavetto. Tramite Internet è sovente possibile trovare questi dati già pronti per essere scaricati prima ancora di recarsi a volare in un certo luogo, ed arrivarvi quindi con lo strumento già predisposto al meglio. Un ulteriore e notevole vantaggio di questo metodo è che è molto più comodo immettere i valori tramite una normale tastiera che utilizzando lo strumento stesso. In pratica è il metodo più semplice ed utile per inserire queste informazioni sullo strumento.

5.1.3.1 Proximity waypoint

Su alcuni ricevitori è presente una funzione che, basandosi su *waypoint* già presenti in memoria, attribuisce a un certo numero di essi una distanza minima al di sotto della quale lo strumento segnala che ci si è avvicinati al di sotto della soglia. Nel nostro caso il classico *proximity* è tipicamente la distanza da punti o luoghi da evitare.

5.1.3.2 Icone

È spesso possibile associare ad un certo *waypoint* un'icona, cioè un piccolo disegno che dovrebbe rendere più immediatamente comprensibile la natura di quel *waypoint*. Ad esempio tra le icone standard ve ne sono alcune che indicano boe, punti di partenza o di arrivo, luoghi di rifornimento, ecc.

5.2 Navigazione con waypoint

Se il ricevitore ha memorizzato uno o più *waypoint* è già possibile effettuare il tipo più semplice di navigazione assistita con GPS. Esiste su tutti gli strumenti una funzione (spesso identificata dal pulsante *GOTO*) che permette di scegliere un *waypoint* verso il quale dirigersi. Premendo *GOTO* verrà mostrato un elenco con la lista dei *waypoint* definiti in memoria, e se ne sceglierà uno. Immediatamente lo strumento

inizierà a fornire dati per raggiungere tale punto il più presto possibile (una rotta rettilinea che congiunge la propria posizione corrente a tale punto), presentando informazioni quali la distanza dal punto, la velocità effettiva a cui ci si muove verso esso, un'indicazione grafica sulla rotta da seguire, lo scostamento laterale dalla rotta ottimale, il tempo di percorrenza previsto, ecc. In qualsiasi momento è sempre possibile variare il punto d'arrivo, e lo strumento adeguerà immediatamente le sue indicazioni alla nuova meta. Se la rotta prevista prevede però diversi punti di passaggio prima di terminare il percorso, è comunque più opportuno utilizzare la navigazione mediante rotte predefinite. Più avanti in questa trattazione verrà spiegato il significato dei vari dati presentati dal display.

5.3 Nearest waypoint

E' una funzione che permette in qualsiasi momento di elencare i waypoint conosciuti più vicini alla propria posizione, e decidere eventualmente un immediato GOTO verso uno di essi. L'utilizzo tipico è quello di reperire rapidamente un alternato verso il quale dirigersi immediatamente

5.4 Navigazione con rotta

Per raggiungere un certo luogo spesso si dovrà passare attraverso altri punti obbligati, e per fare questo esiste sui GPS la possibilità di definire una o più rotte. Le rotte consistono in un percorso costituito da una serie di *waypoint* definiti come sequenza di punti da raggiungere. Impostando una rotta costituita dalla successione vari punti di rotta, una volta attivata la funzionalità di rotta il GPS inizierà a darci le informazioni per raggiungere il primo *waypoint* definito nella serie. Una volta raggiunto tale punto, il GPS automaticamente inizierà a darci le indicazioni necessarie per raggiungere il successivo, e così via fino al termine della rotta. Nel caso si intenda interrompere la navigazione, ad esempio per andare in atterraggio senza completare il percorso, è comunque possibile modificare in qualsiasi momento la rotta utilizzando la funzione GOTO impostando come punto d'arrivo l'atterraggio desiderato.

5.4.1 Il cambio di indicazione nelle tratte di rotta

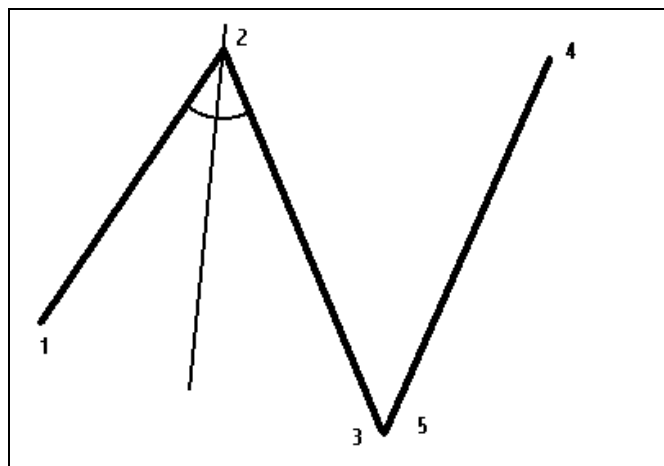


Figura 2

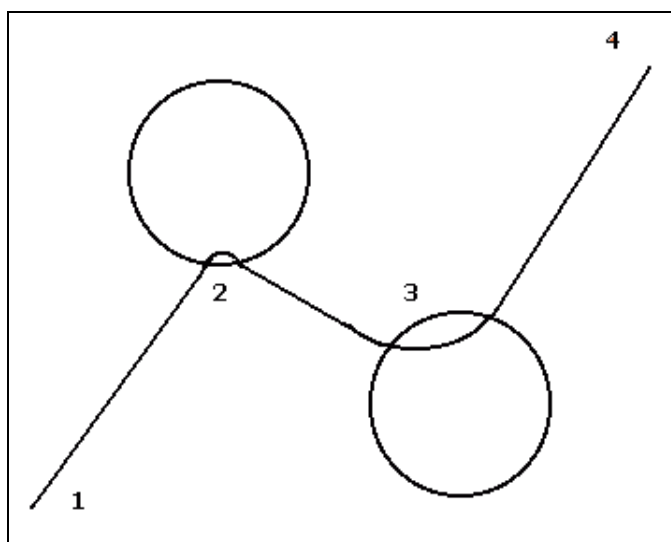


Figura 1

Il GPS provvede da sé a indicare la nuova rotta una volta che il *waypoint* del segmento di rotta è stato raggiunto. Che cosa intende lo strumento per “raggiunto”? Esistono due principali implementazioni: alcuni tipi usano il cosiddetto “*beer can*” (barattolo di birra – Figura 1), cioè un cilindro avente per centro il *waypoint* e un diametro standard. Quando il GPS entra all'interno del cilindro, esso automaticamente commuta le indicazioni di navigazione per andare a raggiungere il successivo. L'altro sistema (Figura 2), invece, considera “passata” la boa nel momento in cui si varca una retta immaginaria che passa per la bisettrice dell'angolo descritto dal segmento di rotta d'arrivo e quello del segmento successivo, indipendentemente dalla distanza effettiva a cui ci si è avvicinati al *waypoint*, come indicato in figura (boe 1 - 2 - 3). L'unico problema che questo tipo di soluzione può portare si verifica quando una sequenza di boe parte dalla prima, va ad una seconda, mentre la terza è nuovamente corrispondente alla prima (boe 3 - 4 - 5). In tal caso il comportamento dello strumento potrebbe essere imprevedibile, e bisogna quindi tenerne conto.

6. Nozioni di base

6.1 Cartografia e orientamento

Il GPS è in grado di darci molte informazioni, che diventano ancora più utili e complete se utilizzate riferendosi ad una carta geografica. Qui di seguito si trovano alcune indicazioni generali che riguardano i sistemi cartografici e alcune nozioni di orientamento, con e senza GPS.

6.2 La Terra

La terra, al contrario di quanto comunemente si crede, non è una sfera, bensì un *geoide*, e cioè un solido geometrico detto "*ellissoide di rotazione*", che per effetto della rotazione terrestre è un po' schiacciato ai poli. Poiché la differenza tra il diametro misurato ai poli e quello equatoriale è di soli 21,479 Km, su un diametro totale di poco meno di 13.000 Km, agli effetti della navigazione si considera la terra come una sfera di raggio di 6.378 Km, e con una circonferenza massima approssimata di 40.077 Km. Un osservatore posto sulla superficie di una sfera di questa misura vedrà intorno a sé un orizzonte di circa 5 Km, mentre se si sposta in alto il campo visivo aumenterà in funzione della formula

$$d_{km} = 3,856 \sqrt{h_m}$$

$$d_{mi} = 1,323 \sqrt{h_{ft}}$$

Per il disegno delle cartine si utilizzano diversi tipi di ellissoide (più di 100), che approssimano in diverso modo il geoide terrestre, ed è importante impostare quello corretto sul GPS per ottenere la corrispondenza tra punti indicati dallo strumento e quelli sulla carta.

6.3 Latitudine e longitudine

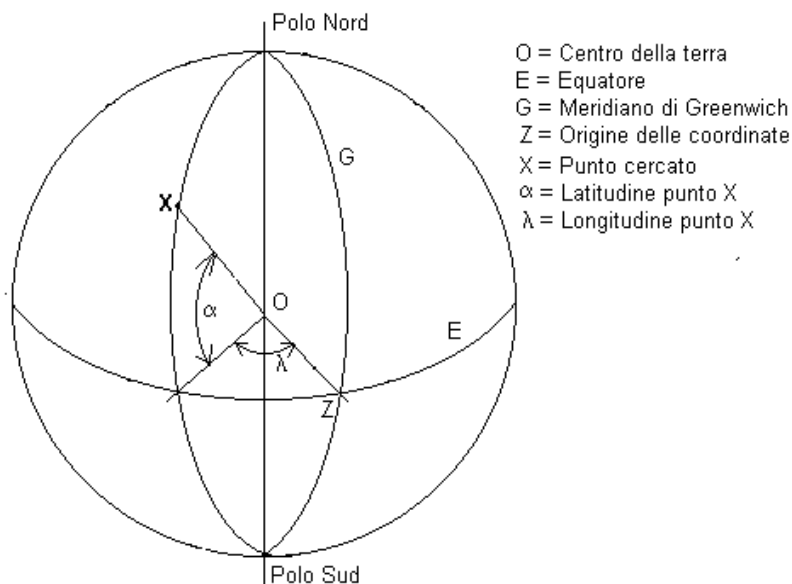


Figura 1

vertice il centro della terra e le altre estremità poste nel punto cercato e in quello considerato come origine. L'angolo sull'asse verticale (tra equatore, centro della terra e punto cercato) si definisce come *latitudine*, mentre quello tra il meridiano di Greenwich, il centro della terra e il punto cercato è noto come *longitudine*. Per fare un esempio Torino si trova alla latitudine 45°04' N (quindi 45 gradi e 40 primi verso Nord) ed una longitudine di 7° 40' E (7 gradi e 40 primi verso Est dal meridiano base).

L'identificazione di un punto sulla superficie terrestre si effettua mediante l'espressione del suo spostamento angolare rispetto ad un punto di origine, che è basato su due assi di riferimento: paralleli e meridiani. Il parallelo base è quello determinato dal massimo diametro della terra ortogonale all'asse di rotazione (l'equatore), mentre tutti gli altri paralleli hanno misura decrescente man mano che ci si avvicina ai poli. I meridiani, che sono i cerchi massimi paralleli all'asse di rotazione terrestre suddividono il globo in modo simile agli spicchi di un'arancia. Si usa per convenzione definire quello base come quello passante per la cittadina inglese di Greenwich. La posizione di un punto è quindi determinata dall'angolo avente per

6.4 I punti cardinali e la rosa dei venti

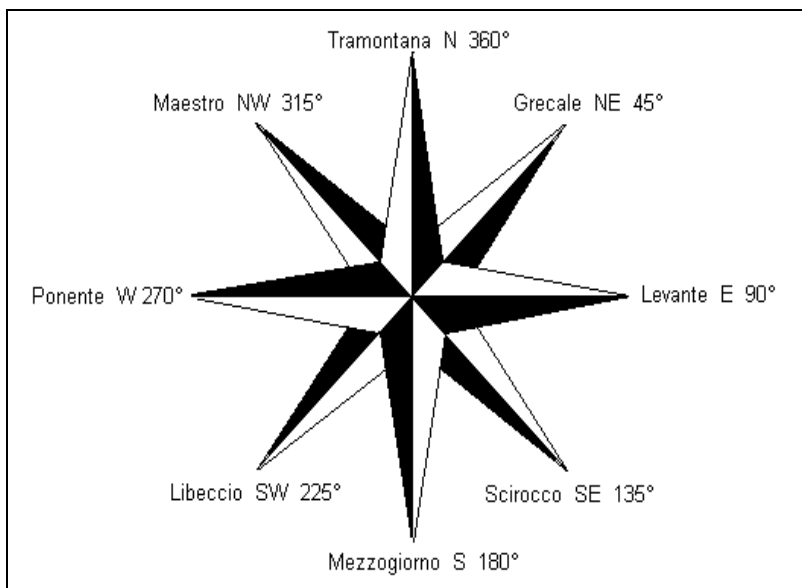


Figura 2

I quattro punti cardinali (Nord, Est, Sud, Ovest) suddividono, sul piano orizzontale, l'orizzonte in quattro quadranti, mentre la direzione dei venti principali lo suddivide in otto parti, come indicato nel disegno. La direzione di arrivo di un certo vento è usualmente associata al verificarsi di certe condizioni meteorologiche e quindi rappresenta un ausilio mnemonico per sapere se le condizioni sono propizie o meno al volo. Si tratta di un riferimento di utilizzo soprattutto nautico, ma anche per i nostri scopi questo aiuto non è da disprezzare.

6.5 Il sistema UTM/UPS

Con latitudine e longitudine ci si trova a fare i conti con la geometria sferica, che implica calcoli piuttosto complessi. Oggi c'è il GPS che provvede a farsi carico di tutto ciò, ma in passato si pensò di semplificare il calcolo approssimando il tutto ad una superficie piana. Per fare questo la terra venne suddivisa in 60 strisce verticali di 6° di longitudine ciascuno, che vanno dalla latitudine 80° sud alla 84° nord, definendo il sistema UTM. Anche i poli sono poi stati coperti da un sistema simile, che prende il nome di UPS. All'interno di queste zone si misura (in metri) la distanza del punto cercato dai riferimenti base. Il grosso vantaggio rappresentato dal sistema UTM è che le distanze misurate su una carta sono costanti (all'interno della stessa zona) indipendentemente dalla loro posizione sulla carta, mentre con il sistema latitudine/longitudine non è così, poiché l'ampiezza di 1 grado di longitudine è nulla ai poli e massima all'equatore. Le cartine militari sono normalmente disegnate con il sistema UTM.

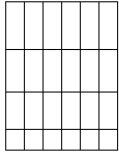
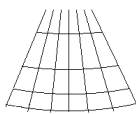
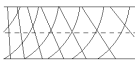
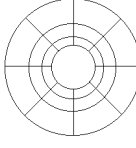
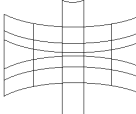
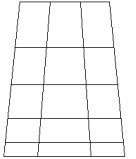
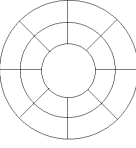
6.6 Nord vero / Nord magnetico - declinazione

La natura ha fatto in modo che i poli geografici della terra non corrispondano con quelli magnetici. In fatti il polo nord magnetico si trova nel nord del Canada, con coordinate di circa 73° N 105°W, mentre il polo sud a 73°S 147°E (notare tra l'altro che i due poli magnetici non sono esattamente agli antipodi). Questo fatto ovviamente complica la navigazione effettuata con la bussola, ma non solo: la distribuzione delle linee di forza del campo magnetico terrestre varia, dando origine ad un ulteriore errore nell'indicazione delle bussole, il quale può andare da 0° a 180° e può essere corretto mediante l'uso di apposite carte sulle quali sono riportate apposite linee (chiamate *isogone*) che indicano, zona per zona, l'ammontare di questo errore, tecnicamente chiamato *angolo di declinazione*. Questo angolo, inoltre, varia nel tempo ed è quindi necessario tenerne conto usando carte aggiornate. Per nostra fortuna in Italia, in questo periodo, l'errore è limitato a circa 1-2°W (ma varia nel tempo). L'ago della bussola è parallelo alla superficie terrestre solo nella zona equatoriale, inclinandosi poi sempre più verticalmente man mano che ci si avvicina ai poli. Alle grandi latitudini poi questo angolo, che prende il nome di *angolo di inclinazione*, e che nelle bussole viene normalmente compensato con l'uso di contrappesi posti sul braccio dell'ago, non può più essere corretto, ed ecco che la bussola "impazzisce" perdendo ogni utilità. Il GPS, invece, non basandosi sul campo magnetico terrestre, funziona in qualsiasi punto della terra.

6.7 Carte geografiche

La carta geografica è un tentativo di rendere su un piano quella che in realtà è una superficie tridimensionale sferica. Evidentemente non è possibile ottenere la perfezione, ed ognuno dei 7 principali tipi di carta rappresenta molto bene un certo tipo di dati e molto meno bene altri. Si utilizzano quindi i diversi tipi di carta in funzione delle rotte e delle distanze in gioco. Per i nostri scopi i due tipi principali sono la carta di

Mercatore e, soprattutto, la carta di Lambert (le carte aeronautiche sono normalmente sempre su proiezione Lambert). Nella tabella che segue si può trovare un riassunto dei vari tipi di carta.

PROIEZIONE PROPRIETÀ	MERCATORE	LAMBERT	KAHN	GNOMONICA POLARE	GNOMONICA EQUATORIALE	GNOMO-NICA OBLIQUA	STEREO-GRAFICA POLARE
Tipo	Cilindrica Tangente o secante	Conica tangente o secante	Cilindrica obliqua	Piano tangente al polo	Piano tangente all'equatore	Piano tangente in un punto	Piano tangente al polo
Centro Proiez.	Centro della terra	Centro della terra	Centro della terra	Centro della terra	Centro della terra	Centro della terra	Polo opposto
Reticolato della carta							
Meridiani	rette parallele e perpendicolari ai meridiani equamente spaziate	rette convergenti al polo	quasi rette	rette convergenti al polo	rette a spaziatura non costante	rette convergenti al polo	rette convergenti al polo
Paralleli		archi di cerchio concentrici a spaziatura non variabile	curve complesse	cerchi concentrici a spaziatura non variabile	archi di iperbole a spaziatura non variabile	curve complesse a spaziatura variabile	cerchi concentrici a spaziatura fissa
Scala	variabile in funzione della latitudine	quasi costante	variabile in funzione del reticolo	variabile	variabile	variabile	Variabile
Ortodromia	curve concave verso l'equatore	quasi rette	quasi rette	rette	rette	rette	quasi rette
Lossodromia	rette	spirali logaritmiche	curve	curve	curve	curve	spirali logaritmiche
Impiego	tracciamento rotte	tracciamento rotte	rotte ortodromiche	rotte ortodromiche	rotte ortodromiche	radiogoniometria	navigazione polare

6.8 Ortodromia e Lossodromia

Una linea retta tracciata su una carta, ad esempio la proiezione di Lambert, non è la rotta più breve in assoluto, poiché è la proiezione di una linea su una superficie sferica. In realtà la rotta più breve, sulla mappa, sarebbe un arco di cerchio (piuttosto poco pronunciato) con la concavità rivolta verso l'equatore. Ovviamente seguire su carta una rotta rappresentata da una leggerissima curva è estremamente complesso e quindi nella navigazione di tutti i giorni è *de facto* poco praticata. In effetti la differenza tra una rotta ortodromica e una lossodromica sulla tratta New-York/Roma è di 333 Km. L'uso del GPS naturalmente permette di evitare tutta questa problematica.

6.9 Determinazione di un punto sulla carta senza GPS

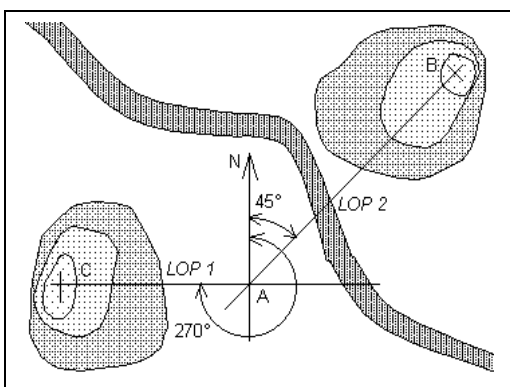


Figura 3

La determinazione di un punto può essere effettuata direttamente sulla carta, quando il punto cercato è così caratteristico da poter essere identificato con precisione, oppure può essere necessario rilevarla recandosi di persona sul posto. Basta disporre semplicemente della cartina di una bussola (che in questo caso è necessario sia il più precisa possibile) seguendo questo metodo: supponiamo di trovarci presso la riva di un fiume, nel punto **A**, e di voler rilevare la nostra posizione nella pianura. Puntiamo l'indice della bussola verso la vetta del monte **B**, e, mantenendo la mira, faremo ruotare la rosa della bussola fino a far corrispondere l'indicazione del Nord con l'ago calamitato. A questo punto leggeremo sulla tacca di mira (il cui nome corretto è "linea di fede") il valore, in questo esempio 45°. A questo punto potremo tracciare sulla cartina una linea passante per la vetta del monte B, con lo stesso angolo rilevato dalla bussola rispetto al Nord tracciato sulla carta, tenendo conto anche della declinazione magnetica della zona. A questo punto abbiamo determinato una LOP

(dall'inglese *Line of Position*), e cioè una linea di posizione sulla quale noi ci troviamo. Va bene, ma in quale punto preciso? Per determinarlo basterà ripetere l'operazione precedente, mirando un altro punto noto, ad esempio il monte **C**, che nel nostro esempio si rileva a 270° . A questo punto tratteremo una seconda *LOP*: la nostra posizione sarà determinata dall'intersezione delle due rette. È possibile utilizzare più di una *LOP* per determinare il punto con maggior precisione, ma in questo caso sarà molto improbabile che esse si intersechino esattamente sullo stesso punto, ma descriveranno piuttosto una figura geometrica, nell'interno della quale si troverà la posizione cercata. Tale figura è nota come *area d'ambiguità*. La sua dimensione, così come le altre imperfezioni, è dovuta a diversi fattori:

- *Errori di rilevamento*, dovuti a imprecisioni nel puntamento della *linea di fede*, dell'allineamento della rosa sull'ago magnetico o di lettura del rilevamento.
- *Errori della bussola*, dovuti a tolleranze di fabbricazione e deviazioni residue, queste ultime causate generalmente dalla presenza di oggetti metallici vicino alla bussola stessa (attenzione!)
- *Variazioni del campo magnetico terrestre*, l'angolo di declinazione magnetica varia nel tempo e la sua corretta valutazione va eseguita con attenzione.
- *Errori della carta geografica*, ci sono anche quelli. Supponendo di poter rilevare i punti con assoluta precisione, l'area di ambiguità sarebbe causata esclusivamente da questo fattore.

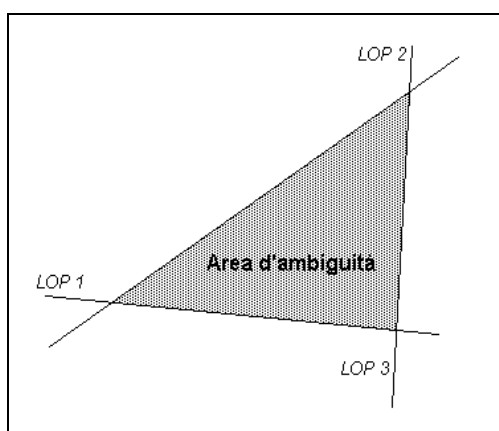


Figura 4

Per i nostri scopi si usano tipicamente carte con scale comprese tra 1:25.000 e 1:100.000. Spesso su queste mappe non sono riportate le quadrettature indicanti latitudine e longitudine (nel caso della carte militari il sistema usato è invece il reticolo UTM). Le mappe sono sempre orientate con l'alto rivolto verso il *nord vero* (quello geografico), e quindi bisogna applicare ad esso il valore corrente di declinazione magnetica quando si usa la bussola.

6.10 Rilevamento coordinate sulla cartina

Non è un'operazione molto complessa se si dispone di un GPS che permetta il calcolo di un punto riferendosi ad uno conosciuto. In pratica, se sulla carta già esiste un punto del quale si conoscono le coordinate, sarà possibile ricavare la posizione di quello cercato inserendo nello strumento la direzione (in gradi) e la distanza del nuovo punto da quello conosciuto. Il GPS farà da solo tutti i necessari calcoli per ricavare la posizione del punto cercato. Se lo strumento non dispone di queste caratteristiche, l'unico sistema sarà quello di utilizzare la scala della carta e il righello, fare gli opportuni calcoli e poi riportare i punti manualmente nella memoria dello strumento.

7. Approfondimento sul funzionamento del sistema GPS

Questa parte comprende alcune spiegazioni più dettagliate sul funzionamento dell'intero sistema GPS, per approfondire la conoscenza dell'argomento. In questo capitolo verrà trattato esclusivamente il sistema GPS e non il futuro sistema europeo **Galileo**, che non è ancora attivo, così come ignoreremo il sistema (presente, ma con limiti di diversa natura) russo **Glonass**. L'integrazione tra i diversi sistemi di navigazione satellitare prende il nome di **GNSS**, ma a livello commerciale non esistono attualmente ricevitori compatti in grado di utilizzare tutti i sistemi integrandoli tra loro.

7.1 I Satelliti GPS

Il sistema si basa sulla ricezione di segnali emessi da una costellazione di satelliti, messi in orbita dal DOD (*Department Of Defense*) il Dipartimento della Difesa americano, per scopi militari, ma comunque accedibili parzialmente per usi civili. Le principali caratteristiche sono qui di seguito elencate:

Nome	Navstar
Altitudine orbitale	20200 Km
Dimensione	5,20 m
Periodo orbitale	12 ore
Piano orbitale	55° sull'equatore
Vita media stimata	7,5 anni ciascuno
Costellazione	24/32 satelliti + 3 di scorta

I satelliti sono controllati da terra da una serie di attrezzature chiamate CS (*Control Segment*), composte da una stazione principale MCS (*Master Control Station*), sita a Colorado Springs, cinque stazioni di sorveglianza MS (*Monitor Station*) e tre stazioni di collegamento US (*Uplink Station*). La MCS tramite le MS, controlla il funzionamento generale del sistema e, mediante le US, manda ai satelliti i segnali per correggerne la posizione e tarare la perfetta calibratura dei quattro orologi atomici di cui ognuno è dotato, che sono le basi per poter determinare la posizione tridimensionale con la necessaria precisione.

7.2 Come funziona il GPS

Il concetto di base che regola il funzionamento del GPS è semplicissimo, mentre è estremamente complessa la tecnologia che permette di realizzarlo. Fondamentalmente l'operazione può essere suddivisa in cinque fasi:

7.3 Rilevamento della distanza dei satelliti

Il GPS funziona misurando la distanza che separa il ricevitore da un insieme di satelliti. Supponiamo di avere a disposizione tre satelliti che distano dal ricevitore rispettivamente 20.000, 22.000 e 24.000 Km. Se avessimo a disposizione il primo satellite potremmo solo sapere che la nostra posizione è un punto qualsiasi sulla superficie di una sfera avente per centro il satellite e di raggio 20.000 Km. Se invece i satelliti fossero due, potremmo determinare che ci troviamo su un punto qualsiasi di una circonferenza data dall'intersezione delle due sfere con centro sui satelliti e di raggio 20.000 e 22.000 km. Se invece i satelliti a disposizione sono tre, l'intersezione delle tre sfere descritte ci porterebbe a determinare solo due punti in cui ci potremmo trovare. I ricevitori GPS sono in grado, mediante opportuni algoritmi, di determinare quale dei due risultati è quello da scartare, e quindi ecco determinata la posizione. Altre ragioni di ordine tecnico impongono di avere a disposizione almeno quattro satelliti, anche se in teoria tre potrebbero bastare, mentre per conoscere la propria posizione per un oggetto sito sulla superficie terrestre potrebbero bastare due satelliti, visto che la terza sfera può essere assunta come quella rappresentata dalla terra stessa (ricevitori 2-d). Il principio che regola il funzionamento del GPS è tutto qui, resta però il complesso compito di metterlo in pratica. Vediamo come.

7.4 Misura della distanza dai satelliti

Il principio base per effettuare la misura si basa sull'equazione fondamentale $\text{spazio} = \text{distanza} * \text{tempo}$, e cioè: se un'auto viaggia a 150 km/h, quanto ha percorso in 3 ore? $150 * 3 = 450$ Km. Il GPS funziona misurando il tempo impiegato dal segnale emesso dal satellite per raggiungere il ricevitore. Sapendo che la luce viaggia a 300.000 km/sec, si può risolvere l'equazione. Poiché gli intervalli temporali in gioco sono brevissimi, è richiesta un'elevatissima precisione della misura temporale. Per ottenere una tale precisione si utilizzano orologi atomici montati a bordo dei satelliti. Il sistema è passivo, cioè non richiede alcuna sorta di interrogazione del satellite da parte del ricevitore. Per la misura del tempo, sia il trasmettitore che il ricevitore generano al loro interno una sequenza di codici binari (composti cioè da 0 e 1, segnale assente o presente) apparentemente casuale, che è sempre la stessa e che si ripete continuamente. L'inizio della sequenza avviene esattamente nel medesimo istante sia sul ricevitore che sul trasmettitore. Sul ricevitore vengono confrontati entrambi i segnali: misurando la differenza di tempo che intercorre tra parti di segnale identiche, si può risalire, con il metodo precedentemente descritto, alla distanza dal satellite (vedi figura 5 - che illustra la differenza di tempo intercorrente tra i segnali emessi dal satellite comparata con quelli del ricevitore). Con l'utilizzo di questo metodo di generazione dei segnali si può effettuare la misurazione in un qualsiasi momento, senza (soprattutto) dover far colloquiare singolarmente il satellite col ricevitore. I satelliti GPS emettono due tipi di segnali, chiamati *C/A* (*Coarse/Acquisition*) e *P* (*Precision*). Il primo è accessibile da chiunque (SPS, *Standard Positioning System*), mentre il secondo (PPS, *Precise Positioning System*) è riservato all'impiego militare. La precisione orizzontale ottenibile è dell'ordine dei 20 metri per il modo SPS (95% del tempo) e ancora inferiore col modo PPS (dopo la soppressione della *Selective Availability* nel Maggio 2000). La trasmissione utilizza due frequenze UHF: una per il modo PPS (L1 1575.42 MHz) ed entrambe per il codice P (L1 + L2 1227.6 MHz). Il segnale PPS viene emesso con una frequenza modulata di 1.023.000 impulsi/sec ed una struttura di 1023 impulsi, mentre il segnale PPS ha una frequenza modulata di 10.230.000 impulsi/sec ed una durata della sequenza che impiega una settimana a ripetersi. Utilizzando solo la sequenza PPS il segnale è estremamente difficoltoso a decifrarsi, visto l'altissimo numero di comparazioni che il ricevitore dovrebbe effettuare per trovare una parte del codice comune ad entrambi i segnali, mentre la sua frequenza più alta permette una migliore misurazione degli intervalli di tempo e quindi della precisione della misura. Invece il codice PPS, utilizzando una sequenza molto breve, è molto più semplice da elaborare per il processore del ricevitore, che impiega pochi microsecondi per comparare i segnali e misurare gli sfasamenti, tant'è che anche i ricevitori militari iniziano la misurazione con il modo SPS, per poi passare a PPS unicamente per avere una misura più precisa. Per effettuare le comparazioni, ovviamente, i ricevitori GPS usano lo stesso programma impiegato dai satelliti per costruire la sequenza di impulsi pseudo-casuale. I ricevitori militari necessitano inoltre di una chiave software per essere in grado di decifrare il codice P, tale chiave può avere durata di 6 settimane (CVW - *Crypto Variable Key*) o annuale (GUV *Group Unique Key*) Il segnale militare, inoltre, è trattato con modulazioni ed altri accorgimenti per proteggerlo da interferenze e disturbi (intenzionali o casuali). La resistenza ai disturbi è oggi una delle principali caratteristiche del segnale PPS utile ai fini militari, visto che con l'eliminazione della *Selective Availability* la precisione non è molto diversa tra i due sistemi.

7.5 I satelliti nello spazio

A questo punto il GPS è in grado di misurare la propria posizione rispetto ai satelliti, è però necessario che questi ultimi forniscano la propria posizione assoluta, in modo che il ricevitore possa calcolare infine la propria in termini di latitudine, longitudine ed altezza. I satelliti, infatti, trasmettono, oltre al segnale pseudo-casuale, la propria posizione. Anche quest'ultima deve essere estremamente precisa, e per fare ciò questi ultimi non sono stati posti su un'orbita geostazionaria, ma passano sopra la stazione di controllo 2 volte al giorno, sicché quest'ultima è in grado di valutare se la loro orbita è esattamente quella voluta. Una volta controllata la corretta posizione del satellite, eventuali correzioni vengono trasmesse da terra al satellite stesso, che potrà così aggiornare i dati di posizione che irradia.

7.6 La sincronizzazione

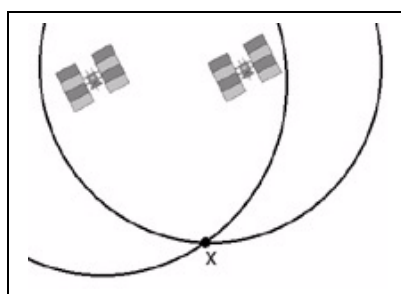


Figura 5

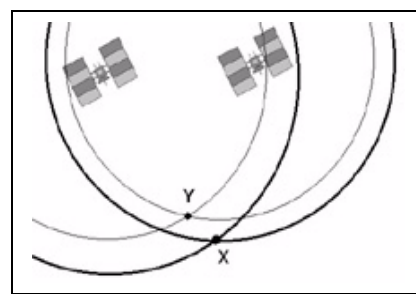


Figura 7

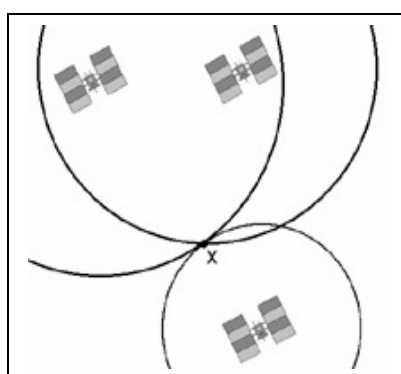


Figura 8

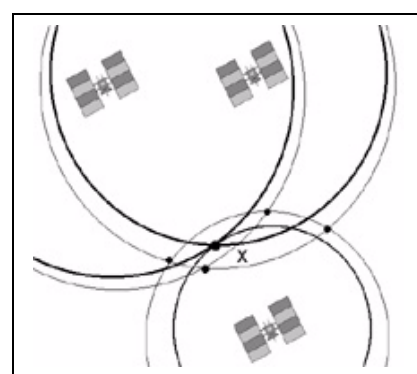


Figura 9

È quindi chiara l'estrema importanza che ha la sincronizzazione dei segnali generati sia dai satelliti che dai ricevitori. Questi ultimi, però, non possono usare gli stessi orologi atomici che usano i satelliti sia per ragioni di ingombro che di costo. Il problema viene risolto usando un semplice orologio al quarzo sui ricevitori, e il segnale di quattro satelliti; in tale modo, mediante le procedure di sincronizzazione qui descritte, sarà possibile correggere gli inevitabili errori dell'orologio del ricevitore. Per semplificare la spiegazione, supponiamo di dover operare su un piano, non nello spazio. In teoria, quindi, basterebbero i segnali di due satelliti per rilevare la posizione. Se non ci fossero imprecisioni nella misura del tempo, il punto X (figura 6) sarebbe individuato con esattezza, ma gli errori ci sono (vengono chiamati *time bias*), e supponiamo quindi che l'orologio del ricevitore sia in ritardo di 2 millesimi di secondo, e quindi la nostra posizione verrebbe falsamente indicata come corrispondente al punto Y (figura 7 - linee sottili). Tale ambiguità è risolvibile con l'impiego di 3 satelliti. Infatti, se non ci fossero errori, la posizione sarebbe quella del punto X (figura 8), ma per via del *time bias* si creerebbero diversi punti di intersezione (linee sottili - figura 9) errati. Il ricevitore si rende conto di questo fatto ed intraprende automaticamente un'azione correttiva consistente nell'aggiungere, o sottrarre, a tutti i segnali ricevuti un'uguale costante di tempo, fino a quando tutti i risultati dei punti di intersezione corrispondono ad un unico punto, e cioè quello corretto. Tale serie di calcoli correttivi non è effettuata a caso, ovviamente, ma uno specifico algoritmo permette al ricevitore di eliminare l'errore in pochi tentativi. È quindi evidente che nel caso di rilevazioni tridimensionali non basteranno 3 satelliti, ma sarà necessario avere a disposizione il segnale di almeno 4 di essi (l'algoritmo per la correzione del *time bias* è così perfezionato che in questo caso bastano 4 tentativi per correggere l'errore temporale).

7.7 GPS Differenziale

Per migliorare la precisione del sistema, in particolare nella navigazione marittima nei pressi dei porti, è stato introdotto il sistema detto "GPS Differenziale". Il principio di funzionamento è abbastanza semplice: una stazione ricevitrice GPS situata in un luogo la cui posizione è ben nota, confronta la sua posizione con quella ottenuta in quel particolare momento dal sistema GPS. Le discrepanze tra i due dati generano un segnale correttivo che viene irradiato da un trasmettitore terrestre locale. Per sfruttare questo segnale è necessario

disporre di un ricevitore adatto, collegato con un ricevitore GPS predisposto per funzionare anche con il segnale differenziale. Nel VDS non si sfrutta questa particolarità sia per il complesso impianto che richiede, che per lo scarsissimo numero di stazioni differenziali esistenti (peraltro posizionate in genere presso porti marittimi).

7.8 WAAS / EGNOS / MSAS

Per aumentare la precisione del sistema è stato inserito un ulteriore sistema che, al contrario del differenziale classico, è valido ovunque. Sono state disseminate in vari punti del globo delle stazioni di controllo. Di queste stazioni sono conosciute con precisione assoluta le coordinate geografiche (come nel differenziale classico), ed in ognuna di esse è posto un ricevitore GPS. Confrontando per ogni stazione i dati di posizione ottenuti dal sistema con quelli noti, è possibile calcolare, per quell'area, qual'è l'errore di posizione. Tali errori danno origine a diversi segnali di correzione che vengono inviati da alcuni particolari satelliti GPS, così un qualsiasi ricevitore abilitato a questa funzione potrà, in base a questi segnali correttivi, migliorare la sua precisione di un fattore (teorico) di 5 volte. Questo sistema prende il nome di WAAS (Wide Area Augmentation System) per la zona (ed i corrispondenti satelliti) americana, EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) per satellite e sistema con copertura europea, e MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) per l'Asia (Giappone in particolare). Questi sistemi, pure se separati tra loro, sono pienamente compatibili e i ricevitori in grado di utilizzare questa caratteristica possono sfruttare qualsiasi dei tre sistemi. Uno dei principali vantaggi di questo sistema è che non richiede, al contrario del differenziale classico, un ricevitore separato per i segnali correttivi, poiché un normale ricevitore GPS abilitato a questa funzionalità non ha bisogno di altro per poterla sfruttare. Tanto il sistema differenziale classico che il WAAS / EGNOS / MSAS servono principalmente a correggere gli errori dovuti alla propagazione ionosferica.

7.9 Precisione ed errori

Nonostante i sofisticatissimi sistemi impiegati, alcuni tipi di errore non sono completamente eliminabili, tant'è che anche nel modo *PPS* esiste un errore residuo, seppure di pochi metri, mentre nel modo *SPS* la precisione verticale è di circa un terzo inferiore a quella orizzontale (la differenza orizzontale/verticale è in parte dovuta al fatto che, verticalmente, il sistema considera la terra una sfera perfetta -WGS84-, mentre in realtà è un geode, non troppo diverso da una sfera, ma comunque diverso). La ragione di tale imprecisione è dovuta a diversi fattori, i principali sono:

7.10 Propagazione ionosferica

È dovuta alla variazione della velocità del segnale trasmesso quando esso attraversa strati atmosferici di diversa natura e spessore, la cui distribuzione è del tutto imprevedibile. Per risolvere tale inconveniente si sfrutta il fatto che la variazione della velocità del segnale è correlabile alla sua frequenza. Poiché il satellite trasmette i segnali usando due frequenze diverse, e tali segnali partono contemporaneamente, misurando le differenze di fase tra essi alla ricezione è possibile rilevare l'entità dell'errore e correggerlo pressoché completamente.

7.11 Errori di propagazione atmosferica

Sono dovuti alla variazione di velocità del segnale causata dall'umidità dell'aria, e, al contrario di quello relativo alla propagazione ionosferica, non è eliminabile con alcun artificio. Il suo valore medio è di 3,6 metri.

7.12 Errori di effemeride

Si devono al fatto che, nonostante le correzioni effettuate da terra, i satelliti non si trovano mai esattamente nella posizione desiderata, provocando un errore medio di 60 cm.

7.13 Errori dei ricevitori

Interferenze elettriche di varia natura (ad esempio effetti di *multipath* dati da riflessioni spurie dei segnali ricevuti) ed errori di precisione matematica durante il processo di correzione del *time bias* provocano errori molto grandi o estremamente piccoli. Quelli grandi sono evidenti e facilmente eliminabili dal ricevitore stesso, quelli piccolissimi invece restano, originando un'imprecisione media di 1,2 metri.

7.14 Errore degli orologi atomici

Per quanto essi siano precisi (circa $\pm 0,003$ secondi ogni mille anni!), ognuno di essi provoca un *time bias* diverso dagli altri, per cui la loro somma (non eliminabile poiché qui non è applicabile il metodo di correzione usato dai ricevitori) ammonta ad un valore medio di 60 cm.

7.15 Selective Availability

Per evitare che forze nemiche utilizzino il GPS per azioni ostili agli interessi USA, il DOD può, a proprio piacimento, introdurre artificialmente un errore nei segnali emessi dai satelliti, dotando nel contempo i propri ricevitori militari di opportuni algoritmi per la correzione di tale errore. L'entità media di questo errore è di 75 metri. È stata disabilitata il 1 Maggio 2000. Questo tipo di errore è ON/OFF in quanto la sua abilitazione non può essere specifica per certe aree, ma è valida ovunque, oppure no, per l'intero sistema. Molto improbabile che possa essere riattivato (nei futuri satelliti del sistema GPS III non è prevista la possibilità di attivarlo).

7.16 Diluizione della precisione

È dovuta alla disposizione geometrica dei satelliti. In effetti il segnale trasmesso equivale ad una corona circolare di piccolo spessore, per cui in realtà il rilevamento corrisponde ad un certo volume all'interno del quale si trova la posizione reale. L'entità del GDOP (*Geometric Dilution Of Precision*) è anche funzione della capacità del ricevitore di scegliere, tra i vari satelliti disponibili, quelli meglio posizionati. Nelle migliori condizioni l'errore va da 4 a 6.

8. Riferimenti

8.1 Terminologia

Il GPS è in grado di fornire altre informazioni, oltre a quelle di posizione e quota, ricavabili dalla comparazione tra rilevazioni successive, che hanno diversi nomi (vedi figura 6). Alcuni di essi sono:

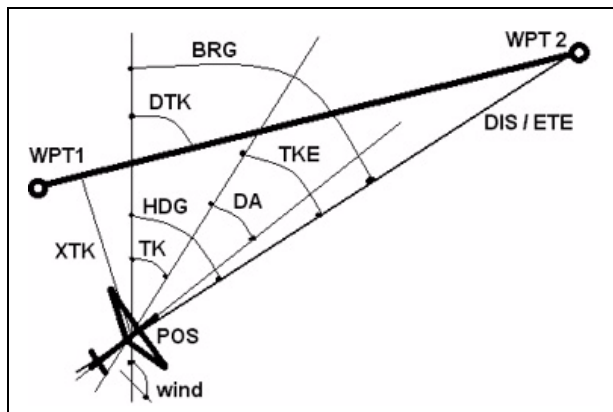


Figura 10

Nome	Descrizione
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i> : il tipo di mappa che divide la superficie terrestre in una serie di strisce appiattite. Tipicamente utilizzato sulle mappe militari o ad alta scala.
CDI	<i>course deviation indicator</i> : è un indicatore grafico dell'errore XTK.
BRG	<i>bearing</i> : l'angolo di rotta da seguire per raggiungere il WPT desiderato.
COG	<i>course on ground</i> : vedi HDG.
DA	<i>drift angle</i> : angolo di deriva.
DGPS	<i>Differential GPS</i> : GPS differenziale. Sistema per aumentare la precisione del GPS che si basa su dati di correzione emessi da un trasmettitore a terra. Richiede l'uso di particolari strumenti da collegare al GPS.
DIS	<i>distance</i> : distanza dalla posizione attuale al WPT desiderato.
DOD	<i>Department of Defense</i> : Dipartimento della Difesa USA (proprietario dei satelliti GPS).
DTK	<i>desired track</i> : rotta che unisce tra loro due WPT.
Ephemeris data	Segnale contenente indicazioni relative allo stato ed alla posizione della costellazione dei satelliti
ETA	<i>estimated time of arrival</i> : ora prevista d'arrivo.
ETE	<i>estimated time enroute</i> : tempo stimato per raggiungere il WPT selezionato dalla posizione corrente.
GS	<i>ground speed</i> : velocità al suolo.
HDG	<i>heading</i> : angolo di prua.
MOB	<i>Man Overboard</i> : Uomo in Mare. Funzione del GPS per tracciare una rotta immediata che riporta ad un punto appena sorvolato.
NMEA	Formato del protocollo usato dal GPS per fornire i dati di posizione correnti ad apparecchiature esterne.
POS	<i>position</i> : posizione, espressa in latitudine e longitudine o alto sistema di coordinate.
PPS	<i>Precision Positioning Service</i> : segnale GPS ad alta precisione disponibile solo per impieghi militari
Proximity alarm	Allarme di prossimità: il GPS avverte quando ci si avvicina entro un certo raggio a tale <i>waypoint</i>
SA	<i>Selective Availability</i> : degrado della precisione del segnale SPS artificialmente introdotto dal DOD per motivi di sicurezza nazionale
SOA	<i>speed of advance</i> : vedi VMG
SOG	<i>speed over ground</i> : velocità effettiva a cui ci si muove rispetto al suolo
SPS	<i>Standard Position Service</i> : segnale GPS a minor precisione disponibile per uso civile

TK	<i>track</i> : angolo di rotta che si ha in quel momento.
TKE	<i>track angle error</i> : l'angolo, considerato errato, tra BRG e TK.
Trackback	Funzione, basata sui punti del Tracklog, che permette di tracciare una rotta per ritornare al punto di partenza.
Tracklog	Memorizzazione de percorso effettuato sul GPS. SI utilizza anche per la funzione Trackback
TTG	<i>time to go</i> : vedi ETE
WIND	<i>vento</i> : provenienza ed intensità del vento.
WPT	<i>waypoint</i> (chiamato anche <i>landmark</i> - LMK): coordinate del punto noto selezionato.
XTK	<i>cross track distance</i> : la distanza laterale di cui è scostato il ricevitore dalla rotta desiderata.

8.2 Bibliografia

I testi disponibili per approfondire il discorso sono praticamente tutti in lingua inglese. Le librerie specializzate in pubblicazioni aeronautiche o marittime dispongono generalmente di questi testi. Tra i tanti segnaliamo:

A comprehensive guide to land navigation with GPS - Noel J. Hotchkiss - Alexis Publishing

8.3 Riferimenti Internet

Internet è certamente la miglior fonte possibile di informazioni sul mondo del GPS. Lo stesso DOD diffonde i notiziari relativi al funzionamento del sistema tramite la rete (in particolare, per i civili, la Coast Guard), ed è possibile trovare moltissimo software per la gestione dei ricevitori. Con una qualsiasi motore di ricerca sarà possibile trovare un'infinità di informazioni utili.