

# ***GSM/GPRS/GPS***



# *MANUALE DEL GPS*

**Revisione: 2.01**

settembre 2014

### Informativa

Dalla pagina principale <http://www.mywakes.com> anche senza essere registrati è possibile scaricare tutti i manuali e le brochures informative in formato PDF, ed utilizzare alcuni servizi molto utili.

Nelle mini-guide non vengono descritte le potenzialità e le caratteristiche tecniche dei singoli dispositivi ai quali sono dedicati gli appositi manuali, ma viene illustrato per singoli argomenti l'ambiente di lavoro e le potenzialità del servizio offerti da Cedac agli utenti MyWakes

Cedac si riserva di apportare modifiche al servizio ed al presente documento in qualunque momento senza darne preavviso.

### Copyright

Il presente documento contiene informazioni tecniche di proprietà esclusiva di Cedac Sistemi S.r.l. Produrre copia di questo documento per uso di altri marchi, oppure per l'utilizzo o la diffusione dei contenuti dello stesso senza espressa autorizzazione, sono proibiti.

\*\*\*\*\*

## Indice generale

1	Introduzione.....	3
2	Cosa è il GPS.....	4
2.01	Il GPS.....	4
2.02	Storia del GPS.....	4
2.03	Il sistema GPS.....	7
2.03	Le stazioni terrestri.....	9
2.04	Struttura tecnica della costellazione.....	12
2.07	Il funzionamento.....	14
2.08	I parametri.....	17
2.09	Le fasi.....	18
2.10	Dettagli tecnici.....	18
2.11	Errori nelle misure del GPS.....	20
2.12	Potenzialità.....	22
2.13	Galileo.....	23
2.14	Altri progetti di tracciamento.....	24
2.15	Limiti.....	24
2.16	Tipologie di ricevitori GPS.....	25
2.17	Tecnologie di supporto al GPS.....	26
2.18	Accoppiamento GPS - GSM.....	27
2.19	Velocizzare la prima localizzazione col gestore telefonico.....	27
2.20	Applicazioni straordinarie, ma ormai obsolete.....	28
3	Il GPS escursionistico.....	30
3.01	Tipologie di GPS escursionistici.....	30
3.02	Caratteristiche fondamentali del GPS escursionistico.....	31
3.03	Precauzioni.....	31
3.04	Progettare un percorso.....	32
3.05	Seguire un percorso.....	34

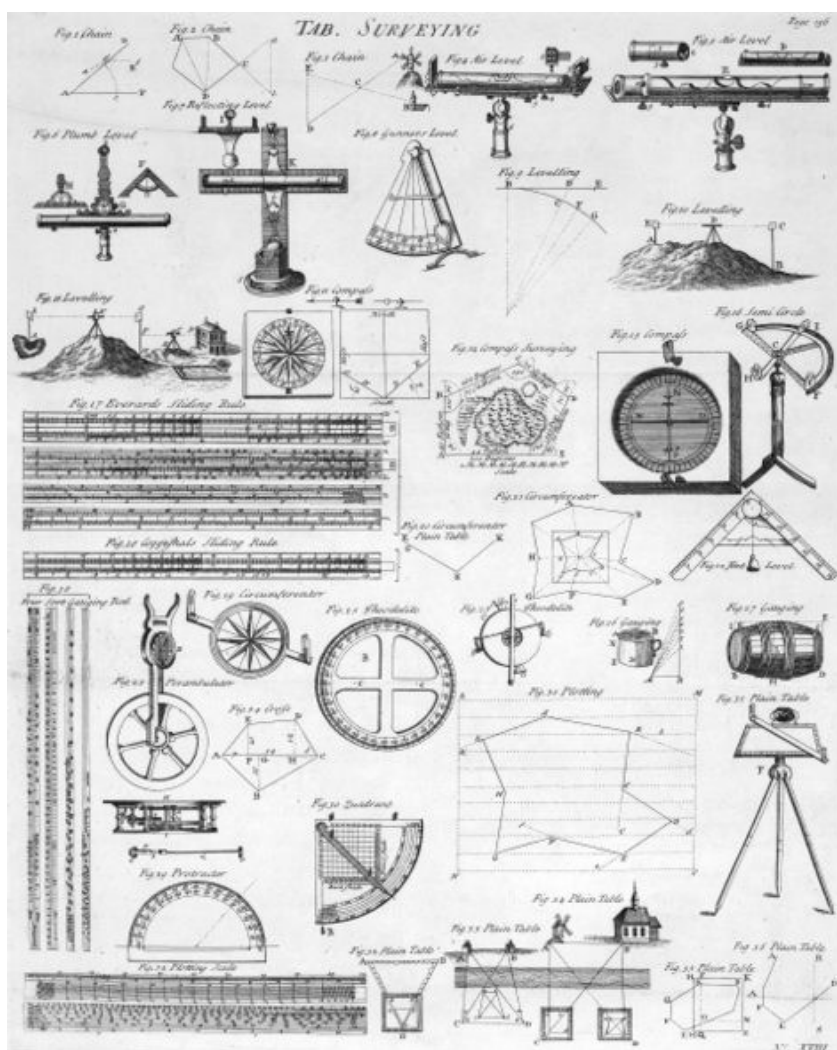
# 1 Introduzione

In molti paesi occidentali il GPS è ormai un accessorio immancabile per chiunque si sposti abitualmente, ed è considerato il “must” tecnologico del nuovo millennio, dopo il boom del telefonino.

Acquistare un GPS di qualunque genere e pensare di iniziarlo senza conoscere almeno in linee generali le caratteristiche di funzionamento dello strumento, affidandosi solamente alle brevi indicazioni dei manuali tecnici allegati od alle brochure pubblicitarie, comporta inesorabilmente un cattivo utilizzo dell'apparecchio o, nel migliore dei casi, un impiego solo parziale delle sue potenzialità.

Siamo abituati alla monotona ma rassicurante cantilena del "navigatore" automobilistico, ma consultare il piccolo schermo di un GPS portatile, ad esempio di supporto al lavoro professionale, al trekking o alla navigazione, nelle sue varie modalità, è sicuramente più complesso e disorientante, fino al punto di arrivare a rimpiangere la buona, vecchia mappa stampata.

E' proprio per questo che è stato redatto questo breve manuale di descrizione del sistema GPS.



## 2 Cosa è il GPS

### 2.01 Il GPS

Il GPS, acronimo di Global Positioning System, è stato sviluppato dal Dipartimento della Difesa americano che ne detiene tuttora il controllo. L'uso del sistema è completamente gratuito.

Le esigenze progettuali, che ne hanno storicamente determinato l'ideazione e poi lo sviluppo, furono quelle di fornire all'utente informazioni di estrema precisione sulla sua posizione tridimensionale, sulla velocità e sul tempo, a prescindere dal fatto che fosse fermo o in movimento ovunque si trovasse sulla terra o nei suoi pressi. Tutto ciò in ogni istante ed indipendentemente dalle condizioni meteorologiche.

Il primo vero prototipo del sistema GPS è stato realizzato negli anni 60 per consentire alla Marina Militare statunitense di usufruire di uno strumento di precisione diverso dalla bussola e dal sestante per navigare con sicurezza sugli oceani.

Questo sistema era costituito da cinque satelliti che permettevano alle navi di verificare ogni ora le proprie coordinate geografiche. Oggi, i navigatori satellitari consentono a chiunque e in ogni istante, di localizzare la propria posizione con un errore di pochi metri, scarto irrilevante nell'ambito sia dei trasferimenti terrestri, sia ovviamente di quelli aerei e marittimi. Gli attuali dispositivi in ambito militare invece garantiscono una precisione molto più elevata, con un margine di errore di pochi centimetri.

Di tutti i sistemi attualmente esistenti, il **NAVSTAR-GPS** (Global Positioning System) statunitense è l'unico sistema satellitare globale per la navigazione pienamente operativo ed in grado di fornire un servizio di posizionamento geo-spaziale a copertura totale. L'Unione Europea sta sviluppando un proprio sistema GPS, denominato **GALILEO**, che sarà operativo dal 2013. La Cina dispone di un sistema a copertura locale, che si potrebbe espandere a livello globale, mentre la Russia sta ripristinando il sistema **GLONASS**.

### 2.02 Storia del GPS

#### Date recenti

**1991:** Gli USA aprono al mondo il servizio GPS con specifiche differenziate da quello militare. Vengono introdotti errori intenzionali nei segnali satellitari allo scopo di ridurre l'accuratezza della rilevazione, consentendo precisioni solo nell'ordine di 100-150 m.

**2000:** La degradazione del segnale viene disabilitata, mettendo così a disposizione la precisione attuale di circa 10-20 m. Nei modelli per uso civile è presente un dispositivo che inibisce il funzionamento ad altezze e velocità superiori a determinati valori, per impedirne il montaggio su missili improvvisati.

Ma l'intuizione teorica del posizionamento satellitare globale è datata 1940, in piena guerra mondiale e diciassette anni prima della messa in orbita dello Sputnik 1, il primo satellite artificiale della storia. La progettazione del sistema GPS parte ufficialmente nel 1963, ma già nel 1957-1958 si trovano tracce dei primi esperimenti doppler svolti a terra. Il progetto, finanziato dal Dipartimento della

Difesa USA e classificato top secret per 15 anni, prende quindi il via in maniera consistente durante la Guerra Fredda per scopi esclusivamente militari. La sola fase di progettazione del sistema GPS ha richiesto quasi 16 anni, fondamentalmente a causa del fatto che, a quell'epoca, i progettisti avevano individuato soluzioni tecnologiche ed infrastrutturali molto evolute, ma che nella realtà non erano ancora state sviluppate o affinate. Il primo satellite GPS viene messo in orbita nel 1978.

E' innegabile che lo sviluppo tecnologico ha quasi sempre tratto importanti benefici e forti accelerazioni dalle ricerche in campo militare. La principale necessità che ha dato il vero impulso ai progetti di posizionamento satellitare è stata quella di elevare la precisione dei missili a medio raggio, superando gli inconvenienti delle guide elettroniche puntate sull'obiettivo mediante giroscopi, ed i limiti dei calcoli balistici condizionati da una quantità enorme di fattori. E' proprio a seguito delle tecnologie di posizionamento satellitare che nascono i cosiddetti "bombardamenti chirurgici". Nel medesimo ambito, altri scopi primari erano quelli di coordinare i movimenti delle truppe sul territorio nemico, e guidare le segretissime testate atomiche "fantasma", che durante la guerra fredda erano alloggiate in appositi silos in costante movimento negli oceani.

E' poco noto che ci sono stati molti sistemi precursori e/o alternativi del GPS (es. Landmark, Omega, Satnav, Loran, ecc.). Questi sistemi, pur limitati e grossolani, hanno però contribuito a generare esperienze determinanti per lo sviluppo e l'affinamento del NAVSTAR-GPS.

L'investimento complessivo connesso alla progettazione e all'avvio del sistema GPS è stato stimato nell'ordine dei 28.000 miliardi di vecchie lire (non attualizzate). All'investimento iniziale vanno poi aggiunti 400 milioni di euro all'anno per la gestione ordinaria effettuata da terra, ed i 7 miliardi di euro necessari al completo rinnovo della costellazione satellitare circa ogni sette anni e mezzo.

Nell'anno 1994, con il completamento della seconda versione del GPS (denominata "Block Two" 1989-1994), il governo USA decide di rendere pubblici i parametri di accesso, per sfruttare il sistema a livello civile sul solo canale radio L1 (altresi noto come canale civile GPS 1,57Ghz). La guerra fredda è un ricordo abbastanza lontano e anche la "Desert Storm" è ormai archiviata.

In questi anni la potenza della macchina bellica USA è ai vertici mondiali, mentre quella russa è in sfacelo, quella cinese non desta particolari preoccupazioni e lo scacchiere arabo è relativamente tranquillo. E' uno dei pochi periodi del secolo scorso in cui il pianeta non è interessato da guerre su vasta scala e non si registrano rilevanti tensioni sul piano internazionale. Nonostante ciò, la decisione del governo americano giunge inattesa e non poco sorprendente.

Il 1994 segna quindi l'inizio ufficiale della grande esperienza del GPS civile, con ogni probabilità il più vasto, sofisticato e complesso sistema tecnologico sociale permanente mai creato dal genere umano, e punto di svolta epocale nella sicurezza aerea e marittima.



## 2.03 Il sistema GPS

Il funzionamento del sistema GPS, si basa sull'interazione di tre parti fondamentali in cui è articolato il sistema, detti "segmenti":

1. Segmento spaziale (**Space Segment**): 24 satelliti (trasmettitori)
2. Segmento di controllo (**Control Segment**): 5 stazioni di controllo e coordinamento a terra
3. Segmento utente (**User Segment**): milioni di ricevitori GPS

### Segmento spaziale

Il segmento spaziale consiste di 24 satelliti (trasmettitori) in orbita geostazionaria attorno alla Terra, equipaggiati con orologi di elevata precisione e stabilità (orologi atomici) sincronizzati. Attualmente ci sono 31 satelliti attivi.

Caratteristiche dei satelliti:

- Orbite geostazionarie circolari di 20.200 km di raggio (disposti su 6 piani orbitali inclinati di 55°, con almeno 4 satelliti ciascuno) con periodi di rivoluzione di 12 ore;
- Distribuzione dei satelliti tale da garantire la visibilità di almeno 6 satelliti in qualsiasi momento e da qualsiasi parte del pianeta.
- Equipaggiamento con orologi atomici al cesio ad elevata precisione.
- Invio continuo di un segnale radio che contiene dati "tempo" e "posizione", su due diverse bande.

### Segmento di controllo

Il segmento di controllo è composto da 5 stazioni ospitate da basi militari USA:

- 1 centro di controllo principale che presiede al governo del sistema (Master Control Station) a Colorado Springs (USA);
- 4 stazioni di monitoraggio secondarie (Monitor Stations), che hanno la funzione di coordinare e verificare continuamente l'affidabilità dei dati trasmessi dai satelliti, disposte in modo da garantire che ogni satellite sia "visibile" da almeno una stazione in ogni momento :
  - isole Hawaii (Oceano Pacifico),
  - isola di Ascensione (Oceano Atlantico),
  - isola Diego Garcia (Oceano Indiano),
  - isola di Kwajalein (Oceano Pacifico).

Le stazioni ricevono e trasmettono ai satelliti i parametri necessari per la correzione di ciascuna orbita (effemeridi). Tali parametri sono calcolati a terra dalle stazioni di controllo stesse per poter essere ritrasmessi agli utenti.

### Segmento utente

Il Segmento Utente consiste nel ricevitore GPS, che in base ai dati ricevuti effettua il calcolo della sua posizione sul globo terrestre.

Ogni ricevitore GPS è equipaggiato con:

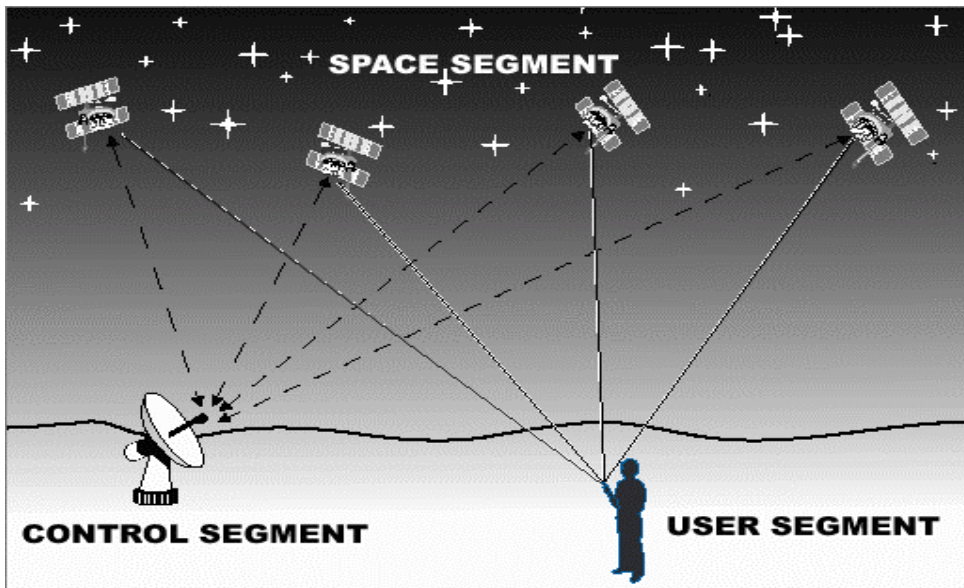
- antenna, in grado di captare il segnale radio trasmesso dai satelliti
- processore dei dati ricevuti dai satelliti
- orologio ad alta precisione

Componenti opzionali sono:

- display per la visualizzazione e gestione dei dati

- sistema di interfacciamento (in tempo reale o a posteriori) con PC che gestisce i dati dei rilevamenti
- dispositivi per il collegamento con altri ricevitori, necessari per la correzione differenziale

Esistono diversi tipi di ricevitori, che si distinguono sulla base delle precisioni ottenibili ed alle funzioni accessorie in base alle applicazioni operative cui sono destinati.





### 2.03 Le stazioni terrestri

Il sistema GPS si avvale di stazioni terrestri di supporto, dislocate sul globo lungo la cintura equatoriale e sul territorio USA, in aree sotto il diretto controllo americano.



L'isola di Ascensione (Ascension Island) è un'isola dell'Oceano Atlantico meridionale, situata poco a Sud dell'Equatore a 1.600 km dalla costa dell'Africa. L'isola, che è difficilmente accessibile e scarsamente abitata, ospita l'aeroporto militare di Wideawake, utilizzato dalla Royal Air Force e dalla United States Air Force. Per la sua posizione geografica ha rivestito in molteplici occasioni un ruolo strategico, in particolare nel corso della guerra delle Falkland.

oooooooooooooooo

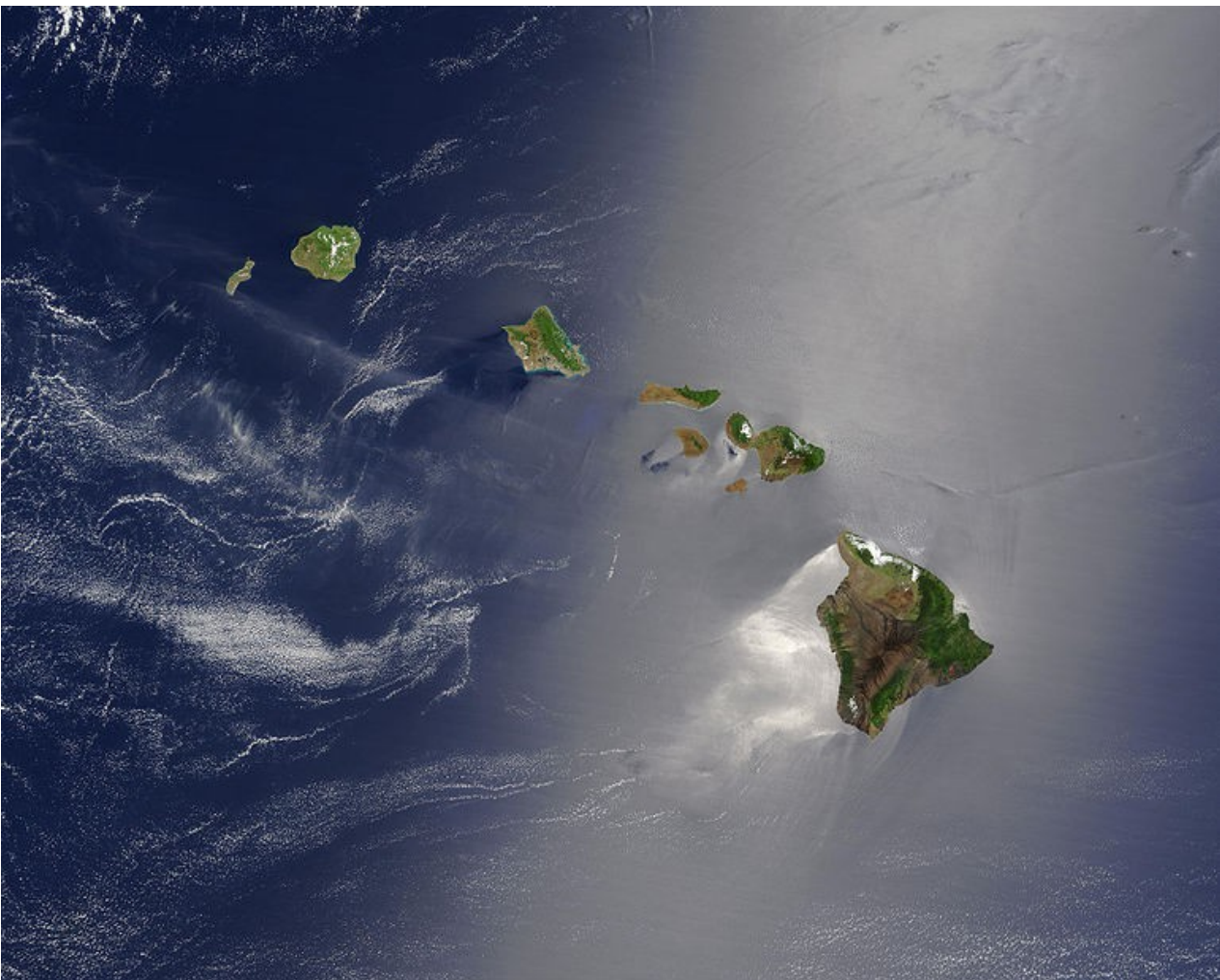


L'isola Diego Garcia, fa parte di un piccolissimo atollo corallino sub-tropicale, situato in area

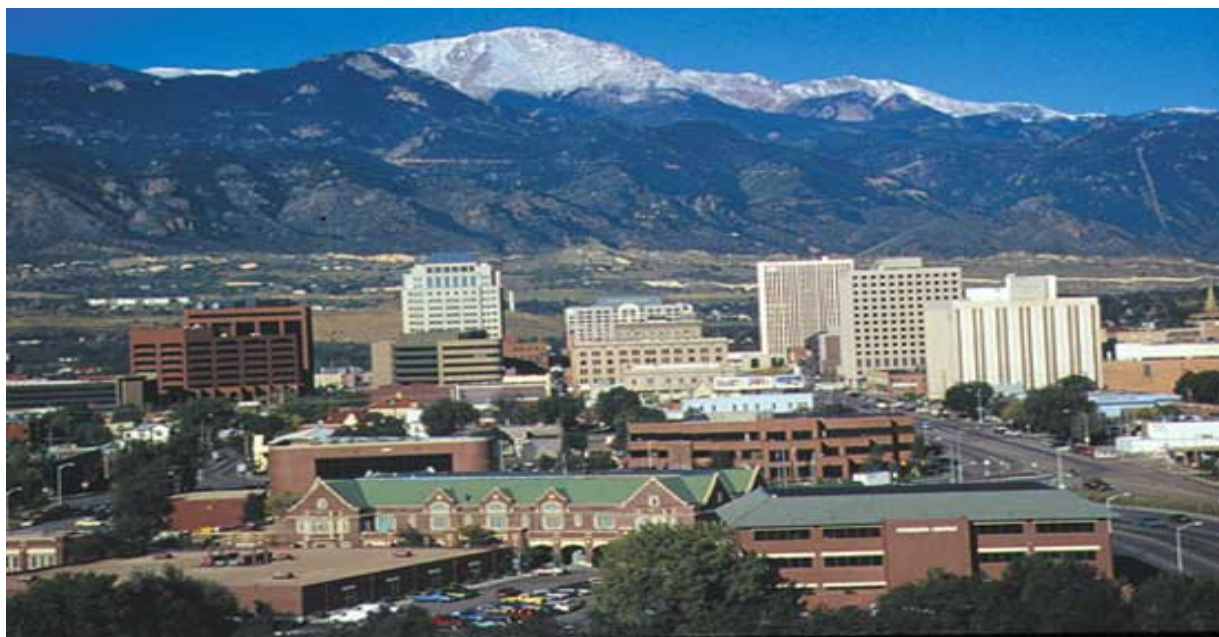
equatoriale nel centro dell'Oceano Indiano in territorio britannico. L'atollo si trova a circa 1.970 miglia nautiche ad est della costa d'Africa (Tanzania), 967 miglia nautiche a sud-sud-ovest della punta meridionale dell'India (Kanyakumari) e 2.550 miglia nautiche a ovest-nord-ovest della costa occidentale dell'Australia (a Cape Range National Park).



l'isola di Kwajalein è la più grande e più meridionale di un atollo corallino composto da circa 97 isole con altezza media s.l.m. di soli 1,5 mt, situato nel pacifico poco a nord dell'Equatore a 2.100 miglia a sud-ovest di Honolulu (isole Hawaii). L'atollo è posto ai margini dell'enorme arcipelago delle Isole Marshall in Micronesia australiana, area in cui, tra il 1946 e il 1958, gli Stati Uniti condussero numerosi test sulle armi nucleari, incluso il test più grande mai condotto nel vicino atollo di Bikini.



L'arcipelago delle Hawaii.



Colorado Springs è una città del Colorado, nel pieno centro del territorio degli Stati Uniti nella parte orientale delle Montagne Rocciose, a circa 68 miglia da Denver, la capitale. A Colorado Springs si trovano diverse installazioni militari e molte agenzie della Difesa Nazionale, come quella della difesa missilistica. In questa zona è collocata la stazione di controllo master dell'intero segmento GPS che presiede al governo del sistema (Master Control Station).

#### *2.04 Struttura tecnica della costellazione*

Il sistema GPS è attualmente composto da 24 satelliti operativi e vari satelliti latenti (vere e proprie "ruote di scorta" utilizzati come supporto e backup) della classe NAVSTAR - Blocco 2A-2As.

Il produttore dei satelliti del blocco 2A fu la Rockwell International. I satelliti del blocco 2A sono stati gradualmente sostituiti nel corso del 2004-2006 da nuovi satelliti (2As), commissionati questa volta alla Lockheed Martin. Una delle caratteristiche peculiari del sistema GPS è quella di essere costantemente al passo con l'evoluzione tecnologica grazie al periodico rinnovo della costellazione, poiché la vita media di un satellite GPS è di circa 7 anni e mezzo.

I satelliti GPS orbitano esattamente a 20.197 km. dalla Terra, poco più della metà della distanza per raggiungere l'orbita geostazionaria (quindi non sono satelliti geostazionari), con un piano orbitale di 55° sull'Equatore, ed impiegano circa 12 ore per compiere un'orbita completa con una velocità di spostamento riportata al suolo terrestre di circa 3.000Km/h, e una velocità sul piano dell'orbita di circa 13.000Km/h. Questo vuol dire che se dalla Terra potessimo osservare un qualunque satellite, lo vedremmo "muovere" lungo la sua orbita ed effettuare ogni giorno due interi giri intorno al pianeta. Al contrario, un satellite geostazionario ha come caratteristica quella di apparire "fermo" rispetto alla superficie terrestre. Questo spiega perché per vedere la televisione satellitare, che utilizza satelliti geostazionari, vengono utilizzate parabole che puntano sempre la stessa zona di cielo e che quindi non vanno continuamente orientate.

L'attrazione gravitazionale della Luna, le lievi irregolarità della Terra (che sappiamo non essere perfettamente sferica, bensì geoidale), ed altri influssi minori, possono generare lievi differenze fra l'orbita pianificata e quella reale, tali da poter compromettere il delicatissimo equilibrio di precisioni su cui si basa il sistema GPS. Per questo motivo i sei piani orbitali della costellazione sono costantemente monitorati da un "Bureau tecnico" nell'ambito del Dipartimento della Difesa USA, che assicura la precisione centimetrica di distanze orbitali che sono dell'ordine di migliaia di chilometri.

Perché un GPS sia in grado di misurare la propria posizione rispetto ai satelliti, è assolutamente necessario che questi ultimi forniscano con estrema precisione la propria posizione assoluta, in modo che il ricevitore possa calcolare infine la propria in termini di latitudine, longitudine ed altezza.

Passando sopra ogni stazione di controllo 2 volte al giorno, ognuna è in grado di valutare e correggere le coordinate di posizione del satellite che vengono trasmesse da terra al satellite stesso, che potrà così aggiornare i dati di posizione che irradia.

I cinque centri di controllo a terra, sono perciò preposti alla cura dei sincronismi temporali e dei parametri di navigazione detti "Almanac", la cui manutenzione è un fattore chiave per il buon funzionamento del sistema GPS, insieme alla cura dei piani orbitali.

La gamma di trasmissione radio del GPS civile (1,57542Ghz L1 Coarse acquisition) e la trasmissione digitale di tipo "spread-spectrum", sono state scelte sapientemente e si sono rivelate scelte vincenti.

1,6Ghz è una gamma radio non particolarmente elevata, che si trova sopra il limite entro il quale le radio-trasmissioni dallo spazio possono essere fortemente condizionate da elementi ionosferici e troposferici e sotto al limite oltre il quale un'onda radio diviene eccessivamente sensibile agli ostacoli ambientali e relative riflessioni.

Ogni ricevitore GPS è in grado di operare una sorta di ricostruzione e di verifica delle informazioni ricevute mediante appositi algoritmi. Ciò consente di sopperire a segnali radio spesso deboli e/o discontinui mediante l'auto-generazione delle parti di informazioni non ricevute. In termini estremamente semplificati possiamo dire che quando non sono disponibili tutti i pezzi del puzzle, mediante determinati algoritmi un ricevitore GPS individua quali sono i pezzi mancanti e li "ricostruisce", ponendoli nella giusta posizione per ottenere il miglior quadro di insieme.

Quanto detto ha favorito il sistema GPS su due fronti: sia la messa a punto e l'ingresso in commercio di micro ricevitori GPS compatti dal costo ridotto, sia l'utilizzo di antenne riceventi di dimensioni incredibilmente contenute, considerando che devono captare segnali satellitari. Tali antenne, pur presentando una contenuta direttività, ricevono correttamente segnali radio "spread spectrum" deboli e instabili, la cui direzione di provenienza varia continuamente.

Il servizio che offre il GPS è basato su calcoli geometrici aventi come punto di riferimento "rette virtuali" la cui lunghezza viene calcolata prendendo come riferimento la velocità di propagazione delle onde radio (in pratica la medesima velocità della luce = 300.000Km/s). La precisione temporale è invece affidata ad orologi atomici, unici sistemi attualmente a disposizione in grado di assicurare precisioni nell'ordine dei nanosecondi.



Quelli dell'attuale costellazione sono satelliti relativamente piccoli dato che, con i due pannelli solari completamente distesi, misurano meno di 7 metri di apertura.

Attualmente ogni satellite GPS integra anche un particolare "occhio elettronico" in grado di rilevare e segnalare immediatamente un'esplosione nucleare sulla superficie terrestre.

### 2.07 Il funzionamento

La costellazione dei satelliti, come numero e collocazione, è predisposta in modo tale da garantire in qualunque ora della giornata ed in qualunque luogo della terra la visione di almeno 4 satelliti.

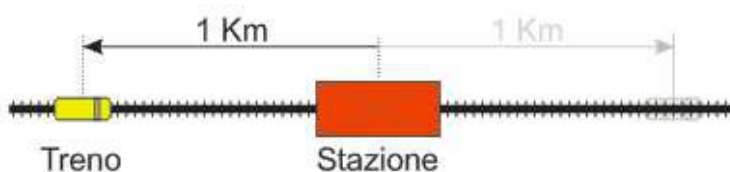
Sapendo esattamente dove si trovano i satelliti possiamo determinare con esattezza in ogni istante la nostra posizione, a patto di conoscere a che distanza ci troviamo da ogni satellite ricevuto.

Questo processo si chiama "trilaterazione".

Per meglio comprendere come funziona la trilaterazione, partiamo da un esempio più semplice ed intuitivo.

Ipotizziamo un "binario ferroviario" sul quale e' collocata una stazione, ed immaginiamo di essere su un treno fermo in una posizione qualunque del binario.

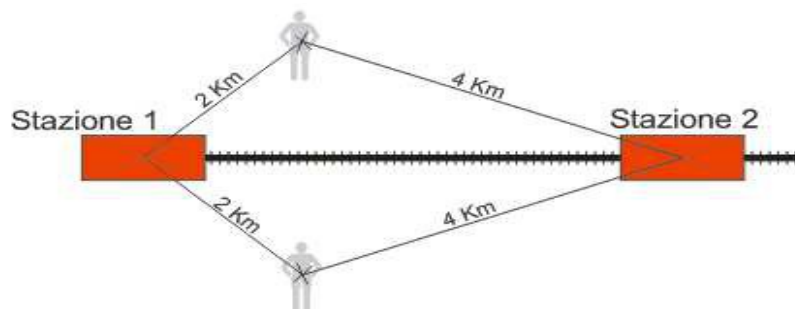
Se conosciamo la posizione della stazione e a che distanza ci troviamo dalla stazione stessa, non siamo ancora in grado di sapere con esattezza la posizione del nostro treno. Questo perché potremmo trovarci 1 km prima o 1 km dopo la stazione.



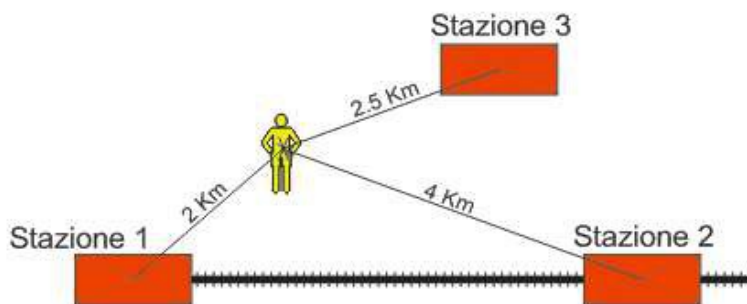
Se però portiamo a due il numero di stazioni, con lo stesso tipo di informazioni e' possibile determinare esattamente la nostra posizione. Infatti, nell'esempio del disegno sottostante, sapendo dove si trovano le due stazioni e la nostra distanza da ciascuna di esse, ad esempio 1 km dalla stazione 2 e 3 km dalla Stazione 1, siamo in grado di conoscere la posizione del nostro treno, come dimostra questo disegno.



Complichiamo la situazione descritta in precedenza ed abbandoniamo il treno (che e' limitato al binario), per muoverci a piedi in un punto qualunque nei pressi delle due stazioni. Sapere dove si trovano le due stazioni e a che distanza ci troviamo da ciascuna di esse nuovamente non e' più sufficiente per determinare in modo univoco la nostra posizione. Infatti, come dimostrato dal disegno sottostante, esistono due diversi punti che distano 2 Km dalla stazione 1 e 4 km dalla stazione 2 ).

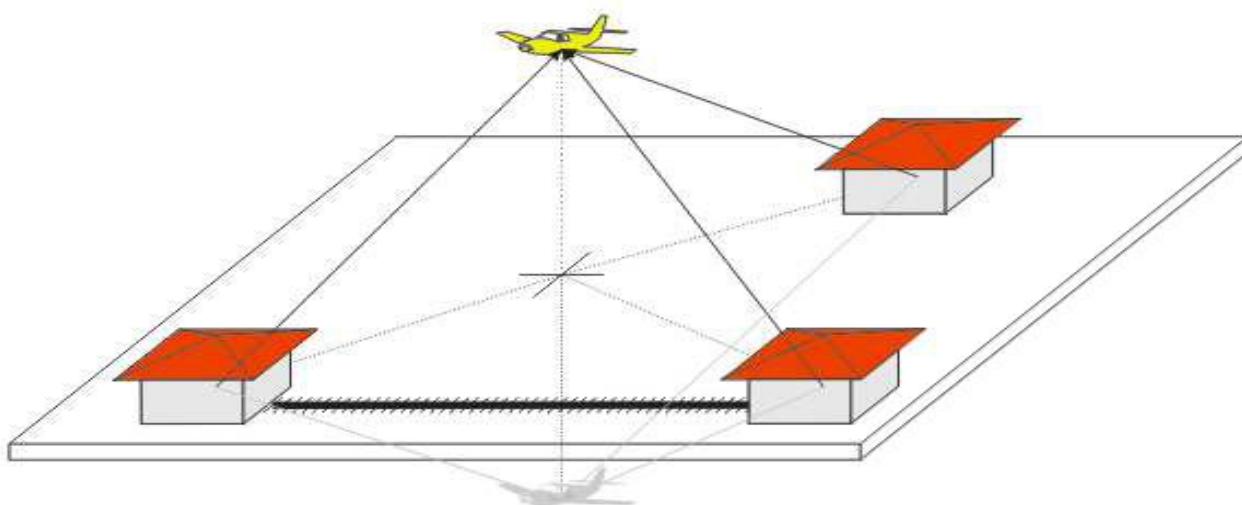


Per sapere con esattezza dove siamo, abbiamo perciò bisogno di una "terza stazione". In questo modo conoscendo la distanza da tutte tre le stazioni siamo in grado nuovamente di sapere esattamente dove ci troviamo. Questo metodo di localizzazione che utilizza tre riferimenti si chiama "**triangolazione**".



In modo analogo se fossimo su un aereo, la triangolazione funzionerebbe ancora, ma se volessimo conoscere oltre alla posizione in pianta, anche l'altitudine dell'aereo ci servirebbe una "quarta stazione" collocata ad una quota differente rispetto alle precedenti.

Dal disegno sottostante si può vedere che utilizzando solo tre stazioni possiamo ottenere due diverse altezze: una al di sopra del piano e una al di sotto.



Da questo esempio possiamo capire come mai sia necessario vedere sempre almeno "quattro satelliti" e come mai, se per qualche motivo ne riceviamo solo tre, continuiamo a sapere dove ci troviamo ma perdiamo l'informazione relativa all'altezza.

Questo procedimento si chiama "**trilaterazione**", ed è proprio quello utilizzato dal GPS.

Nella realtà, un GPS riceve segnali da più di quattro satelliti contemporaneamente, ed effettua una media tra essi a gruppi di quattro, per ricavarne con maggior precisione la sua posizione.

### Distanza dai satelliti

Per conoscere la distanza del GPS da ogni satellite il sistema usato è abbastanza semplice.

A bordo di ogni satellite è installato un orologio atomico al rubidio, che rappresenta il miglior compromesso tra precisione/volume/peso, ed una volta ogni secondo ognuno dei satelliti trasmette via onde radio l'ora esatta. Il margine di errore di un orologio atomico è inferiore ad un secondo ogni centomila anni e la sua definizione è al milionesimo di secondo. L'ora trasmessa dai satelliti GPS si riferisce sempre al meridiano di Greenwich ed è definita "G.M.T." (Greenwich Meridian Time).

Le onde radio non si propagano istantaneamente, quindi il segnale orario arriva al nostro ricevitore GPS con un certo ritardo, poiché percorre circa 20.000 km prima di raggiungere il GPS. Misurando con un orologio di precisione questo ritardo, e sapendo a che velocità viaggia un segnale radio, è possibile calcolare la strada percorsa dal segnale stesso, e quindi la distanza da ogni singolo satellite.

Un ricevitore GPS è in grado quindi di calcolare, per ciascuno dei satelliti visibili, il tempo intercorso dall'istante di trasmissione del segnale a quello di ricezione (tempo di volo). Dato che la velocità di propagazione del segnale radio è pari a quella della luce ( $c = 300.000 \text{ km/s}$ ), è possibile risalire alla distanza da ciascun satellite. Ne consegue che è necessario sapere con precisione l'istante di tempo in cui il segnale viene trasmesso dal satellite e misurare l'istante d'arrivo al ricevitore mediante l'uso di orologi estremamente precisi ed esattamente sincronizzati.

Non potendo disporre di orologi ad altissima precisione anche a bordo dei ricevitori GPS, per risolvere l'ambiguità nella determinazione della posizione ottenuta per trilaterazione (distanze, o meglio pseudo-distanze, del GPS da quattro satelliti), si utilizza una quarta misura che indica di quanto l'orologio del ricevitore si discosta (deriva) rispetto a quelli di riferimento dei satelliti nello spazio.



Un ricevitore GPS è quindi un semplice insieme di tre componenti:

- una radio ricevente per ricevere i segnali orari generati dai vari satelliti.
- un orologio/cronometro per misurare il ritardo di arrivo dei segnali orari ricevuti.
- una calcolatrice che, una volta al secondo, effettua i calcoli necessari a ricavare la posizione.

Un ricevitore GPS è quindi un elemento passivo poiché sfrutta le informazioni generate dai satelliti senza trasmettere o scambiare informazioni con il sistema stesso. Questo è anche il motivo per cui non esiste un limite al numero di utilizzatori del GPS, in quanto ogni nuovo ricevitore non consuma risorse, proprio come avviene per le radio FM, dove il numero di apparecchi sintonizzati su una stazione radio non interagisce con il funzionamento della stazione stessa e di tutti gli altri apparecchi.

## 2.03 I parametri

### Longitudine e Latitudine

Il completamento delle operazioni di calcolo avviene attribuendo "sequenze numeriche universali univoche" all'intersezione individuata (in pratica le famose coordinate "Longitudine" e "Latitudine"). I meridiani terrestri sono linee immaginarie che congiungono i due Poli e suddividono idealmente il globo in "spicchi". La longitudine, esprime quanto si sia ad Est o ad Ovest rispetto ad un meridiano particolare, il meridiano di Greenwich (che passa per Londra). Ad esempio 5°47' Est.

I paralleli terrestri sono cerchi immaginari paralleli all'Equatore che suddividono idealmente il globo in "fette". La latitudine, indica quanto si sia a Nord o a Sud rispetto ad un parallelo particolare, l'Equatore. Ad esempio 45° Nord.

Ogni punto sulla Terra è descritto univocamente da questa coppia di numeri. Ad esempio: Latitudine -8.639298, Longitudine, 116.311607 indica la posizione di Lombok, in Indonesia.

È molto importante il formato con cui vengono mostrate le coordinate geografiche sul display dello strumento. I sistemi più usati sono i due tipi di gradi (sessagesimali o centesimali), oppure con il sistema UTM. Questa impostazione dipende dal tipo di cartina su cui si effettueranno con i dati dei rilievi i riscontri di percorso. Nelle cartine a basso formato (generalmente con scala maggiore di 1:75.000) si utilizzano normalmente i gradi, mentre con cartine militari a scala più alta (generalmente con scala=1:50.000), si utilizzerà il sistema UTM. In questo caso bisogna ricordare che l'Italia è inquadrata 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 nello strumento visualizzare, memorizzare o trasformare i punti con qualsiasi sistema.

Coordinate nei 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

## 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 in miglia o chilometri, 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.

## 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 una cartina a mano, 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 reale della bussola.

### 2.09 Le fasi

Il funzionamento di un GPS si divide in due fasi distinte: l'acquisizione del primo punto (First Fix) ed il funzionamento successivo, a regime. Appena acceso lo strumento inizia l'esplorazione dei segnali che è in grado di ricevere dai satelliti, in modo da poter calcolare dove è situato sulla superficie terrestre, per poi passare, ad "aggancio effettuato", al funzionamento normale. La facilità della prima acquisizione dipende da quanto si è spostato lo strumento dall'ultima volta che è stato "spento", e da quanto tempo è passato.

Questo dipende da un meccanismo di memorizzazione della situazione satellitare introdotto per velocizzare la fase di accensione. Per questo motivo si distingue una accensione **"a freddo"** da una **"a caldo"**, ed i termini distinguono molto significativamente la difficoltà dell'operazione.

Una partenza "a caldo" significa che il tempo per avere il Fix sarà di qualche minuto (a volte pochi secondi), mentre una "a freddo" può impiegare molto di più. Per la primissima accensione all'apertura della confezione, è necessario attuare la procedura di inizializzazione dello strumento, che significa calcolare una posizione iniziale da cui esso possa effettuare un "reset" completo ed impostare l'orologio del GPS con la data e l'ora corrette.

## Fuso orario

Oltre ad una corretta impostazione dell'ora, l'inizializzazione del sistema imposta sul ricevitore GPS il corretto fuso orario. Normalmente lo strumento indica l'ora universale (UTC), la quale costringe però ad effettuare a mente il calcolo per riportarsi al tempo effettivo. Per la lettura dell'ora corretta secondo il fuso orario Italiano, lo strumento va impostato nel periodo dell'ora solare con +1 h rispetto all'UTC, e +2 h durante l'ora legale. Altre possibili indicazioni di taratura per il fuso orario italiano possono essere GMT+1 e GMT+2, oppure CET o MET.

### 2.10 Dettagli tecnici

Ogni satellite GPS diffonde in modo continuativo un messaggio di navigazione a 50 bit al secondo, con una frequenza portante a microonde su due frequenze : L1=1575.42 Mhz ed L2=1227.60 Mhz.

Come termine di paragone, la radio FM è diffusa tra 87,5 e 108 Mhz, mentre le reti Wi-Fi operano a circa 2400 - 5000 Mhz.

Il segnale GPS fornisce il "tempo della settimana" esatto in base all'orologio atomico presente all'interno del satellite, nonché il numero della settimana GPS e un report sullo stato di funzionamento del satellite stesso, in modo che quest'ultimo possa essere ignorato in caso di guasto. Ogni trasmissione dura 30 secondi e contiene 1.500 bit di dati crittografati. Questa piccola quantità di dati è codificata con una sequenza pseudo-casuale (pseudo-random, PRN) ad alta velocità diversa per ogni satellite. I ricevitori GPS conoscono i codici PRN di ciascun satellite e sono quindi in grado non solo di decodificare il segnale, ma anche di distinguere i diversi satelliti.

Le trasmissioni sono sincronizzate in modo da iniziare esattamente in corrispondenza del minuto e del mezzo minuto, in base all'orologio atomico del satellite. La prima parte del segnale GPS comunica al ricevitore la relazione tra l'orologio del satellite e l'ora GPS, mentre la successiva porzione di dati fornisce al ricevitore informazioni precise sull'orbita del satellite

Il segnale GPS ha tre componenti che servono per effettuare diversi tipi di posizionamento:

1. Ciascun satellite invia un proprio segnale
2. Attraverso la modulazione di ampiezza, vengono generati diversi codici (componente impulsiva):
  - **codice C/A** (Coarse acquisition), modula la sola portante L1
  - **codice P** (Precision), modula entrambe le portanti ed è riservato ad usi militari (criptato prende il nome di codice Y).
3. Ogni satellite invia anche un **messaggio D** che contiene importanti informazioni, quali le effemeridi dei satelliti (parametri orbitali), stato di salute e precisione degli orologi.

Un satellite GPS trasmette inoltre:

- 1) **Navigation Message**: include l'almanac, le posizioni di tutti i satelliti, il codice identificativo del satellite e altre informazioni, il tutto raccolto in un pacchetto di dati.
- 2) **Codice digitale PRN**: (codice a variazione pseudo-casuale di tipo "Coarse Acquisition" o per brevità "pattern"). Tale codice viene ripetuto mille volte al secondo e rappresenta nella sostanza un punto di riferimento temporale che il satellite invia ai ricevitori GPS.

Un ricevitore GPS civile riceve le trasmissioni radio contemporanee di più satelliti, acquisendo:

- 1) **Navigation Message**.
- 2) **Il codice digitale PRN "Coarse Acquisition"**. Il ricevitore genera un proprio codice "Coarse Acquisition" autonomo che si sincronizza costantemente con quello del satellite (l'operazione avviene sulla base delle apposite informazioni che il satellite stesso periodicamente invia; il margine di errore della sincronizzazione è di circa un nanosecondo). Quindi il ricevitore, che ovviamente non è dotato di un proprio orologio atomico, conosce così l'orario esatto di partenza di ogni impulso radio trasmesso dal satellite e può compararlo con quello di effettiva ricezione: la differenza è dovuta al lasso di tempo che l'onda radio impiega per percorrere la tratta satellite-ricevitore. Tale differenza viene quantificata dal ricevitore in termini di distanza dal satellite sulla base della nota formula  $velocità = spazio / tempo$ .

Quindi, grazie alle informazioni di cui sopra, ogni ricevitore GPS sostanzialmente identifica i satelliti "visibili", conosce la loro posizione nella volta celeste e la distanza in linea ottica che li separa dagli altri satelliti. A questo punto la parola passa alla geometria e alla trigonometria: noti gli elementi

geometrici di base, il ricevitore GPS effettua gli opportuni calcoli.



## 2.11 Errori nelle misure del GPS

### Gli errori

Le informazioni che arrivano da ciascun satellite sono soggette a molti errori.

- La distanza tra noi e i satelliti: E' molto elevata, per cui anche spostandosi sulla superficie terrestre di vari km, la distanza del percorso è trascurabile rispetto al lungo viaggio fatto dal segnale nello spazio e quindi la "trilaterazione" viene calcolata su lati dei triangoli assolutamente non omogenei.
- Il movimento: Con un rilievo statico si ottiene una precisione millimetrica, mentre con un rilievo cinematico (cioè muovendosi durante il rilievo) la precisione si abbassa.
- La velocità del segnale: Non è costante (come sarebbe nel vuoto), ma occorre tenere in conto che il segnale passa dalla ionosfera alla troposfera, dove incontra vapore acqueo etc..., ed a causa della diversa composizione del mezzo varia la sua velocità.
- Multipath error: Il segnale non arriva lungo una linea retta, ma arriva "di sponda" per il fenomeno della rifrazione attraverso il fluido "atmosfera", effetto paragonabile alla deviazione che subiscono le immagini di oggetti che sono sott'acqua, sia riflettendosi su eventuali ostacoli che incontra lungo il cammino (case, montagne, etc...).
- Interferenze elettromagnetiche: La vicinanza di linee elettriche ad alta tensione, o peggio di ripetitori radiotelevisivi, è fonte di anomalie elettromagnetiche in grado di disturbare il debole segnale dei satelliti.

Ulteriori cause di errore:

- Elettronica "commerciale" del ricevitore
- Errori di orologio del ricevitore
- Errori d'orbita dei satelliti
- Errori di visibilità per la presenza di strati nuvolosi o di strutture opache di copertura.
- Errori di posizione: Proporzionali all'altezza sull'orizzonte e la disposizione reciproca o configurazione geometrica dei satelliti rispetto all'osservatore.

### La Correzione differenziale

Per tutti questi motivi, sono state disseminate in vari punti del globo numerose stazioni fisse di

controllo. Di queste stazioni sono conosciute con precisione assoluta le coordinate geografiche della posizione, ed in ognuna di esse è posto un sofisticato ricevitore GPS. Confrontando per ogni misurazione i dati di posizione ottenuti dal terminale GPS in movimento (antenna rover) con quelli noti e certi trasmessi dalla stazione (master), è possibile calcolare per quell'area e quindi per ogni rilevamento (Fix) qual'è l'errore di posizione. Questa correzione è denominata "correzione differenziale".

Istante per istante ogni stazione fissa calcola gli errori di codice e di fase, confrontando il dato di posizione ricevuto dai satelliti con la propria posizione nota.

I dati di correzione acquisiti dalle stazioni master possono essere trasmessi in tempo reale al ricevitore rover RTK (Real Time kinematic), tramite radio o GSM (protocollo RTCM), oppure archiviati in appositi formati di scambio (RINEX) ed utilizzati successivamente (Post Processing).

Il miglioramento della precisione è notevole, purché la distanza tra i due ricevitori master e i rover, non sia elevata.

Una stazione master che consente il calcolo delle misure di correzione può essere:

- **temporanea**, quando si tratta di un ricevitore mobile usato transitoriamente per specifiche operazioni tecniche, tipo le paline utilizzate per le misure topografiche di precisione, dove viene collocato un master in corrispondenza di un punto di coordinate note (ad es. vertice trigonometrico).
- **permanente**, se si tratta di postazioni fissa, di solito installata presso apparati di enti pubblici (antenna telefonica) o di enti di ricerca.

Relativamente agli errori di posizione, il parametro **GDOP** (Geometric Dilution Of Precision) dà in ogni istante la precisa indicazione della distribuzione dei satelliti attorno al ricevitore. Può essere scomposto in 4 componenti:

- **PDOP** (*positioning*)
- **HDOP** (*horizontal*)
- **VDOP** (*vertical*)
- **TDOP** (*time*)

Attraverso le "postazioni fisse" di monitoraggio, è possibile in ogni istante conoscere con precisione la composizione del parametro GDOP.



## GPS "fermo"

Va sottolineato che il punto di una posizione GPS su mappa "si muove" anche se il GPS è completamente fermo. Solitamente si tratta di movimenti virtuali contenuti, mediamente non superiori ad una decina di metri nel caso di molti satelliti ricevibili, ma che può arrivare anche a 30-40 metri nel caso di soli 4 satelliti ricevibili. Questo fenomeno deriva dall'attività di calcolo del ricevitore GPS, che è dinamica anche in assenza di un reale movimento fisico al suolo.

La variazione dei risultati dei calcoli a ricevitore fermo è quindi principalmente dovuta al movimento dei satelliti (che non sono geostazionari), ed al numero di satelliti ricevibili in un determinato istante rispetto all'istante successivo, elemento che modifica la rettifica di precisione del calcolo.

### 2.12 Potenzialità

Il GPS funziona in ogni angolo del pianeta, anche il più remoto e inaccessibile, ininterrottamente 24 ore su 24, per 365 giorni all'anno e con qualsiasi condizione meteo. Per questo motivo, le potenzialità del sistema GPS in campo civile sono enormi, in parte ancora oggi da scoprire ed affinare, dalla sicurezza personale a quella lavorativa, dallo svago al controllo di operazioni di soccorso, dagli interventi della protezione civile alla navigazione stradale, aerea e marittima, ecc...

La crescente miniaturizzazione dei circuiti elettronici ha favorito l'avvento sul mercato di ricevitori GPS con dimensioni e prestazioni impensabili appena pochi anni fa. Il margine di errore reale assoluto del sistema GPS attuale è stimato nell'ordine dei metri, ma fonti tecniche già parlano di arrivare in poco tempo a circa 50 centimetri. Tuttavia per colmare questo margine di errore sono attualmente indispensabili i ricevitori GPS militari, in grado di decodificare contemporaneamente sia le trasmissioni GPS sulla gamma-radio-L1 (1,57Ghz - Coarse Acquisition) sia quelle sulla gamma-radio-L2 (1,22Ghz - Precise Acquisition). L'utilizzo della gamma L2 è precluso all'utenza civile, mediante la criptazione del relativo codice PA. Un ricevitore GPS civile riceve la sola gamma-radio-L1, quindi il margine di errore medio è "convenzionalmente" stabilito in un massimo di circa 15 metri. Prima del mese di maggio 2001 l'errore medio era di 100 metri orizzontali e 150 metri verticali in condizioni operative ottimali, ma poteva facilmente arrivare a 250-300 metri in condizioni normali. Solamente da qualche anno, un particolare "limitatore operativo" interposto sul segnale radio, denominato "Selective Availability", definibile come uno sfasamento delle onde elettromagnetiche ed introdotto allo scopo di limitare la precisione del calcolo per evitare lo sfruttamento a scopi militari o terroristici da parte di nazioni o organizzazioni ostili, è stato rimosso dando così un impulso decisivo e definitivo all'enorme successo del GPS.

Ma il livello di precisione può essere ulteriormente migliorato pur senza libero accesso alla "Precise Acquisition L2", utilizzando "segnali ausiliari" di supporto, denominati W.A.A.S., che attualmente sono ancora pienamente operativi solo negli USA. E' facile prevedere che il W.A.A.S. sarà introdotto molto presto anche in Europa.

Un'ultima considerazione va spesa sulla continuità del servizio GPS civile. Non vi sono segnali che possano far pensare a prossime limitazioni nell'accesso al canale civile in gamma-radio-L1, tuttavia va fatto notare che non è possibile fornire garanzie valide per il futuro. Ogni decisione è in mano al proprietario del sistema: il governo USA. Nel 2004-2005 l'amministrazione Bush è stata sollecitata dai servizi di intelligence a prendere in considerazione i possibili rischi di sfruttamento del servizio GPS a danno degli Stati Uniti. Il risultato è stata la creazione di una sorta di "interruttore" in grado di spegnere l'intera costellazione nel giro di pochi istanti. La misura si è resa necessaria in quanto gli organismi di intelligence riferivano ormai da tempo che la tecnologia GPS era regolarmente

utilizzata anche da gruppi terroristici internazionali per fini logistici, e poteva essere determinante per supportare attività offensive.

Va infine fatto presente che, sebbene ciò rappresenti un'ipotesi remota, qualsiasi sistema satellitare è soggetto a malfunzionamenti o danneggiamenti dovuti a tempeste magnetiche, pioggia di meteoriti, radiazioni cosmiche, attentati nei centri di controllo a terra, guasti tecnici di vario tipo, ecc...

Nel caso di simili eventi il sistema GPS verrebbe certamente ripristinato, ma i tempi potrebbero variare da poche ore ad alcuni mesi in funzione alla gravità e all'estensione dei danni.

A questo proposito, e come conferma dell'attuale affidabilità del progetto, va ricordato che la costellazione 2A ha superato in maniera quasi indenne una storica tempesta magnetica che ha investito il nostro pianeta nel periodo 2002–2003, dovuta ad una straordinaria attività delle macchie solari.

A sfruttare la migliore precisione restano i possibili sviluppi nel campo della guida completamente automatizzata a terra di macchinari industriali e veicoli civili, per controlli in ambito geologico, vulcanologico, ecc...

## 2.13 Galileo

Anche l'ESA (Ente Spaziale Europeo) lavora da anni al proprio sistema di posizionamento satellitare denominato GALILEO.

Galileo è un consorzio formato da Alenia Spazio, Alcatel, Astrium Germany, Astrium UK, e Galileo Systemas y Servicios. I tempi per l'effettiva partenza di Galileo si preannunciano piuttosto lunghi e slittano costantemente. Stando al progetto iniziale, Galileo doveva divenire operativo a fine 2007, ma la scadenza è poi stata aggiornata ripetutamente fino a collocarsi, attualmente, intorno al 2013.

A questa data vanno aggiunti però i tempi, stimabili nell'ordine di 2-4 anni, per la messa a punto, il lancio e la distribuzione dei relativi ricevitori e l'attivazione dei servizi.

Controversa è l'annunciata "interoperabilità" con l'attuale sistema GPS, che ancora deve essere chiarita nelle modalità tecnico/commerciali visto che Galileo, a differenza del GPS, nasce come sistema di localizzazione satellitare ad accesso non gratuito.

Galileo prevede una costellazione di 30 satelliti ed un investimento iniziale relativamente contenuto pari a circa 4 miliardi di euro, finanziati al 65% da capitali privati. Proprio la presenza di capitali privati dovrebbe rendere l'accesso a Galileo non libero o forse parzialmente libero, con ipotizzabili limitazioni tecniche. A tale proposito i codici "PRN" per l'accesso alla rete Galileo sono stati criptati, ma lo scienziato Mark Psiaki della statunitense Cornell University ha annunciato di aver già "craccato" l'algoritmo di criptazione.

Le motivazioni dell'attacco sono tutto sommato condivisibili: contrariamente a Galileo, il sistema GPS è completamente gratuito ed è a disposizione dell'intera umanità. Il consorzio Galileo ha invece ribadito che non renderà pubblici i parametri di accesso come fece il governo USA nel 1994, e ciò ha irritato la comunità scientifica internazionale perché un sistema di posizionamento satellitare è ormai universalmente concepito come un bene di pubblica utilità, il cui scopo primario è orientato alla sicurezza di persone e beni e allo sviluppo del genere umano. Similmente alla difesa, ai servizi segreti e ad ogni altra entità preposta alla sicurezza su vasta scala, un sistema di posizionamento satellitare va realizzato con denaro pubblico e va messo a disposizione di tutti.

Inoltre le leggi mondiali tutelano i diritti di accesso a servizi irradiati nell'etere limitatamente alla presenza di contenuti multimediali o di sistemi di telecomunicazione: Galileo come GPS, non offrono alcun contenuto multimediale e non consentono alcuna telecomunicazione. In pratica i

sistemi di posizionamento satellitare sono assimilabili a "fari marittimi" e non è ipotizzabile che un marinaio debba pagare per guardare la luce di un faro.

Sulla carta Galileo dovrebbe essere più preciso dell'attuale GPS, ma mancano dati tecnici per quantificare il "passo avanti" che comunque appare secondario, poiché i 15 metri circa di margine di errore dell'attuale GPS sono già considerati più che sufficienti nella stragrande maggioranza delle applicazioni civili.

## 2.14 Altri progetti di tracciamento

Esiste un sistema simile al GPS denominato GLONASS, e messo in funzione dalla Russia.

Ad una prima analisi Glonass sembra strutturalmente e tecnicamente un po' più limitato del GPS, ma per qualche anno ha retto bene il confronto. Dal 1995 anche la Russia consente l'accesso civile gratuito al proprio sistema di localizzazione satellitare, al punto che esistono appositi ricevitori combinati GPS/Glonass in grado di fornire maggiore affidabilità con tempi di aggancio e di rilevazione della posizione ridotti e di maggiore precisione. "Miracoli della distensione", si diceva qualche tempo fa. I ricevitori Inter-operabili e combinati GPS/Glonass tuttavia sono difficilmente reperibili ed i loro costi sono "stellari", tanto per restare in tema. Va detto comunque che un ostacolo importante allo sviluppo civile di Glonass è stato determinato dalla crisi economica che ha investito la Russia negli ultimi anni del secolo scorso e dai tempi "biblici" del completamento della costellazione.

I primi satelliti furono lanciati nel 1982. Dopo sette anni 16 satelliti su 24 erano già fuori uso e solo 8 risultavano operativi. Attualmente 9 satelliti su 24 sono operativi e ciò rende Glonass inservibile come sistema di localizzazione autonomo, ma sempre utile se integrato con il Navstar-GPS.

Qualcuno lo ha definito "reliquia della Guerra Fredda", ma la Russia sembra comunque intenzionata a ripristinare Glonass. E' ovvio che un'azienda eventualmente interessata ad investire tempo e risorse su ricevitori Glonass dovrà prima verificare se il ripristino sarà duraturo ed affidabile, da qui ne conseguono tempi incerti e sicuramente non brevi per un'eventuale diffusione commerciale.

Anche la Cina, a partire dall'anno 2000, ha messo in orbita un proprio sistema di posizionamento satellitare denominato BEIDOU-1.

Beidou-1 opera con principi tecnici molto diversi rispetto a GPS, Glonass e Galileo. Innanzitutto i satelliti sono appena quattro e sono geostazionari, quindi la copertura non è globale bensì limitata a 70-140 gradi est e 5-55 gradi nord. Poi, a differenza di un ricevitore GPS che non trasmette nulla, un ricevitore Beidou-1 deve anche trasmettere un potente segnale radio da terra verso i satelliti.

Ne conseguono limiti tecnici, pratici ed operativi tali da escludere impieghi civili di massa anche nelle aree coperte dal servizio. Nel 2003 la Cina ha annunciato ulteriori "mosse" che gli analisti internazionali a tutt'oggi faticano a decifrare: da un lato la partecipazione al progetto europeo Galileo con un investimento modesto (circa 230 milioni di euro), dall'altro il lancio futuro della costellazione Beidou-2, che ricalcherà i principi tecnico/operativi di GPS, Glonass e Galileo, grazie a 35 satelliti non geostazionari.

## 2.15 Limiti

Attualmente i due limiti tecnici e pratici più evidenti del sistema GPS sono il consumo di corrente relativamente elevato dei circuiti elettronici preposti alla ricezione satellitare e la difficile ricezione in presenza di ostacoli circostanti. Oltre a questi, vanno considerati i tempi "relativamente lunghi" per effettuare il primo Fix di posizione, soprattutto in condizioni di movimento degli strumenti.



Riguardo agli ostacoli ambientali circostanti posti sia nelle immediate vicinanze sia relativamente più distanti, mentre plastica, gomma, vetro, stoffa, legno non schermano in maniera importante il flusso delle onde radio GPS, materiali come metallo, cemento, roccia e terreno costituiscono un ostacolo insormontabile. Ad esempio, all'interno delle abitazioni il segnale GPS non giunge facilmente, ma anche in questo campo i progressi degli ultimi anni sono stati vistosi.

Una via di mezzo è rappresentata dalla vegetazione, che solitamente non costituisce un ostacolo rilevante purché non sia troppo fitta, e purché non sia presente un forte tasso di umidità sul fogliame. Una strada di città stretta e circondata da palazzi può costituire un ostacolo per il GPS (questo problema è frequente nei centri delle città), analogamente la ricezione risulta difficile in zone montane, qualora il punto di ricezione risulti attorniato da elevate pareti rocciose.

Un'altra limitazione è dovuta alle onde radio satellitari che si riflettono contro gli ostacoli, anche se va precisato che l'errore dovuto alla ricezione riflessa di uno o due satelliti viene in buona parte compensato se l'aggancio complessivo è di almeno di 6 o 7 unità.

Un limite fisico caratteristico è che il GPS civile può operare ad una altitudine massima di 18.000 metri slm e su mezzi che non superino i 2.000Km/h.

Chip sempre più potenti e sensibili consentono di ridurre i tempi di calcolo della posizione anche in condizioni operative non facili, ed è stato possibile ottenere l'aggancio satellitare anche in presenza di significativi ostacoli ambientali o con strumenti in veloce movimento. Tale facilità e rapidità nell'aggancio satellitare ha consentito parallelamente lo sviluppo di sistemi di riduzione del consumo di corrente. Ulteriori sostanziali progressi vengono introdotti ormai periodicamente.

E' importante segnalare che esistono forti differenze qualitative fra marche e modelli diversi di ricevitori GPS. Tali differenze possono riflettersi sui tempi per l'aggancio satellitare, sull'accuratezza delle rilevazioni, ma soprattutto sul "mantenimento dell'aggancio" in presenza di ostacoli ambientali. In ogni caso la precisione di qualsiasi ricevitore GPS aumenta in funzione del numero di satelliti ricevuti, anche se, in pratica, i satelliti che possono essere ricevuti in un determinato momento e in un determinato luogo non sono mai più di una decina.

Va inoltre sottolineato che il numero di canali di un ricevitore GPS non fornisce particolari potenzialità a livello della sezione a radiofrequenza, ma si riferisce principalmente alle capacità di calcolo.

## 2.16 Tipologie di ricevitori GPS

Le tre tipologie di ricevitori vengono utilizzate in diversi ambiti applicativi:

### • Ricevitori per misure di codice:

- Rilevano una sola parte del segnale (modulazione di ampiezza); codice C/A.
- Applicazioni: escursionismo, orienteering.
- Precisione tipica: +/- 5-10 m
- Costo ridotto

### Ricevitori a ricezione di fase, singola frequenza:

- Rilevano una delle due frequenze L1 o L2.
- Applicazioni: topografia, cartografia, posizionamenti di precisione
- Precisione tipica: metrica/submetrica
- Costo elevato

### Ricevitori a ricezione di fase, doppia frequenza:

- Rilevano entrambe le frequenze L1 e L2.
- Posizionamenti di altissima precisione
- Precisione tipica: centimetrica
- Costo molto elevato

## 2.17 Tecnologie di supporto al GPS

I tempi di calcolo della posizione in fase di accensione sono diversi anche con lo stesso ricevitore GPS e questo dipende principalmente dalle condizioni operative all'atto dell'operazione, quali ostacoli ambientali circostanti e satelliti ricevibili in quel momento ed in quel punto. Ma altri fattori entrano in gioco: ad esempio i ricevitori GPS quando vengono spenti mantengono in memoria l'ultima posizione rilevata per velocizzare il calcolo alla successiva riaccensione. Se il GPS viene spento e poi riattivato lontano dalla zona dove ha calcolato l'ultima posizione, oppure riattivato nella stessa zona ma dopo molto tempo, entrambe situazioni con costellazione profondamente variata, si può notevolmente prolungare la fase di aggiornamento iniziale. Questo avviene perché l'apparato all'accensione elabora i dati partendo dagli ultimi elementi noti, che scopre poi essere diversi.

Altri motivi possono essere connessi al movimento del ricevitore: il calcolo della posizione si prolunga notevolmente qualora il GPS venga acceso su un veicolo in movimento. In questi casi si parla di "diversi minuti" di attesa anche nel caso di apparecchi qualitativamente ottimi. Questo problema praticamente impone che per un veloce First Fix (tempo di primo rilevamento) sia indispensabile essere fermi ed in piena apertura celeste.

Vi è infine una casistica che, sia pur rara, occorre citare: si tratta della crescente congestione dell'etere, ormai saturo di radiotrasmissioni. Una fonte di radiofrequenza vicina e potente può in alcuni casi disturbare la sezione radioricevente di un GPS, sia a livello di saturazione dello spettro radio sia a livello di interferenze elettromagnetiche in capo alla componentistica elettronica.

E' poco realistico ipotizzare che i GPS verranno sostituiti dalla localizzazione terrestre GSM-UMTS e che le soluzioni di localizzazione radiogoniometrica tramite BTS per telefonia mobile possano sostituire il GPS. Il margine di errore del tracciamento terrestre dei telefonini è molto variabile in funzione dell'orografia del territorio e della dislocazione delle celle BTS.

L'Italia è oltretutto una nazione dall'orografia vivace ed è molto soggetta a vincoli paesaggistici e architettonici: questo spinge gli operatori ad estendere il più possibile l'area di copertura di una singola BTS, estensione che mediamente è più elevata rispetto ad altre nazioni.

In condizioni ottimali, ad es. qualora il telefonino possa "vedere" contemporaneamente varie BTS tutte relativamente vicine, il margine di errore reale è di circa 100-150mt. E' sufficiente però che il telefonino si trovi in una zona periferica, montana, di frontiera, collinare, rurale, costiera ecc..., per avere margini di errore che possono raggiungere anche i 2-3 chilometri e quindi molti chilometri quadrati.

Visto l'attuale margine di errore di 15 metri del GPS (e l'ipotizzato margine di errore di 1-2 metri del futuro Galileo) è facile intuire che la localizzazione terrestre GSM-UMTS non avrà vita facile.

TIM ad esempio, dopo l'iniziale clamore suscitato dai nuovi servizi location-based via celle BTS, ha fatto parzialmente "marcia indietro" già a fine 2005, annunciando una partnership con FleetNet (leader mondiale nella localizzazione satellitare GPS per flotte aziendali) e relegando la localizzazione terrestre ai soli servizi per privati, quali ad es. conoscere l'indirizzo di un ristorante vicino, sapere se un amico si trova nelle vicinanze, ecc... Per curiosità segnaliamo che anche FleetNet, che veicola gran parte del flusso di dati delle posizioni satellitari via SMS.

## 2.18 Accoppiamento GPS - GSM

Un ricevitore GPS non trasmette alcunché. Ben presto è sorta la necessità di trasmettere le posizioni ad altre periferiche, e sono state affinate essenzialmente due soluzioni:

a) **Trasmissione dei dati a brevi distanze** (es. ad una cartografia nel PC) via cavo seriale, USB, Bluetooth, ecc... comunque entro pochi metri. Grazie al flusso dati continuo generato dal protocollo di comunicazione NMEA, tale possibilità è semplice e ormai molto diffusa.

Possiamo far rientrare in questa categoria anche la trasmissione di posizioni mediante interfacciamento con trasmettitori radio VHF/UHF dotati di radio-modem: questa soluzione presenta una portata utile di un centinaio di km. con ponti ripetitori di 5–15 km. I dati di posizione vengono trasmessi a bassa velocità (600-1200bps), ma comunque in tempo reale e a costi operativi quasi nulli.

b) **Trasmissione dei dati a distanze elevate.** La trasmissione di posizioni avviene mediante le reti di telefonia mobile, quindi senza particolari vincoli di portata. Le modalità sono cinque:

b1) Via connessione dati 9.600bps. La rete GSM e le SIM card impiegate devono supportare la trasmissione dati modem-to-modem, detta anche M2M o machine-to-machine). Viene trasmesso un flusso dati continuo e pressoché identico a quello ottenibile con la trasmissione a brevi distanze come al punto a), ma in realtà con portata virtualmente illimitata. Questo sistema è inutilizzabile in mare aperto o in altre zone prive di copertura GSM.

b2) Via SMS. Il sistema è molto razionale. I dati vengono trasmessi tramite SMS che vengono spediti anche in condizioni di copertura GSM carente e discontinua. Il sistema risulta più economico di una connessione dati ed è più efficiente perché pone il sistema in trasmissione solo per pochi istanti. Il flusso dati non è ovviamente continuo come nei casi visti sopra, bensì "a salti" in funzione della frequenza degli SMS. Questo sistema è inutilizzabile in mare aperto o in altre zone prive di copertura GSM.

b3) Combinazioni SMS/Dati. L'utente può scegliere se ricevere le posizioni via SMS o via connessione dati modem-to-modem.

b4) Via connessione GPRS (Internet). Soluzione che sfrutta le caratteristiche favorevoli di questa tipologia di connessione (principalmente l'economicità) ma presuppone la presenza di software appositi, IP statici e buona copertura di rete GSM. Questa soluzione è adatta prevalentemente al controllo di flotte aziendali. Nonostante che tale tecnologia consenta potenzialmente anche il flusso dati continuo, solitamente le posizioni vengono trasmesse in modo simile agli SMS, con aggiornamenti "a salti" o comunque previa apposita interrogazione. Questo sistema è inutilizzabile in mare aperto o in altre zone prive di copertura GSM.

b5) Via rete telefonica satellitare. I dati di posizione vengono trasmessi non tramite la rete terrestre GSM ma tramite servizi di telefonia mobile satellitare (es. Inmarsat, Iridium, ecc.). Destinato ad utenze aziendali, istituzionali, operative professionali a causa degli alti costi di apparecchiature e collegamenti. Questo sistema è utilizzabile ovunque, soprattutto per localizzazione in mare aperto o per localizzazioni terrestri in aree inaccessibili alle reti telefoniche ordinarie tipo i paesi del terzo mondo. Anche in questo caso vengono quasi sempre utilizzati gli SMS.

## 2.19 Velocizzare la prima localizzazione col gestore telefonico

Assisted-GPS o A-GPS, è un sistema che consente di abbattere notevolmente i tempi necessari alla prima localizzazione durante l'uso di un terminale GPS. Mostra la sua utilità soprattutto nei

"canyon" urbani, quali vie strette o viali notevolmente alberati, in cui è difficile stabilire con precisione la lista di satelliti in vista al terminale.

Questo sistema sta avendo una grande diffusione ed è normalmente associato ai sistemi di localizzazione (LBS, Location Base System) basati sulla telefonia cellulare.

Uno dei principali problemi dei terminali GPS classici è relativo al transitorio temporale necessario alla prima localizzazione o "Time To First Fixing", poiché un terminale all'accensione deve ricavare la lista dei satelliti in vista in quel preciso momento, per potersi "agganciare" e rilevare la propria posizione. Tale processo è in genere alquanto dispendioso in termini di tempo e risorse, ed il sistema A-GPS è stato studiato al fine di abbattere questi problemi, anche in previsione di un utilizzo su terminali con basse capacità di elaborazione o con risorse energetiche contenute, quali i telefoni cellulari o i micro-strumenti portatili.

Lo scopo principale di questo sistema è quello di "aiutare" il ricevitore GPS nel calcolo della prima posizione, fornendogli informazioni sui satelliti in vista. Tale metodo richiede però il supporto dell'operatore di telefonia mobile.

Il principio di fondo è questo: dato che ogni cella di telefonia mobile presente sul territorio ha una posizione fissa, si fa in modo che sia la cella a ricavare in ogni istante quali siano i satelliti GPS ad essa in vista. Quando un terminale A-GPS vuole conoscere la sua posizione iniziale, si collega tramite la rete cellulare ad un Assistance Server (che in genere è gestito dall'operatore stesso), al quale viene inviata anche l'informazione della cella a cui l'utente è agganciato. Dato che sono noti i satelliti in vista alla cella, si può assumere ragionevolmente che anche il terminale A-GPS veda i medesimi satelliti attraverso di essa. Pertanto il server elabora ogni istante una lista con i satelliti in vista, e la invia attraverso la rete cellulare al terminale appena collegato, in questo modo che questo possa ricavare immediatamente la propria posizione.

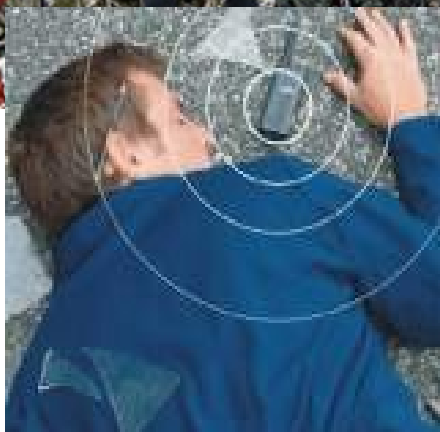
La ridotta quantità di dati da inviare ha suggerito l'impiego di messaggi di tipo "cell broadcast", già ampiamente utilizzati, ad esempio, per effettuare tariffazioni diverse a seconda dell'area in cui l'utente si trova, e che compaiono sullo schermo dell'utente sotto forma di indicazione della provincia.

Il protocollo standard ideato per ottemperare alle funzionalità proprie di A-GPS è il SUPL (Secure User Plane Location).

## *2.20 Applicazioni straordinarie, ma ormai obsolete*

Gli antifurto satellitari GPS/GSM, che per anni sono stati l'unica certezza contro i furti delle auto in grado di dare filo da torcere, ora non lo sono più. Ormai è di pubblico dominio che qualsiasi antifurto satellitare GPS/GSM può essere bloccato con facilità ricorrendo ad un banale jammer GSM (inibitore di rete cellulare, acquistabile su Internet anche all'estero con poche decine di euro).

Non è richiesta alcuna preparazione tecnica, solo la capacità di schiacciare il pulsante di accensione del jammer. In pratica il ladro si avvicina all'auto con il jammer disconnettendo l'antifurto dalla rete GSM, quindi rendendolo totalmente inutile fatta salva la tradizionale sirena sul mezzo. Sono inoltre apparsi sul mercato altri tipi di jammer, meno invasivi e più mirati, in grado di disturbare solamente la sezione GPS mediante emissione di "rumore radioelettrico" sulla gamma 1,57Ghz. Il florido mercato dell'antifurto satellitare è stato quindi prematuramente messo in ginocchio dall'avvento dei jammer, ma soprattutto dalla diffusione della notizia sulla loro infallibilità nei confronti degli antifurto satellitari. Le compagnie assicurative, in una prima fase le vere promotrici degli antifurto satellitari, pongono ora clausole particolarmente restrittive: in pratica applicano una consistente franchigia qualora, a seguito di un furto, il sistema satellitare sia risultato inattivo.



## 3 Il GPS escursionistico

Per questioni di piacevolezza, ma anche di complessità dell'argomento, dei tantissimi campi di applicazione in questo manuale, per approfondire la conoscenza dello strumento vogliamo trattare del GPS per uso outdoor, più in generale definito col termine "GPS escursionistico", uno degli impieghi dove lo strumento è diventato davvero indispensabile..



### 3.01 Tipologie di GPS escursionistici

Riguardo alle caratteristiche di orientamento possiamo distinguere:

1. **Tracciatori** : Questi GPS si limitano a registrare la sequenza dei punti toccati durante un'escursione, componendoli in una "traccia" geometrica che è possibile trasferire sul PC e vedere con Google Earth o con programmi analoghi. Altro uso importante dei tracciatori è la funzione TrekBack, che una volta attivata, indica come seguire al contrario il percorso che è stato seguito fino a quel momento. Questo tipo di GPS non presenta sul suo display alcuna mappa se non, in alcuni casi, quella generica schematica, che è davvero di poca utilità e mostra quasi esclusivamente le principali vie stradali.

Sul display viene visualizzata solo la posizione, una linea spezzata che rappresenta il cammino seguito, ed altre informazioni come altitudine, km percorsi, ora, ecc...

2. **Cartografici** : In questo tipo di GPS è possibile caricare una carta topografica più o meno dettagliata, che permette di vedere con indubbia efficacia rappresentativa la posizione dello strumento e quali sentieri, paesi, corsi d'acqua, laghi e monti ci sono nelle vicinanze. In questo modo è possibile orientarsi anche in condizioni di cattiva visibilità. Naturalmente tutto ciò che viene offerto da un GPS "tracciatore" è fornito anche da un GPS "cartografico".

Dal punto di vista dello strumento GPS distinguiamo:

1. **GPS dedicati**: Sono strumenti che servono principalmente solo a questo scopo (orientamento e

navigazione). Un grande vantaggio è che questi apparecchi necessitano solo della visibilità dei satelliti e questa in spazi aperti è disponibile ovunque.

2. **Programmi GPS:** Possono essere caricati su altri strumenti come Smartphone, Tablet, PC, ecc... In questo caso oltre alla funzione specifica GPS si avranno a bordo del terminale funzioni native dello strumento (telefonata, fotografia, posta elettronica, internet, ecc...). A fianco di innegabili vantaggi, c'è però lo svantaggio, per avere la totalità dei servizi, oltre al rilevamento GPS di aver bisogno della visibilità telefonica, o meglio della rete dati, non sempre offerta ovunque.

piuttosto che quelli del secondo tipo che assieme alla funzione GPS offrono molte altre caratteristiche come gli Smartphone ed i Tablet.

### 3.02 Caratteristiche fondamentali del GPS escursionistico

Quanto segue è più applicabile agli strumenti GPS dedicati alla esclusiva funzione di orientamento.

1. **Altimetro elettronico e bussola elettronica** separati dal rilevatore GPS. I GPS sono in grado di derivare le informazioni di altitudine e di orientamento (bussola) dalle loro operazioni di triangolazione. Questo però, in particolare per la bussola, richiede che lo strumento sia in movimento. Non appena ci si ferma la bussola inizierà a ruotare "impazzita". In un GPS di buon livello, invece, bussola ed altimetro sono due strumenti interni, distinti dal rilevatore GPS e quindi danno le loro informazioni indipendentemente dal fatto di essere in moto o fermi.

2. **Batterie:** Va considerata la differenza fra i GPS equipaggiati con batterie di tipo convenzionale, ricaricabili o no, piuttosto che quelli dotati di propria batteria interna che forse rende lo strumento più compatto, ma in caso di esaurimento della carica obbliga a trovare una fonte di energia di ricarica. Va sottolineato che come accessorio supplementare a questa seconda tipologia esistono particolari batterie esterne con autonomia anche di molte settimane.

3. **Collegamento al PC:** il collegamento fra GPS e un PC va previsto per poter scaricare le tracce registrate o viceversa, dove previsto, per trasferire nel GPS i percorsi progettati col PC. Tutto ciò è realizzabile attraverso un collegamento via telefono, via cavo o con Bluetooth, e con l'utilizzo di un programma di gestione specifico.

### 3.03 Precauzioni

1. **Accendere per tempo il GPS:** Un GPS deve effettuare una serie di calcoli appena acceso per capire dov'è. E' fondamentale che questa operazione venga effettuata a strumento fermo e posizionato a cielo aperto. Accendendolo con un certo anticipo rispetto alla partenza, lo strumento farà una serie di fix che gli consentiranno di determinare la posizione con la massima precisione. Ad "agganciamento" effettuato, lo strumento difficilmente perderà il collegamento con i satelliti.

2. **Riflessioni e coperture.** Pareti rocciose di una certa mole possono causare sia riflessioni dei segnali radio che oscuramento di alcuni dei satelliti e generare anomalie di ricezione dello strumento. In questi casi, la traccia può "schizzare" anche a decine di metri di distanza.

3. **Verificare la rotta caricata sul GPS:** Dopo aver progettato una rotta col PC con specifici programmi o con il supporto del Servizio Internet che il fornitore avrà messo a disposizione, la rotta va visionata per sicurezza prima di intraprendere fisicamente il percorso.

8. **Esamine da Web le specifiche degli apparecchi:** Prima dell'acquisto bisogna diffidare della pubblicità ingannevole, del "sentito dire" dall'amico dell'amico, dell'aspetto accattivante di un GPS, di gadgets spesso inutili che vengono associati agli strumenti, ma è bene fare una buona analisi presso i siti Web dei fornitori per capire le vere caratteristiche ed il "pacchetto" di servizi che si sposano con la tipologia di esigenze escursionistiche.



### 3.04 Progettare un percorso

#### Progettazione a tavolino di rotte

E' possibile e conveniente progettare un percorso a "tavolino" cioè con l'utilizzo di un PC, assistiti da programmi forniti dal costruttore del GPS, oppure da aziende specializzate.

Una volta progettata la rotta sarà possibile trasferirla sul GPS, pronta per la navigazione reale.

Principalmente si usano due modi per disegnare una rotta:

1. **Progettare un percorso:** E' sicuramente il modo più bello e comodo di seguire un itinerario. Assomiglia molto a quanto si fa con i GPS automobilistici: si inseriscono il punto di partenza e quello di arrivo e, se sulla carta sono registrati una strada o un sentiero, automaticamente viene disegnato il percorso preciso da seguire. Il requisito fondamentale è che la cartografia riporti a livello digitale la rete stradale oppure quella dei sentieri, ed ogni altro dettaglio utile. Per questo motivo le mappe digitali si presentano molto scarse ed "essenziali" dal punto di vista della rappresentazione grafica. In compenso queste mappe contengono, in modo non visibile, dati sulla posizione e l'altitudine di ogni punto, tipologia della strada o del sentiero, ed altre notizie. E' proprio attingendo a questi dati che il PC o il GPS sono in grado di disegnare il percorso che



unisce i due punti "inizio" e "fine". Il problema che a volte si presenta è che un percorso magari intuibile tra i due punti, in realtà non è digitalizzato o lo è solo in parte, quindi il PC non riesce a disegnarlo oppure ne disegna uno tortuoso e molto più lungo di quello che ci si aspetta. Quando questo non accade ed il percorso viene disegnato correttamente, allora il GPS ci assisterà durante il cammino indicando dove svoltare ad un bivio o quale sono i vari punti di attenzione.

2. **Progettare una traccia:** Occorre usare questo sistema ogni volta che il PC non è in grado di disegnare un percorso reale non avendo a disposizione carte digitalizzate. In questi casi è possibile progettare una traccia anziché un percorso. Bisogna in questo caso disegnare una serie di segmenti che uniscono punti successivi che bisogna posizionare sul "lucido" della mappa sul PC. La linea spezzata che ne risulterà rappresenta l'itinerario o la rotta da seguire.

Per aumentare la precisione e la veridicità di una traccia occorre aumentare il numero dei punti in funzione della difficoltà o della sinuosità del percorso progettato.

In entrambi i casi possiamo inserire dei "waypoint", cioè dei punti per i quali si desidera passare, allo scopo di avere alcuni "punti fermi" o riferimenti certi. Ad esempio è usuale mettere waypoint alla partenza dell'itinerario, all'incrocio di sentieri, in corrispondenza di una sella o di una vetta minore, di una sorgente, di un rifugio, ecc... Il programma usato nel PC per creare la rotta è in grado di esportarla o di salvarla in uno dei formati comprensibili dal GPS. Uno dei formati più noti è il ".GPX".

Gli itinerari sono normalmente fatti di centinaia di punti, vicinissimi fra loro, raccolti in modo automatico dal GPS durante il percorso. Ogni punto di traccia contiene la data e l'orario (il cosiddetto timestamp), le coordinate geografiche, la velocità alla quale ci si stava muovendo rispetto al suolo, la direzione, e per GPS altimetrici, viene anche registrata la quota.



### 3.05 Seguire un percorso

I due modi più comuni per seguire un percorso sono:

1. **Modalità mappa:** Questo è il modo più interessante, perché oltre a capire in che direzione andare o non andare, lo si fa in rapporto alla cartografia e quindi all'ambiente da questa rappresentato. Sulla mappa si possono notare molti punti di riferimento, corsi d'acqua, costruzioni, monti e valli e se lo si gradisce alcuni di questi GPS arricchiscono la cartografia con sfumature di colore di indubbio realismo.

La posizione apparirà sullo schermo del GPS come una piccola "freccia", il cui orientamento indica la direzione del movimento. La posizione è sovrapposta alla mappa come sfondo dello schermo. A margine è presente una "dashboard" (o zona dati) dove appaiono alcune informazioni fondamentali, come l'altitudine, i km percorsi, la velocità media, il tempo trascorso, ecc...

2. **Modalità bussola:** Questo modo mostra solo una bussola a tutto campo, che indica semplicemente i punti cardinali e, con una freccia, la direzione da seguire. Qualora si fosse su un percorso parallelo a quello giusto, verrà presentata anche l'indicazione dello scostamento in metri rispetto al percorso reale. In questo modo si perde la rappresentazione cartografica con tutto ciò che ne consegue, ed abbiamo un controllo minore della valutazione di eventuali problemi dovuti a riflessioni o coperture. Questo tipo di navigazione è invece la più utilizzata per percorsi in territori desertici o in vaste aree prive di cartografia.

OOOOOOOOO