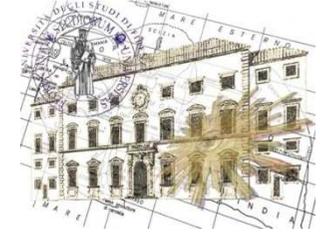




Università degli studi di Firenze
Facoltà di Lettere e Filosofia



TOPOGRAFIA E CARTOGRAFIA

a.a. 2010-2011

4. Cenni di topografia e GPS

Camillo Berti

camillo.berti@gmail.com

Argomenti

1. Definizione e scopi della topografia
2. Il rilievo topografico
3. Strumenti topografici
4. Il sistema GPS

Cos'è la topografia

La parola topografia deriva dal greco τόπος (“luogo”) e γράφειν (“scrivere”).

In senso ampio, la topografia è la scienza che si occupa di determinare con precisione la posizione di entità sulla superficie terrestre e successivamente di rappresentare tali entità sulla carta.

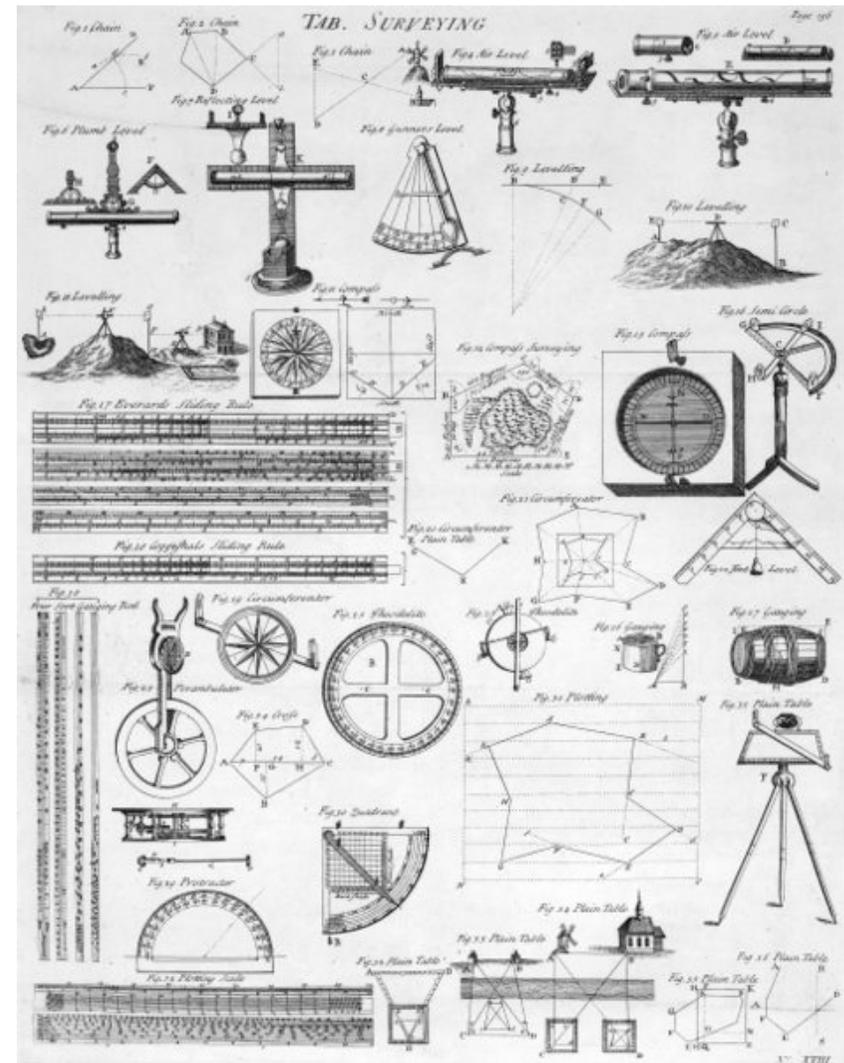
In senso stretto, il termine topografia indica soltanto la rappresentazione di porzioni limitate della superficie terrestre, per le quali si può omettere di considerare la curvatura terrestre (distanze inferiori ai 10 km, **campo topografico**) senza commettere errori in grado di compromettere la precisione finale del rilievo.

Cos'è la topografia

Storicamente la topografia (per motivi tecnici) si è basata soprattutto sulla misurazione degli **angoli** formati dalle direzioni individuate dai punti di cui si deve determinare la posizione (misurazione di angoli e calcolo delle distanze per via trigonometrica) e sulla misura diretta di alcune distanze.

In tempi più recenti, l'introduzione di nuovi strumenti ottico-elettronici ha conferito maggiore importanza alla misurazione diretta delle **distanze**.

Negli ultimi anni, la diffusione dei **sistemi satellitari** di posizionamento ha consentito la determinazione diretta della posizione delle entità sulla superficie terrestre.



Cos'è la topografia

Il principio su cui si basa la topografia di tipo tradizionale consiste nella rilevazione esatta della posizione di una serie di punti sulla superficie terrestre a partire da alcuni punti noti effettuando misure di angoli e di distanze ed eseguendo calcoli basati sulle regole della trigonometria (**triangolazione**).

A seconda dell'ampiezza dell'area oggetto delle misure, degli scopi delle misure stesse e delle relative precisioni, si distingue tra

- **rilievo topografico**

- distanze inferiori ai 10 km
- trigonometria piana
- misure relativamente meno accurate

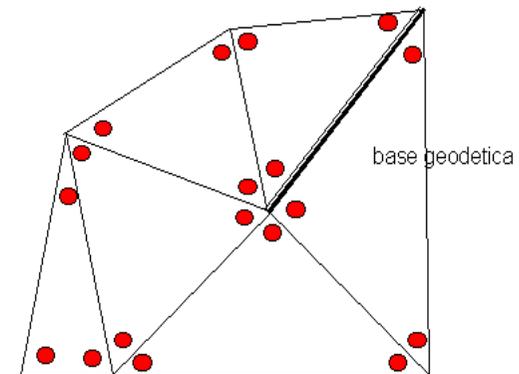
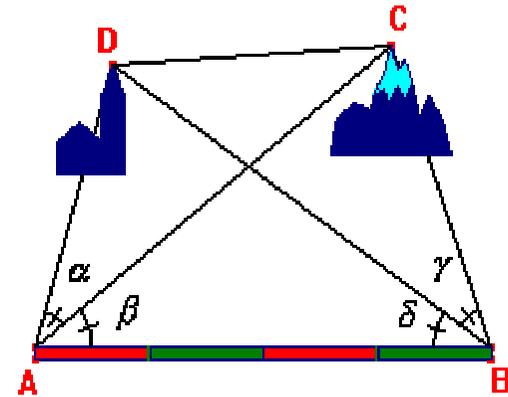
- **rilievo geodetico**

- distanze superiori ai 10 km
- trigonometria sferica
- misure molto accurate

Triangolazione geodetica

Per **triangolazione** si intende la procedura geometrica che consiste nella determinazione della posizione di punti prescelti attraverso la misurazione degli angoli formati dalle linee che collegano ciascun punto a quelli circostanti e di alcuni dei lati della serie di triangoli che si viene così a costituire (**basi geodetiche**).

La determinazione della lunghezza delle basi deve essere estremamente precisa perché da esse, per via trigonometrica, vengono calcolate tutte le altre distanze.



● misura di angolo azimutale
— misura di distanza

Punti geodetici

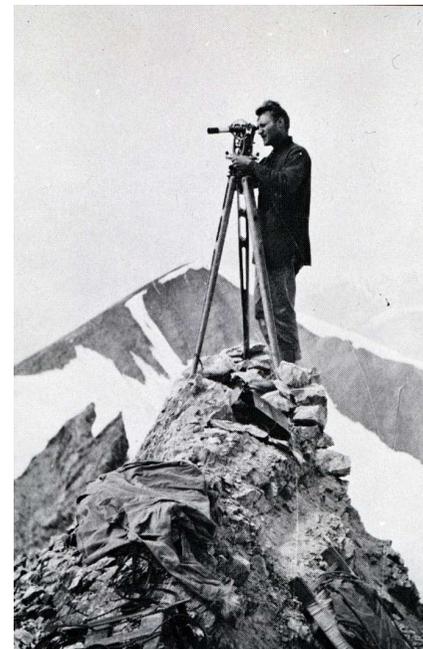
I punti di cui viene determinata in modo esatto la posizione sono detti **punti geodetici**, che costituiscono gli elementi di appoggio per i rilievi topografici attraverso i quali viene costruita la cartografia.

Di essi sono note con estrema precisione le coordinate che sono riportate in apposite schede riassuntive dette **monografie** (che contengono anche gli elementi per una chiara identificazione dei punti sul terreno).

I punti geodetici, detti anche vertici trigonometrici, sono scelti sul territorio, in modo da garantire un'elevata **intervisibilità** reciproca (es. cime di rilievi, campanili, torri, edifici elevati).

I punti geodetici sono individuati sul terreno mediante **segnali** permanenti e riconoscibili (**centrini** metallici) e spesso protetti mediante appositi manufatti (**pilastrini**).

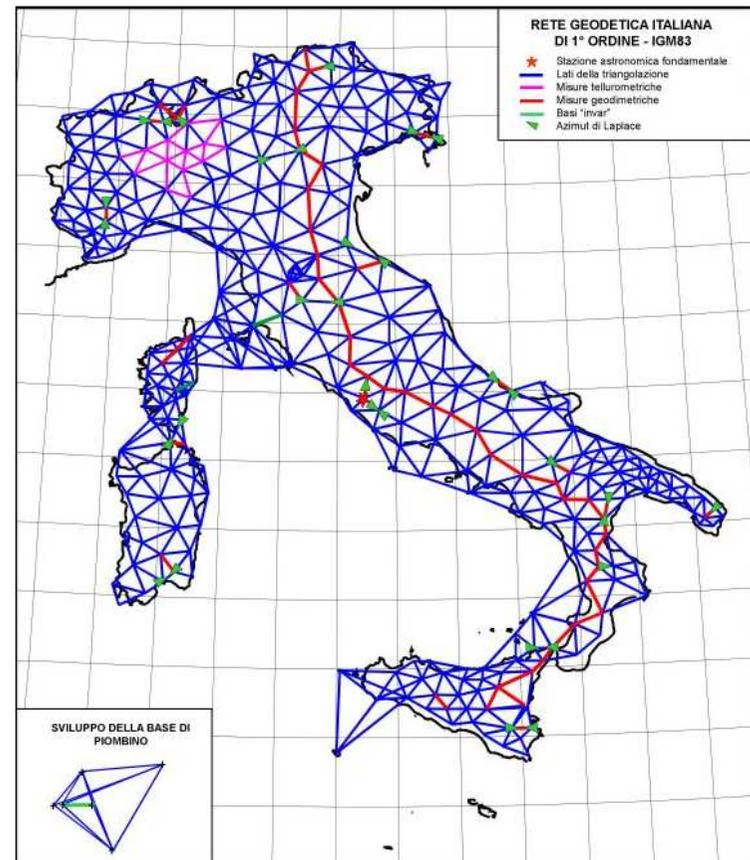
FFFNNN	Comando	Regione Militare	XXXXXXXX
	Staz. CC.		XXXXXXXX
	Comune	XXXXXXXX	Prov. XXXXXXXX
	Proprietario		XXXXXXXX
N°	FFFNNN	MONOGRAFIA	
		(1954) Belvedere della cascina Asse geometrico del belvedere	
N°	FFFNNN	Coordinate geografiche	Nome Cascina Bellina NNN
		φ ω	O = IV
		43°22'12",563 1°12'43",932	P 1,55 P
N°	FFFNNN	Coordinate Gauss-Boaga	13,50
		N E	
		4812583.28 1877949.99	
		4802874.39 2411798.72	
N°	FFFNNN	Quota al PP	H = 228,43
		PP = Gronda tetto belvedere	
		TRIG. Nome	Ord. F° N°
		CASCINA BELLINA	IV FFF ● NNN



Rete geodetica

L'insieme dei punti geodetici, individuati attraverso il metodo della **triangolazione**, forma una rete di triangoli detta **rete geodetica**.

L'insieme di punti geodetici misurati con il più alto livello di precisione a partire dalle basi geodetiche costituisce la **rete geodetica di I ordine** o **fondamentale**.



Topografia

Come si è detto, la topografia prevede la rilevazione delle coordinate di punti a partire da altri punti di coordinate note (in generale, **vertici geodetici**, i cui parametri sono noti dalle monografie) effettuata attraverso diversi metodi di calcolo e con l'ausilio di appositi strumenti, che consentono la misura di angoli e distanze.

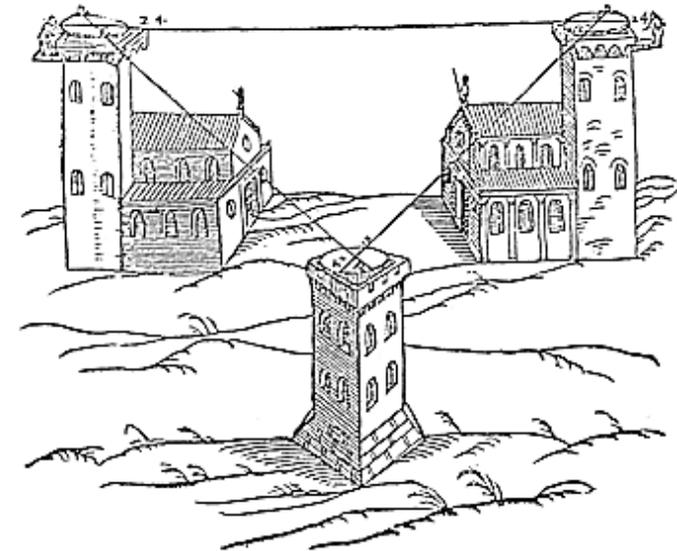
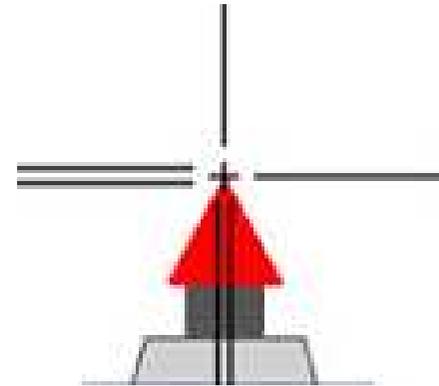
FFFNNN	Comando Regione Militare XXXXXXXX		
	Staz. CC. XXXXXXXX		
	XXXXXXX	Prov. XXXXXXXX	
	Proprietario XXXXXXXX		
N°	FFFNNN		
	MONOGRAFIA		
	(1954) Belvedere della cascina Asse geometrico del belvedere		
N°	Coordinate geografiche		Nome Cascina Bellina NNN
FFFNNN	φ 43°22'12",563	ω 1°12'43",932	O = IV
N°	Coordinate Gauss-Boaga		
FFFNNN	N 4812585.28	E 1877949.99	
	Est. Est. FIBR	4802874.39	2411798.72
N°	Quota al PP H = 228.43		
FFFNNN	PP = Gronda tetto belvedere		
N°	FFFNNN		
FFFNNN	FFFNNN		
	TRIG. Name	Ord.	F° N°
	CASCINA BELLINA	IV	FFF ● NNN



Rilievo topografico

Il **rilievo topografico** (o di dettaglio) si opera in genere a partire da almeno due punti di coordinate note (il primo è sempre un vertice trigonometrico, mentre il secondo può essere scelto nella rete geodetica o misurato), misurando **angoli e distanze** allo scopo di calcolare per via trigonometrica la posizione del punto di cui interessano le coordinate e di riportare tali punti sulla carta.

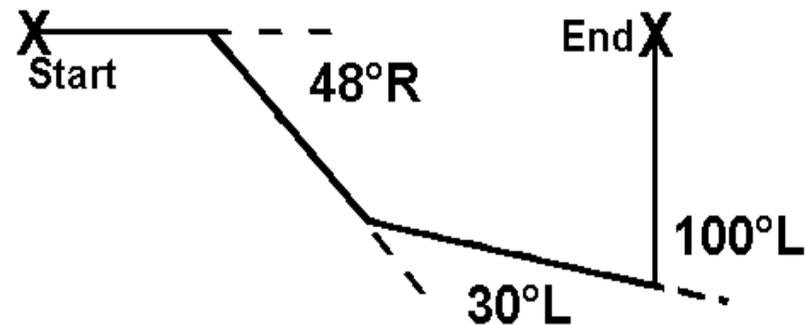
Un volta determinata la posizione di un punto, quest'ultimo potrà essere utilizzato come appoggio per il calcolo della posizione di un ulteriore punto.



Rilievo topografico

Per il calcolo della posizione dei punti si possono utilizzare differenti metodi di misura che prevedono l'impiego di differenti strumenti:

- Poligonazione
- Intersezione diretta
- Intersezione inversa
- Irraggiamento (celerimetria)



Uno dei metodi più utilizzati è quello **poligonazione** che prevede la determinazione, a partire da due punti noti, della posizione di una serie di punti che compongono una linea spezzata, una **poligonale** appunto, che unisce tutti i punti rilevati.

La determinazione della posizione dei singoli punti della poligonale avviene misurando le distanze e gli angoli individuati dalle direzioni dei segmenti che compongono la poligonale, spostando progressivamente lo strumento da un punto a quello successivo.

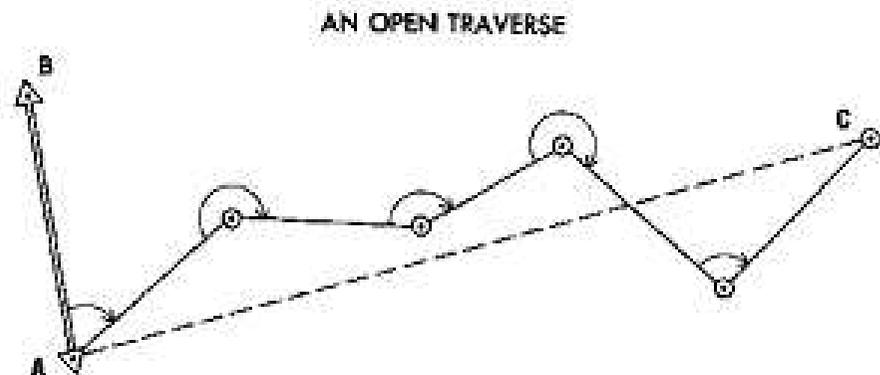
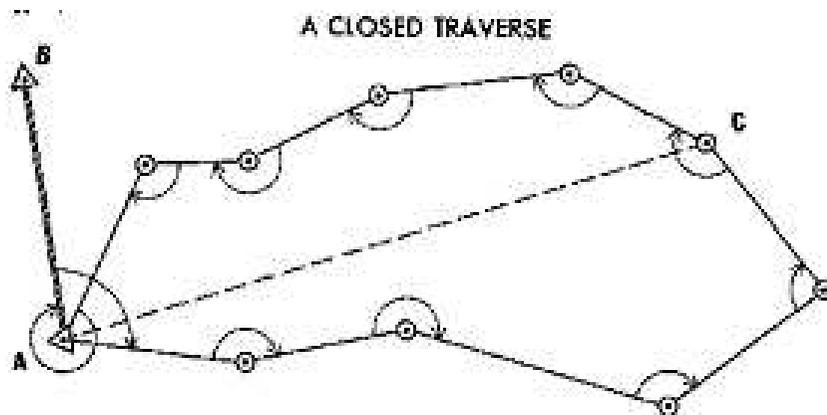
I punti in corrispondenza dei quali viene posizionato lo strumento di misura prendono il nome di **stazioni**.

Rilievo topografico

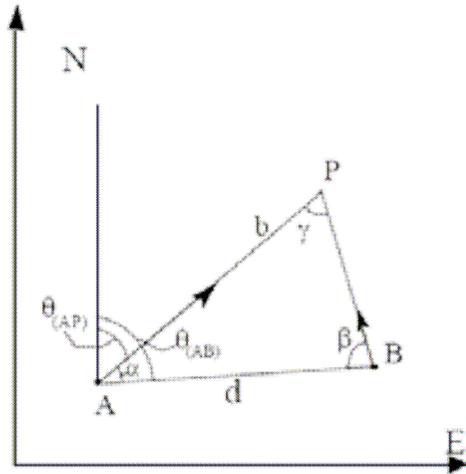
Se nell'ambito delle operazioni di rilievo per poligonazione si fa in modo di "ritornare" a uno dei punti noti di partenza (**poligonale chiusa**) è possibile conoscere l'errore che si è commesso durante le operazioni di rilievo, calcolando la differenza tra la posizione calcolata e quella reale. In caso contrario si parla di **poligonale aperta**.

In tal modo, è possibile

- valutare l'accuratezza complessiva del rilievo
- effettuare una **compensazione** degli errori ripartendo l'errore complessivo tra le diverse misure ed ottenere stime più affidabili delle singole coordinate.

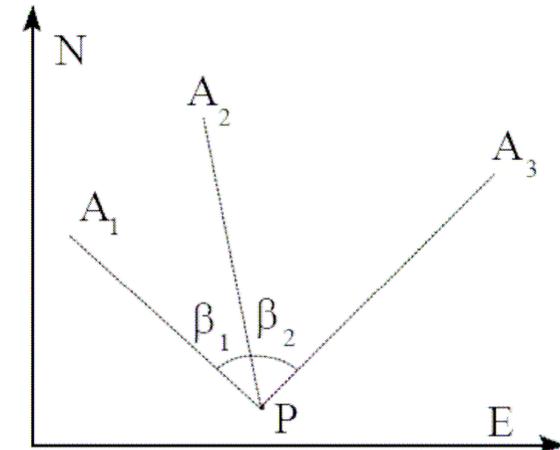


Rilievo topografico



Intersezione in avanti

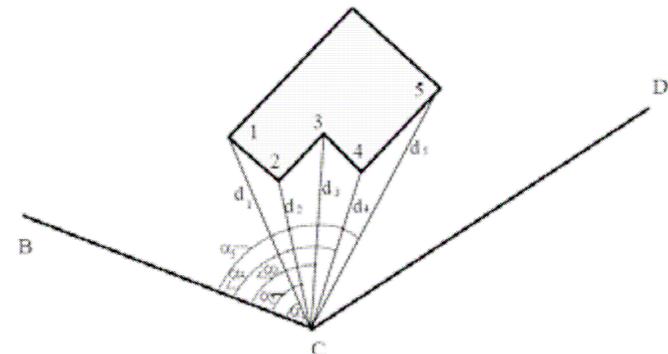
Il metodo detto **intersezione in avanti** prevede, note le coordinate di due punti di stazione e la loro distanza, tramite la misura di due angoli la determinazione della posizione di un terzo punto.



Intersezione inversa

Con la tecnica dell'**intersezione indietro o inversa** viene determinata la posizione di un punto misurando i due angoli formati dalle congiungenti di tre punti noti con il punto da determinare (che funge da stazione).

Il metodo dell'**irraggiamento** è la tecnica speditiva (detta per questo **celerimensura** o celerimetria) comunemente usata nel rilievo di dettaglio. Consiste nella misura di angoli e distanze rispetto ad un punto di coordinate note e ad una direzione.



Celerimensura o irraggiamento

Rilievo altimetrico

Il rilievo altimetrico (o **livellazione**) prevede la determinazione delle differenze di quota a partire da un punto di riferimento di quota nota attraverso la misura di angoli verticali (zenitali).

Oltre all'impiego di **strumenti barometrici** di misura delle quote, esistono due tecniche principali per la misura delle differenze di quota (**dislivelli**):

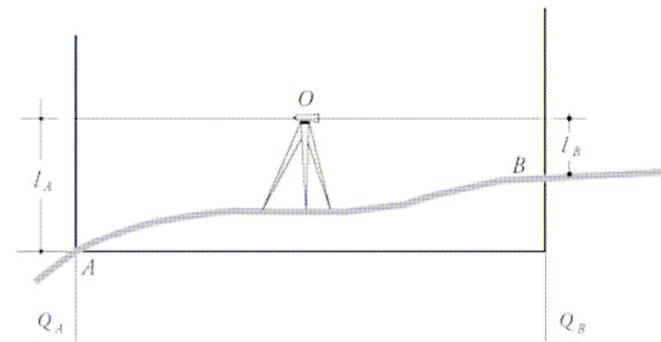
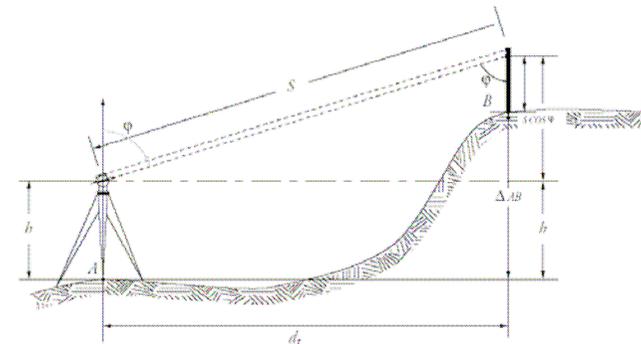
- **livellazione trigonometrica**

prevede la misura dell'angolo zenitale formato dalla congiungente tra un punto di quota nota e il punto da determinare e della distanza;

- **livellazione geometrica**

si basa sul calcolo dello scarto di quota rispetto alla direzione orizzontale lungo la congiungente tra il punto di quota nota e il punto da determinare.

I punti di quota nota, equivalenti ai vertici trigonometrici, prendono il nome di **capisaldi** di livellazione.



Strumenti topografici I

La topografia si basa sull'utilizzo di strumenti in grado di misurare angoli (orizzontali e verticali) o distanze e di determinare la posizione in modo assoluto, oltre che di strumenti di ausilio per il disegno della cartografia:

- **misure di angoli**

- teodolite/tacheometro
- livello
- stazione totale



- **misure di distanze**

- rotella metrica...
- distanziometro
- stazione totale
- teodolite + stadia (misura indiretta)



- **misure assolute di coordinate**

- GPS

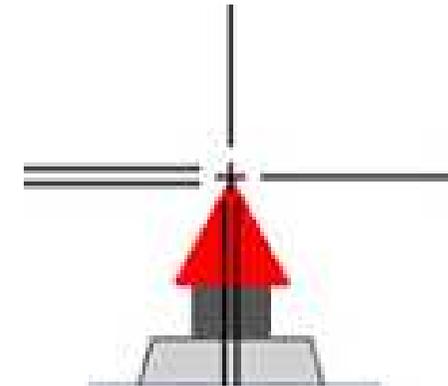
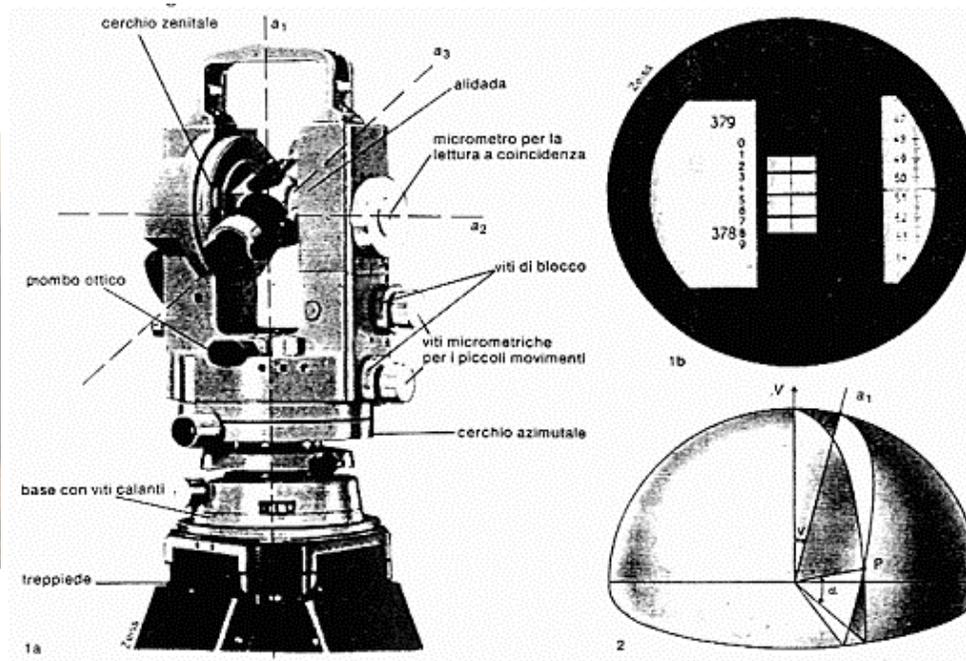
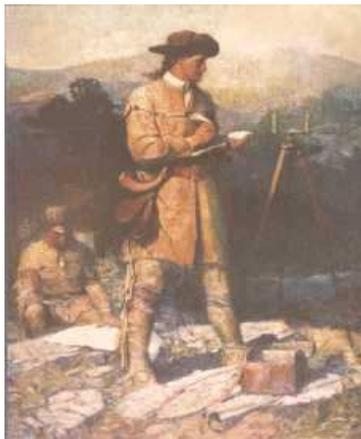
- **disegno metrico**

- tavoletta pretoriana

Strumenti topografici II

Misure di angoli

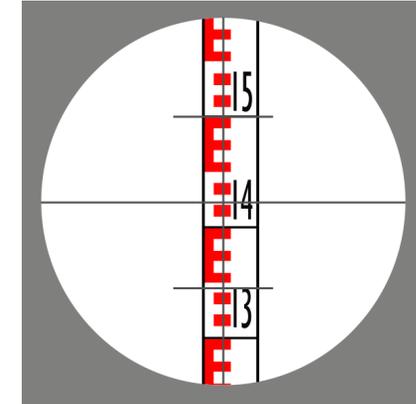
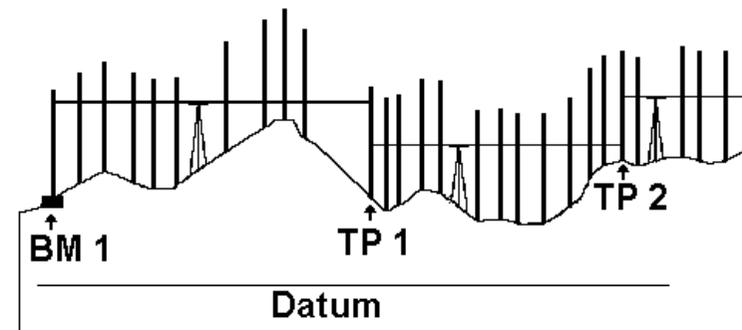
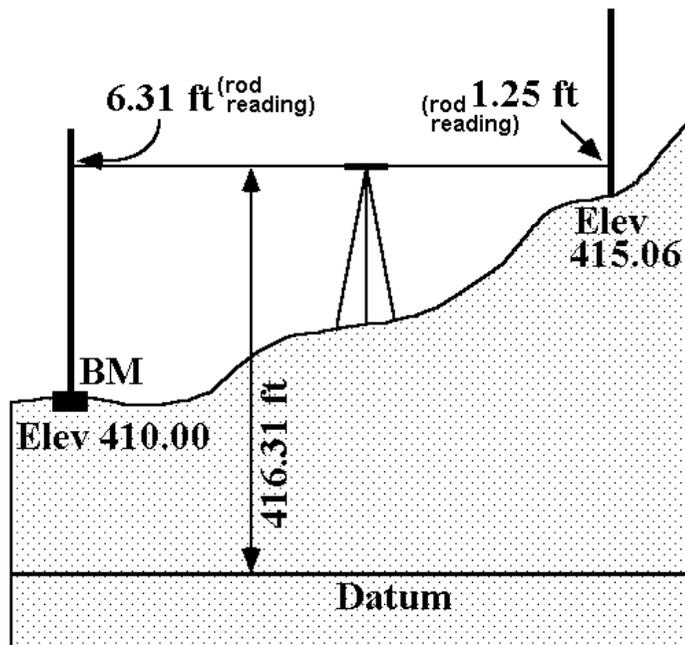
teodolite, dotato di un cannocchiale per la collimazione di oggetti distanti e munito di due cerchi graduati orizzontale e verticale su cui è possibile leggere la componente azimutale e zenitale di ogni spostamento del cannocchiale, consente la determinazione degli angoli orizzontali e verticali;



Strumenti topografici III

Misure di angoli

livello, serve, con l'ausilio di un'asta graduata detta **stadia**, a misurare le differenze di quota esistenti tra due punti (o calcolare la quota di un punto a partire da un altro di quota nota) verificando gli scarti rispetto all'allineamento orizzontale.



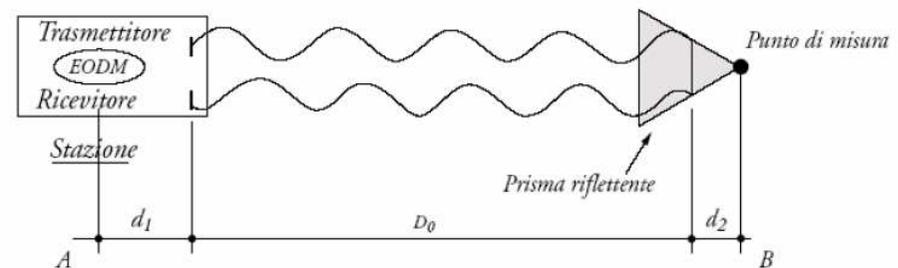
Strumenti topografici IV

Misure di distanze

Distanziometro elettro-ottico, diffuso a partire dagli anni '70, utilizza la radiazione elettromagnetica infrarossa. Ne esistono due tipi:

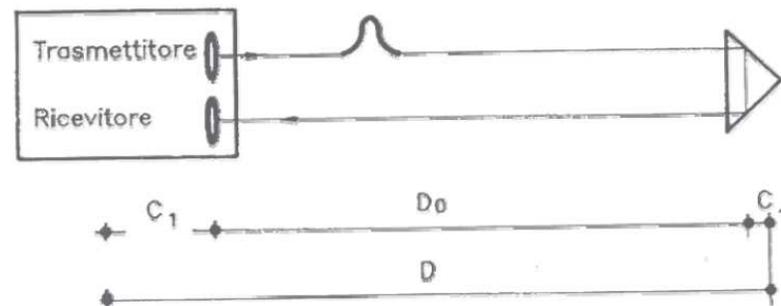
- **a misura di fase**

lo strumento emette un segnale infrarosso e misura lo sfasamento dell'onda (sinusoidale) riflessa da un **prisma** riflettente



- **a impulsi**

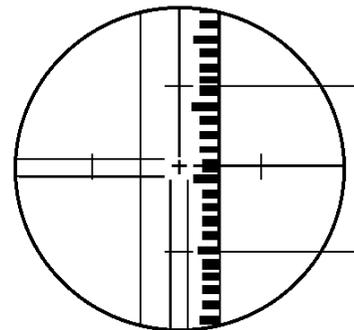
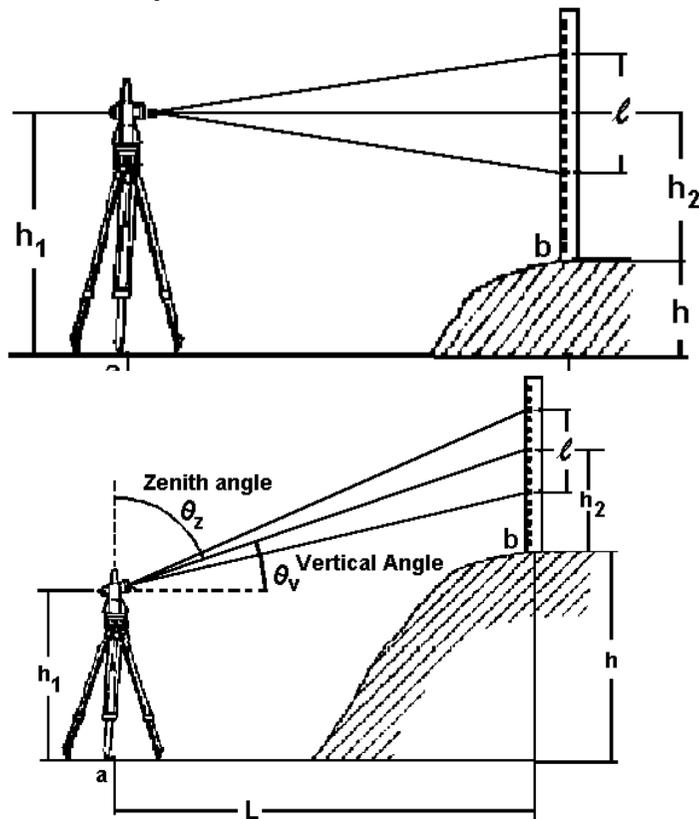
viene emesso un "impulso" (segnale di brevissima durata e alta intensità) di luce infrarossa laser. Essendo nota la velocità di propagazione del segnale, la determinazione della distanza si basa sulla misurazione del tempo di ritorno del segnale riflesso (non necessita di prisma).



Strumenti topografici V

Misure indirette di distanze

Utilizzando un teodolite e una stadia (asta graduata) è possibile determinare una distanza in modo indiretto, misurando l'angolo formato dalle direzioni corrispondenti a tacche su di una stadia (la cui distanza l è nota).



Horizontal Distance between a and b

$$L = 100 \times l \times \cos^2 \theta_v$$

$$L = 100 \times l \times \sin^2 \theta_z$$

Height Difference between a and b

$$h = 50 \times l \times \sin(2\theta_v) + h_1 - h_2$$

$$h = 50 \times l \times \sin(2\theta_z) + h_1 - h_2$$



Strumenti topografici VI

Misure di angoli e distanze

Stazione totale, strumento elettronico che consente la misura elettronica di angoli e distanze, combinando le funzioni di un teodolite con quelle di un distanziometro.



Strumenti topografici VII

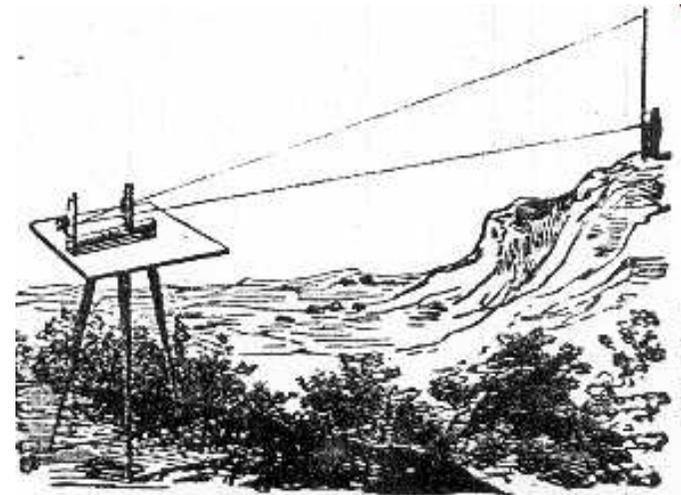
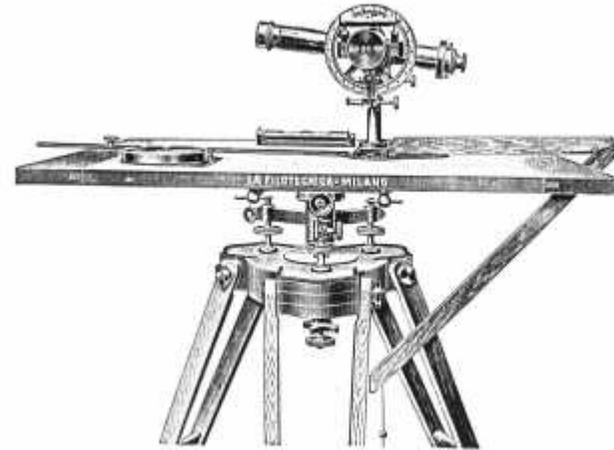
Disegno

Tavoletta pretoriana

strumento topografico che prende il nome da uno dei suoi presunti inventori, Johannes Praetorius (1537-1616).

È costituito da una tavoletta orizzontale montata su un treppiede e munita di bussola, scala dei gradi e alidada. Permette di tracciare direttamente su un foglio gli angoli di posizione dei luoghi traguardati, in modo da ottenere un'immediata trascrizione planimetrica del territorio da rilevare. Il foglio veniva orientato mediante una bussola.

Le carte in scala 1:25.000 dell'Istituto Geografico Militare sono anche note col nome di "Tavolette" proprio perché vennero originariamente costruite tramite l'uso del suddetto strumento.

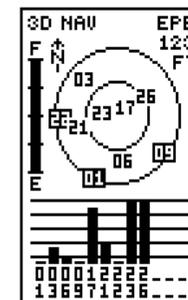
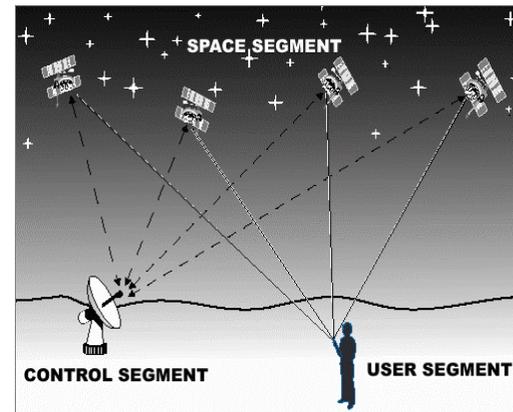


Strumenti topografici VIII

Misure dirette di coordinate

In alternativa o in abbinamento con i classici strumenti e metodi topografici attualmente molti rilievi sono oggi effettuati con il GPS.

Il **GPS**, cioè Global Positioning System (sistema di posizionamento globale) consente la determinazione della posizione “assoluta” di punti sulla superficie terrestre, grazie all’utilizzo di appositi ricevitori che registrano i segnali emessi da una rete di satelliti in orbita intorno alla Terra.



Il sistema GPS

Il sistema **GPS**, acronimo di **Global Positioning System**, consente la localizzazione di entità sulla superficie terrestre, facendo riferimento alla posizione di satelliti in orbita intorno alla Terra.

Fu introdotto inizialmente soltanto per scopi militari dall'esercito americano, che tuttora lo gestisce, ma è oggi ampiamente utilizzato anche per scopi civili.

Con il termine GPS si indica propriamente si indica soltanto il sistema di posizionamento americano, ma esiste anche un sistema di posizionamento satellitare russo (**GLONASS**).

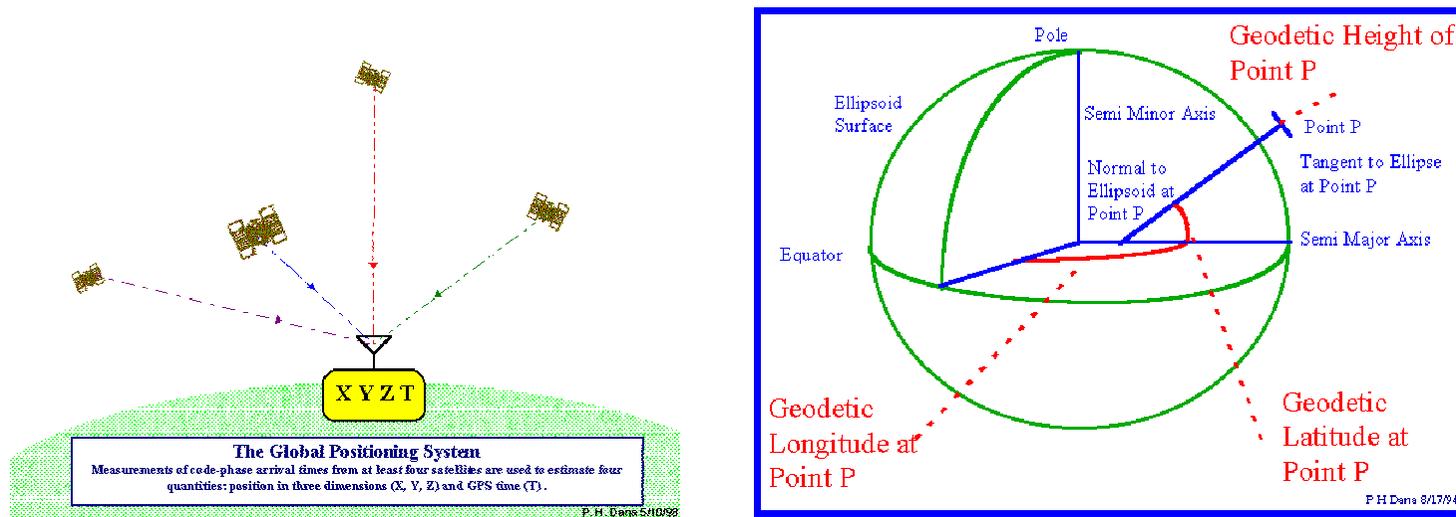
E' in corso di realizzazione anche un sistema europeo, denominato **GALILEO**, che entrerà in funzione dal 2013.

Esiste inoltre un sistema cinese, anch'esso in corso di sviluppo (COMPASS).

L'insieme dei di diversi sistemi di posizionamento satellitare prende il nome di **Global Navigation Satellite System** (GNSS).

Il sistema GPS

Obiettivo del sistema GPS, e di tutti i sistemi GNSS, è quello di determinare in tempo reale, la posizione di un osservatore rispetto a un sistema di riferimento geocentrico (sistema WGS84, quota misurata come altezza sull'ellissoide).



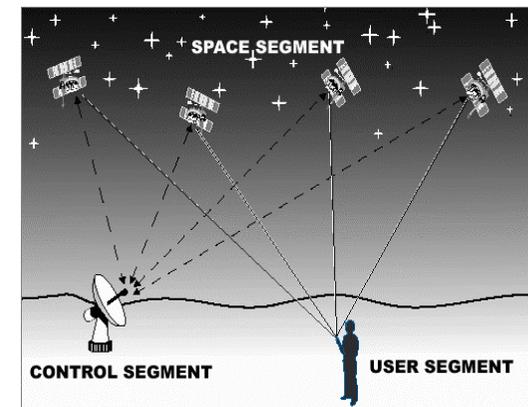
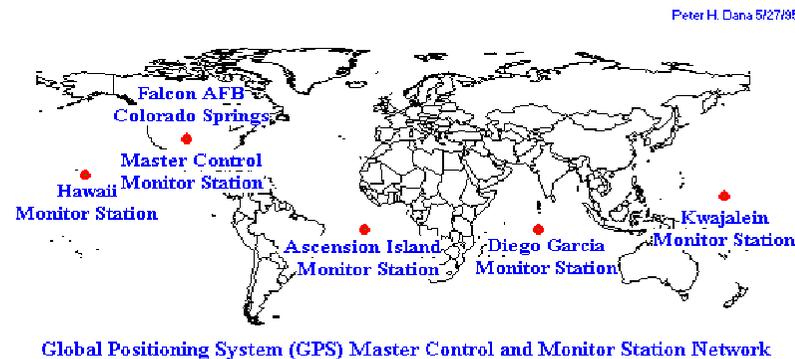
L'informazione sulla posizione è ottenibile istante per istante da un sistema di satelliti in orbita attorno alla terra.

Appositi strumenti (ricevitori GPS) sono in grado di captare il segnale radio emesso dai satelliti e di determinare la posizione dell'osservatore.

Il sistema GPS

Il funzionamento del sistema GPS, l'unico che attualmente è pienamente in funzione, si basa sull'interazione delle tre parti fondamentali in cui è articolato il sistema (segmenti):

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

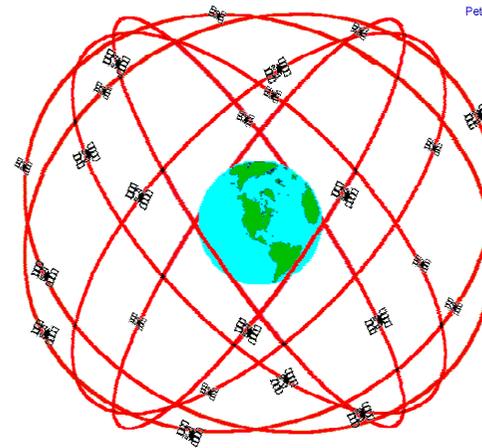
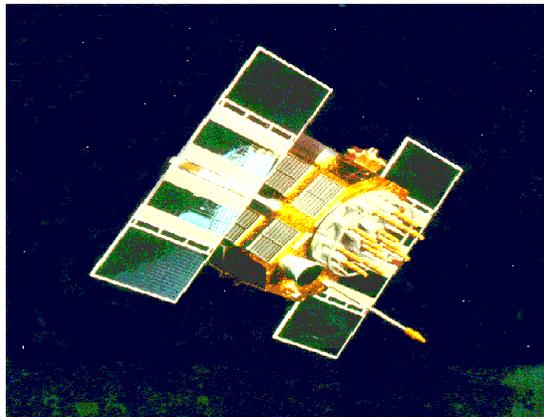


Segmento spaziale

Il segmento Space consiste di almeno 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:

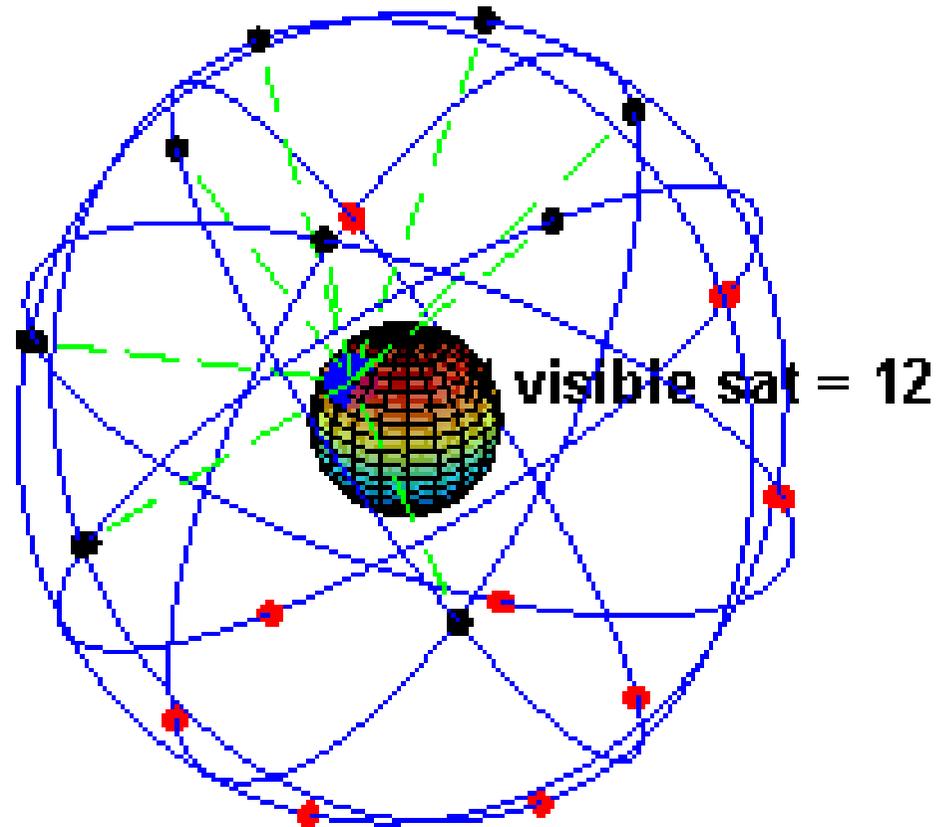
- Orbite geostazionarie circolari di 20200 km di raggio (disposti su 6 piani orbitali inclinati di 55°, con almeno 4 satelliti ciascuno) con periodi di rivoluzione di 12 ore;
- Distribuzione dei satelliti tale da garantire la visibilità di almeno 6 satelliti in qualsiasi momento e da qualsiasi parte del pianeta.
- Equipaggiamento con orologi atomici al cesio ad elevata precisione (errore di un nanosecondo ogni 3 ore circa)
- Invio continuo di un segnale radio che contiene dati di “tempo” e di “posizione”, su due diverse bande.



Peter H. Dana 9/22/98

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

Segmento spaziale



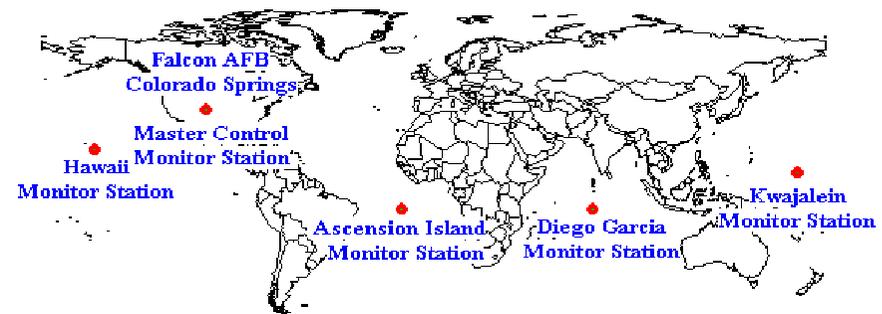
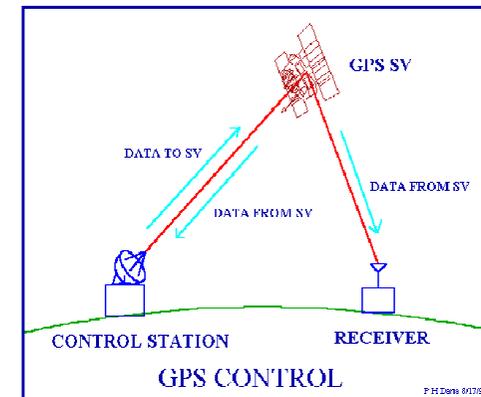
Segmento di controllo

Il segmento di controllo (Control Segment) è composto da una stazione principale e 4 stazioni secondarie di controllo a terra, che ha la funzione di verificare continuamente l'affidabilità dei dati trasmessi dai satelliti.

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

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

- centro di controllo che presiede al governo del sistema (*Master Control Station*) a Colorado Springs (USA);
- 4 stazioni di monitoraggio (Monitor Stations), 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),
 - Diego Garcia (Oceano Indiano),
 - atollo di Kwajalein (Oceano Pacifico).



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

Segmento utente

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

Ogni ricevitore GPS è equipaggiato con:

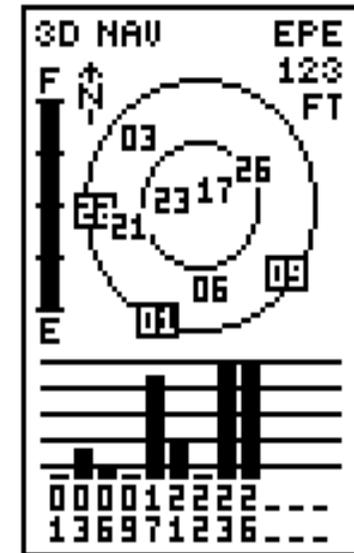
- antenna, in grado di captare il segnale radio trasmesso dai satelliti;
- processore dei dati ricevuti dai satelliti
- orologio ad alta precisione.

Componenti opzionali sono:

- display per la visualizzazione e gestione dei dati
- sistema di interfacciamento con PC (in tempo reale o a posteriori)
- dispositivi per il collegamento con altri ricevitori necessari per la correzione differenziale.

La determinazione della posizione da parte del ricevitore sul calcolo della distanza dell'osservatore da almeno 4 satelliti contemporaneamente basato sulla valutazione del tempo di ricezione del segnale emesso dai satelliti.

Esistono diversi tipi di ricevitori, che si distinguono sulla base delle precisioni ottenibili e per le applicazioni.



Posizionamento

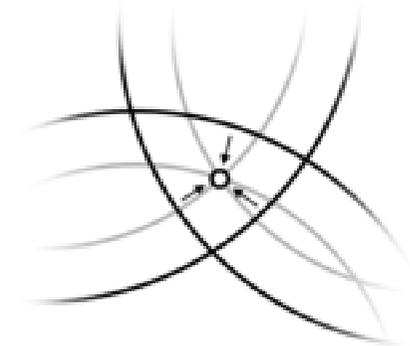
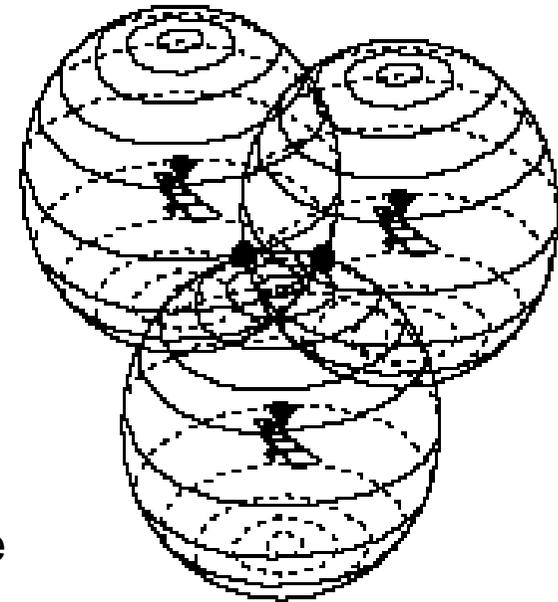
Il principio di funzionamento del GPS si basa sulla determinazione della distanza dell'osservatore da almeno tre satelliti, la cui posizione nello spazio è nota con precisione (**trilaterazione**).

La distanza dal primo satellite individua la posizione del ricevitore sulla superficie di una sfera centrata sul satellite stesso.

La determinazione della seconda distanza consente il posizionamento sul cerchio di intersezione tra le due sfere.

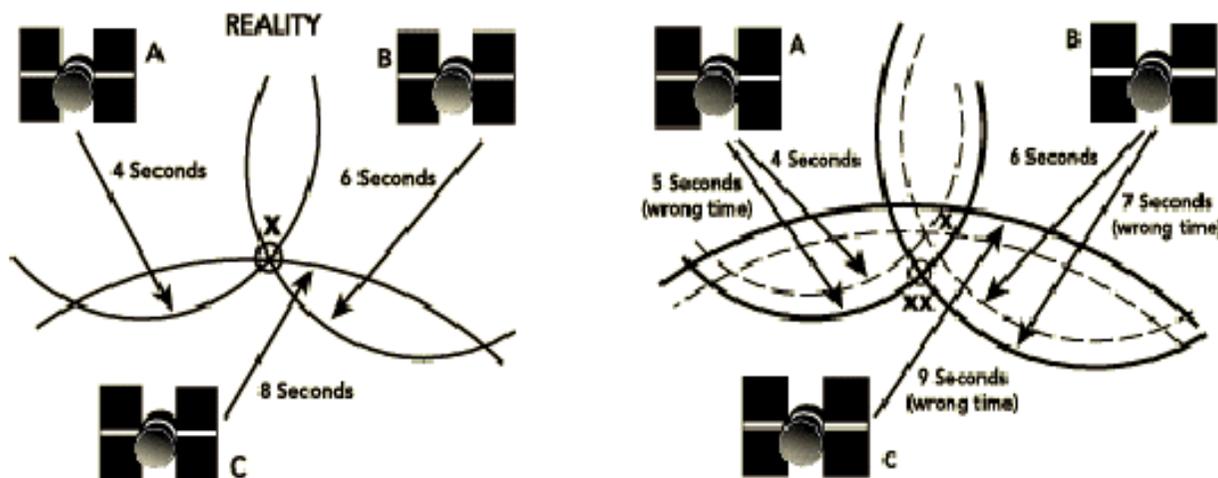
La terza distanza permette di individuare due punti in corrispondenza delle intersezioni del cerchio con la sfera centrata sul terzo satellite. Delle due soluzioni viene considerata quella vicina alla superficie terrestre.

La posizione così ottenuta è una posizione relativa allo spazio individuato dai tre satelliti e riferita ad un sistema di coordinate denominato ECEF (Earth Centered, Earth Fixed). Per avere un riferimento di posizione più convenzionale, altitudine sul livello del mare e coordinate geografiche relative all'ellissoide di riferimento ottimale per la zona del globo in cui ci si trova, il ricevitore dovrà effettuare opportune conversioni di coordinate.



Posizionamento

Il ricevitore GPS è in grado 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 è pari a quella della luce ($c = 300.000 \text{ km/s}$), il ricevitore è in grado di risalire alla sua distanza da ciascun satellite. Ne consegue che è necessario sapere con precisione l'istante di tempo in cui il segnale viene trasmesso e misurare l'istante d'arrivo del segnale 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, per risolvere l'ambiguità nella determinazione della posizione ottenuta per trilaterazione (distanze, o meglio pseudo-distanze, da tre satelliti), si utilizza una quarta misura che indica di quanto l'orologio del ricevitore deriva rispetto a quelli di riferimento dei satelliti nello spazio.



Posizionamento

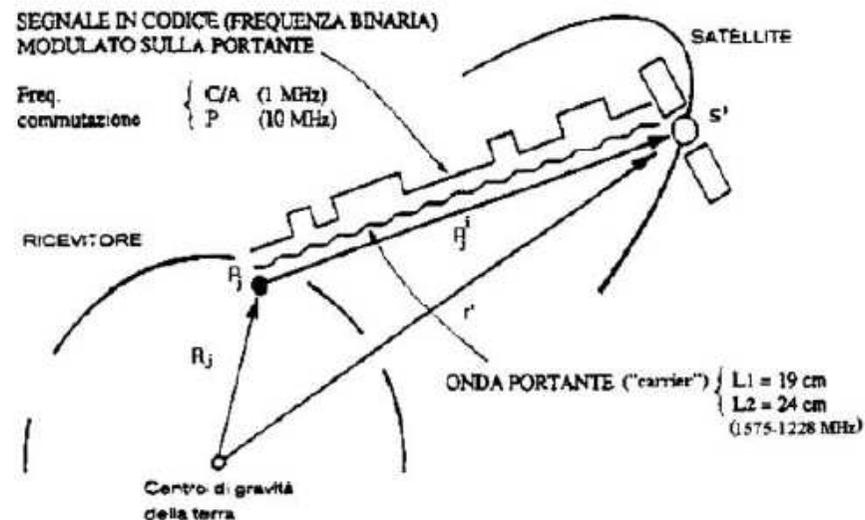
Ricapitolando, la determinazione della posizione di un punto si basa sulla determinazione di 4 valori:

- terna di coordinate (x, y, z) , punto nello spazio che può essere determinato in maniera univoca come l'intersezione di tre superfici sferiche sulla base delle pseudo-distanze (pseudo-range) da tre satelliti;
- tempo (t) , indicazione dell'imprecisione dell'orologio del ricevitore e quelli atomici dei satelliti.

La determinazione delle pseudo-distanze avviene misurando lo sfasamento tra il segnale emesso da ciascun satellite e ricevuto dall'utente e un segnale identico e sincronizzato generato dal ricevitore.

Sulla base delle caratteristiche del segnale, possono essere effettuati diversi tipi di misure con precisioni diverse:

- misure di codice
- misure di fase.



Segnale GPS

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

1. Ciascun satellite tra quelli visibili al ricevitore invia un proprio segnale su due frequenze (componente portante):

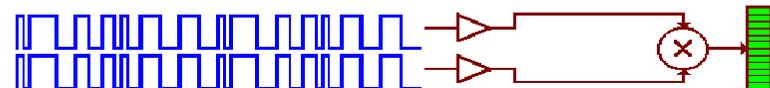
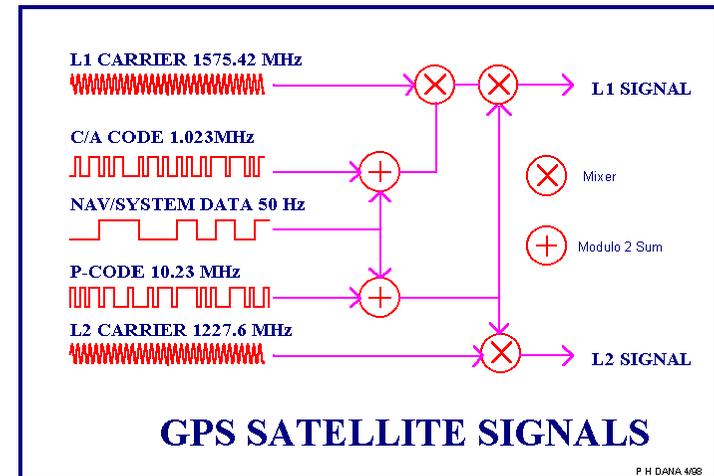
L1 = 1575.42 MHz

L2 = 1227.60 MHz

2. Attraverso la modulazione di ampiezza, vengono generati anche 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 anche un **messaggio D** che trasmette importanti informazioni, quali le effemeridi dei satelliti (parametri orbitali), stato di salute, precisione degli orologi (componente messaggio).

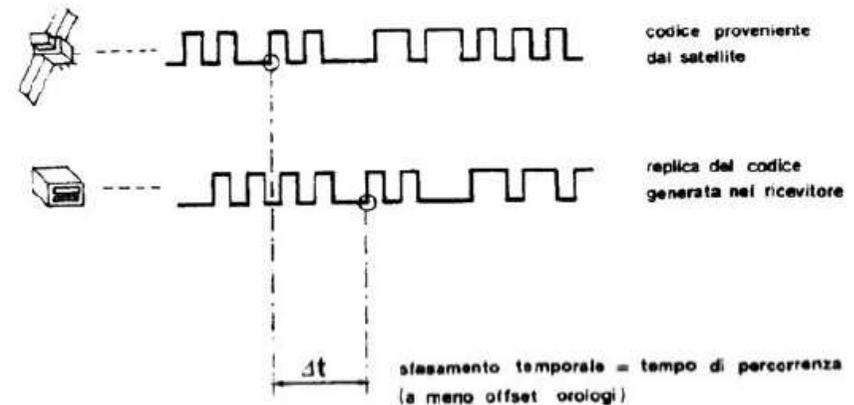


Misure GPS

In base alle diverse componenti del segnale, possono essere effettuati diversi tipi di misure con diversa precisione:

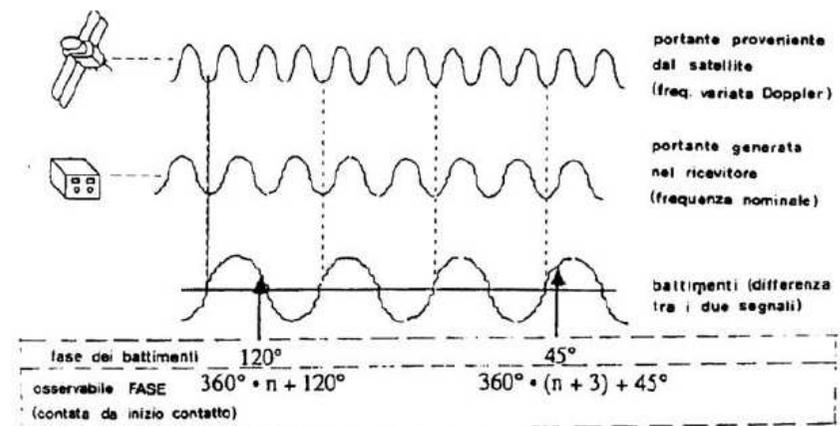
- **misure di codice:**

Utilizzano la componente impulsiva (codice C/A o codice P se disponibile).
Si basano sulla misura del “tempo di volo” e sulla correlazione tra il segnale emesso dai satelliti e quello generato dal ricevitore.



- **misure di fase**

Utilizzano la componente portante nelle frequenze L1 e L2.
Si basano sulla misura delle differenze di fase tra il segnale emesso dai satelliti e quello generato dal ricevitore.



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 m
- Costo ridotto

- **Ricevitori a ricezione di fase, singola frequenza:**

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

- **Ricevitori a ricezione di fase, doppia frequenza:**

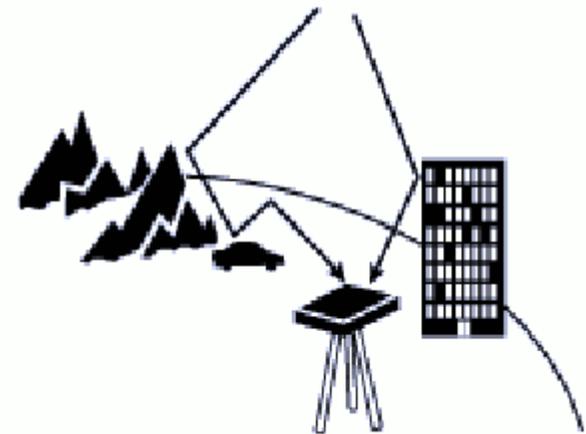
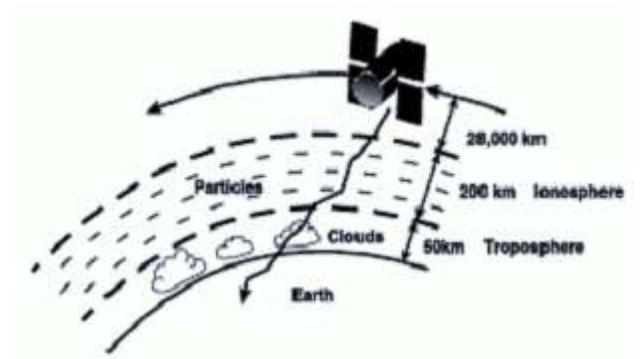
- Rilevano entrambe le frequenze L1 e L2.
- Posizionamenti di precisione
- Precisione tipica: centimetrica
- Costo molto elevato



Errori nelle misure GPS

La precisione del calcolo del tempo di volo è influenzata da tre tipologie di errori:

- **Errori accidentali** ($\approx 1\%$ della lunghezza d'onda)
- **Errori sistematici (BIAS):**
 - Errori di orologio (satellite e/o ricevitore): 1m
 - Errori d'orbita: 1m
 - Errori di rifrazione (ionosferica e troposferica): 10m
- **Errori di osservazione:**
 - Percorsi “multipath” (il segnale satellitare è deviato da ostacoli sul percorso: non trascurabile in ambiente urbano): 0.5m
 - Elettronica del ricevitore
 - Interferenze elettromagnetiche
 - Posizione e geometria dei satelliti rispetto all'osservatore

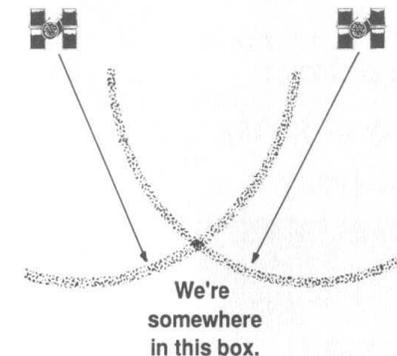
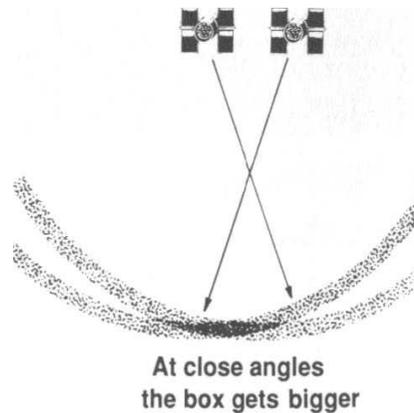
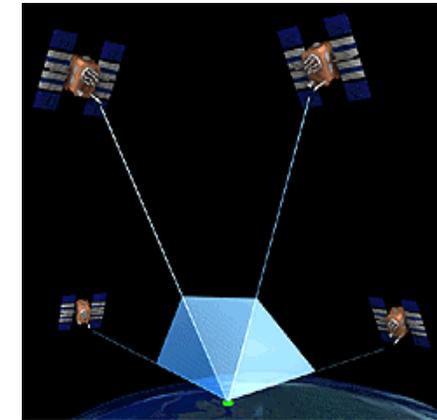
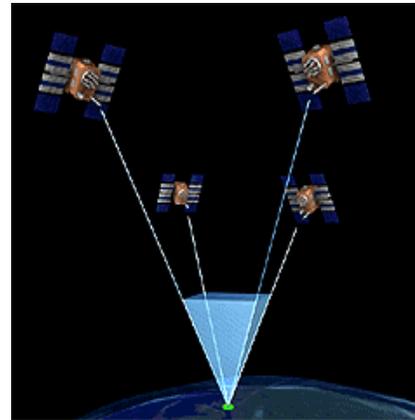


Errori nelle misure GPS

Uno degli elementi che influenzano maggiormente la precisione della misura è la configurazione dei satelliti (altezza sull'orizzonte) e la loro visibilità.

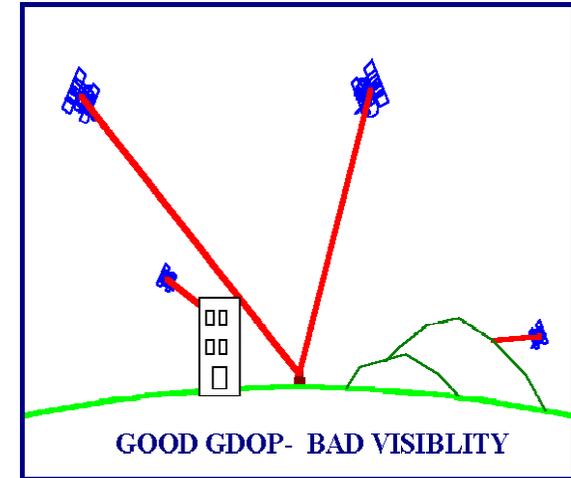
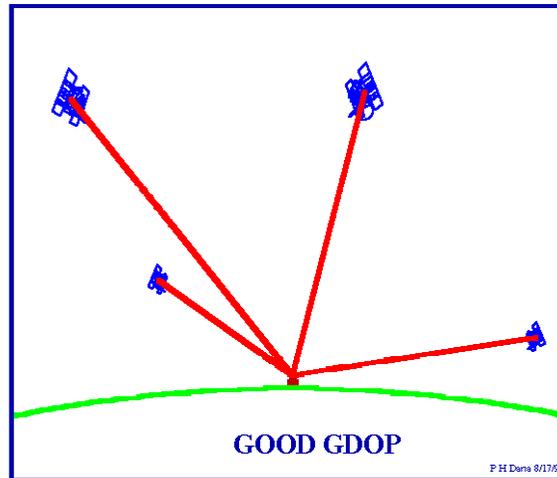
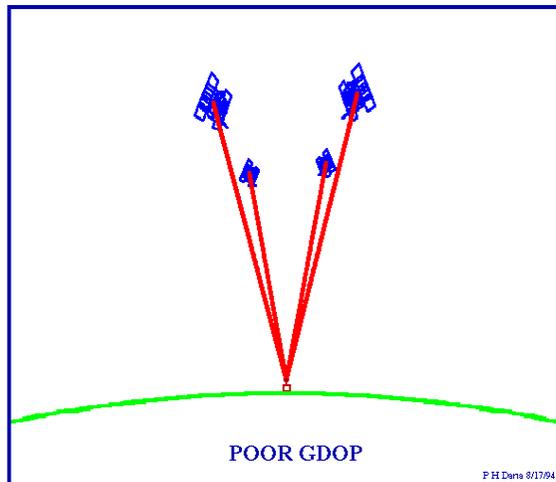
Il parametro **GDOP** (Geometric Dilution Of Precision) dà un'indicazione della distribuzione dei satelliti attorno al ricevitore. Può essere scomposto in 4 componenti:

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



Note la posizione e l'ora nella quale si dovrà svolgere il rilievo, è possibile prevedere la configurazione dei parametri GDOP, e di conseguenza pianificare un rilievo in modo da minimizzarli nella finestra oraria di acquisizione.

Errori nelle misure GPS

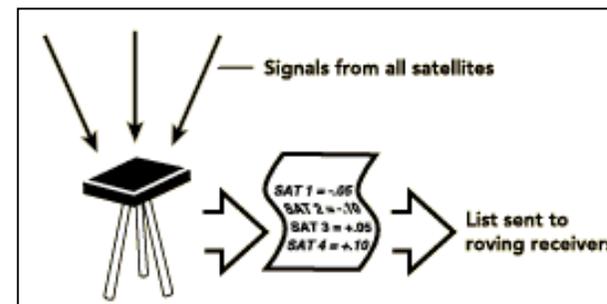
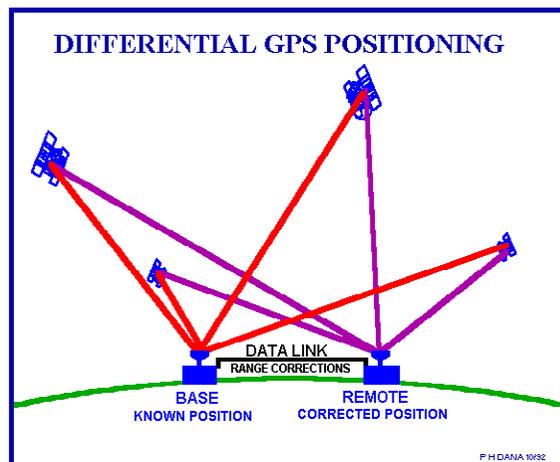


Correzione differenziale

Quasi tutti gli errori (ad eccezione di quelli dovuti a percorsi multipath) possono essere eliminate utilizzando un secondo ricevitore GPS su postazione fissa la cui posizione sia nota.

Istante per istante la stazione fissa (detta **master**) calcola gli errori di codice e fase, confrontando il dato di posizione ricevuto dai satelliti con la propria posizione nota. Gli scarti calcolati per la stazione fissa vengono utilizzati per correggere gli errori di misura del ricevitore mobile (detto **rover**).

La correzione può avvenire in **tempo reale** (RTK, cioè real time kinematic) o in un secondo momento (post-processing), utilizzando i dati storici delle variazioni di codice e fase (rilievo **statico**) registrati dal ricevitore master. Il miglioramento della precisione è notevole, purché la distanza tra i due ricevitori non sia elevata.



Correzione differenziale

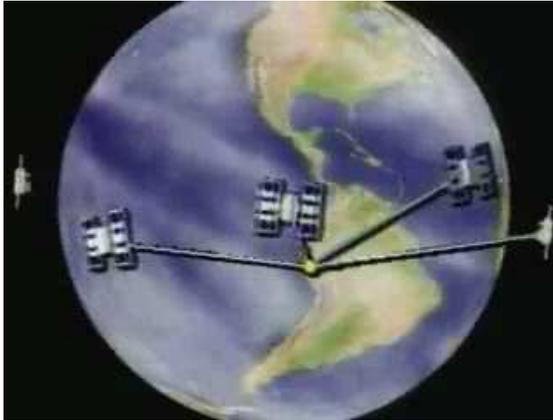
La stazione master che consente il calcolo delle misure di correzione può essere:

- **temporanea**, quando si tratta di un ricevitore mobile analogo a quello utilizzato per le misure, che viene collocato in corrispondenza di un punto di coordinate note (ad es. vertice trigonometrico);
- **permanente**, se si tratta di una postazione ricevente fissa (di solito installata presso un ente pubblico o di ricerca) che acquisisce in modo continuo dati di posizione GPS.

I dati di correzione acquisiti dalle stazioni master possono essere trasmessi in tempo reale al ricevitore rover tramite radio o GSM (protocollo RTCM) oppure archiviati in appositi formati di scambio (RINEX) e utilizzati successivamente per la correzione.

L'insieme di più **stazioni permanenti** collegate tra loro prende il nome di **rete di posizionamento GPS** e consente di potenziare ulteriormente la funzione delle stazioni permanenti ai fini della correzione differenziale: i dati di correzione provenienti dalle singole stazioni vengono gestiti in modo unitario per assicurare una copertura completa e omogenea del territorio.





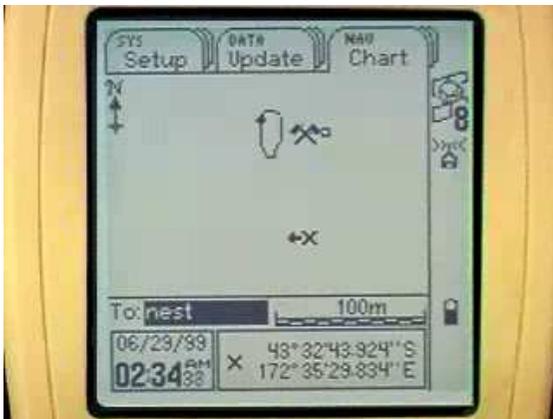
Uso del GPS

Il ricevitore GPS è in grado di acquisire la posizione di singoli punti nello spazio (waypoints) o di percorsi, cioè di sequenze di punti (routes).



Il ricevitore registra insieme alla posizione (coordinate) dei punti una serie di informazioni associate, ad esempio un codice identificativo utile a collegare ulteriori dati.

Successivamente alle operazioni in campagna, i dati acquisiti con il ricevitore possono essere scaricati tramite un PC e processati in ambiente GIS.



E' possibile inoltre effettuare operazioni di post-processamento, per migliorare la posizione delle coordinate tramite la tecnica della correzione differenziale.



Rete IGM95

L'IGM ha costruito una nuova rete geodetica di inquadramento dei lavori topografici e cartografici, nel Datum WGS84, basata su misurazioni GPS di elevata precisione. Tali punti, di cui si possono acquistare le monografie, consentono di effettuare rilievi con DGPS per ottenere localizzazioni con elevata precisione. Inoltre, in corrispondenza di quei punti che già appartenevano alla rete trigonometrica del Datum Roma40, vengono calcolati i coefficienti per trasformare le coordinate dal Datum Nazionale al Datum WGS84 e viceversa.

GPS (USA) e GLONASS (Russia)

SATELLITI

Satelliti

Satelliti per piano

Inclinazione/raggio/periodo dell'orbita

GPS

24 su 6 piani orbitali

4 con distanze differenti

55°/ 26.560 Km/ 11h 58m

Glonass

24 su 3 piani orbitali

8 ugualmente distanziati

64.8°/ 25.510 Km/ 11h 15m

CODICE C/A (L1)

Code rate/Chip length

Selective Availability

1,023 MHz/ 293 m

sì

0,511 MHz/ 587 m

No

CODICE P

Code rate/Chip length

Selective Availability

Crittografia del segnale

Separazione del segnale

Frequenze portanti

10,23 MHz/ 29,3 m

sì

sì

CDMA

1575,42 MHz(K tra -7 e 24)

1227,60 MHz(K tra -7 e 24)

5,11 MHz/58,7 m

No

No

FDMA

1602 + Kx0,5625 MHz

1246 - Kx0,4375 MHz

ALMANACCO

Durata

Capacità

Riferimento orario

GPS

12,5 m

37500 bit

UTC (US Naval Observatory)

Glonass

2,5 m

7500 bit

UTC (SU, Russia)

Bibliografia

- *GPS. Il GPS per il mapping GIS*, Roma, Crisel, 2007, pp. 11-20, 35-51, volume disponibile anche in formato digitale all'indirizzo http://www.trafficlabor.eu/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=523&Itemid=26&lang=it
- A. Cina, *GPS. Principi, modalità e tecniche di posizionamento*, Torino, Celid, 2000, pp. 9-23.
- Wikipedia, *Global Positioning System*
http://it.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System (4/04/2011).

Per approfondimenti:

- L. Biagi, *I fondamentali del GPS*, Como, Politecnico di Milano. Laboratorio di geomatica, 2009, volume disponibile in formato digitale all'indirizzo <http://geomatica.como.polimi.it/workbooks/n8/list.php>
- Assogeo, Trimble, *GPS. Guida all'uso del GPS per il rilevamento del territorio*, Rimini, Maggioli, 2005.



Attribuzione-Non commerciale-Condividi allo stesso modo 2.5 Italia

Tu sei libero:



di riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare quest'opera



di modificare quest'opera

Alle seguenti condizioni:



Attribuzione. Devi attribuire la paternità dell'opera nei modi indicati dall'autore o da chi ti ha dato l'opera in licenza e in modo tale da non suggerire che essi avallino te o il modo in cui tu usi l'opera.



Non commerciale. Non puoi usare quest'opera per fini commerciali.



Condividi allo stesso modo. Se alteri o trasformi quest'opera, o se la usi per crearne un'altra, puoi distribuire l'opera risultante solo con una licenza identica o equivalente a questa.

- Ogni volta che usi o distribuisi quest'opera, devi farlo secondo i termini di questa licenza, che va comunicata con chiarezza.
- In ogni caso, puoi concordare col titolare dei diritti utilizzi di quest'opera non consentiti da questa licenza.
- Questa licenza lascia impregiudicati i diritti morali.