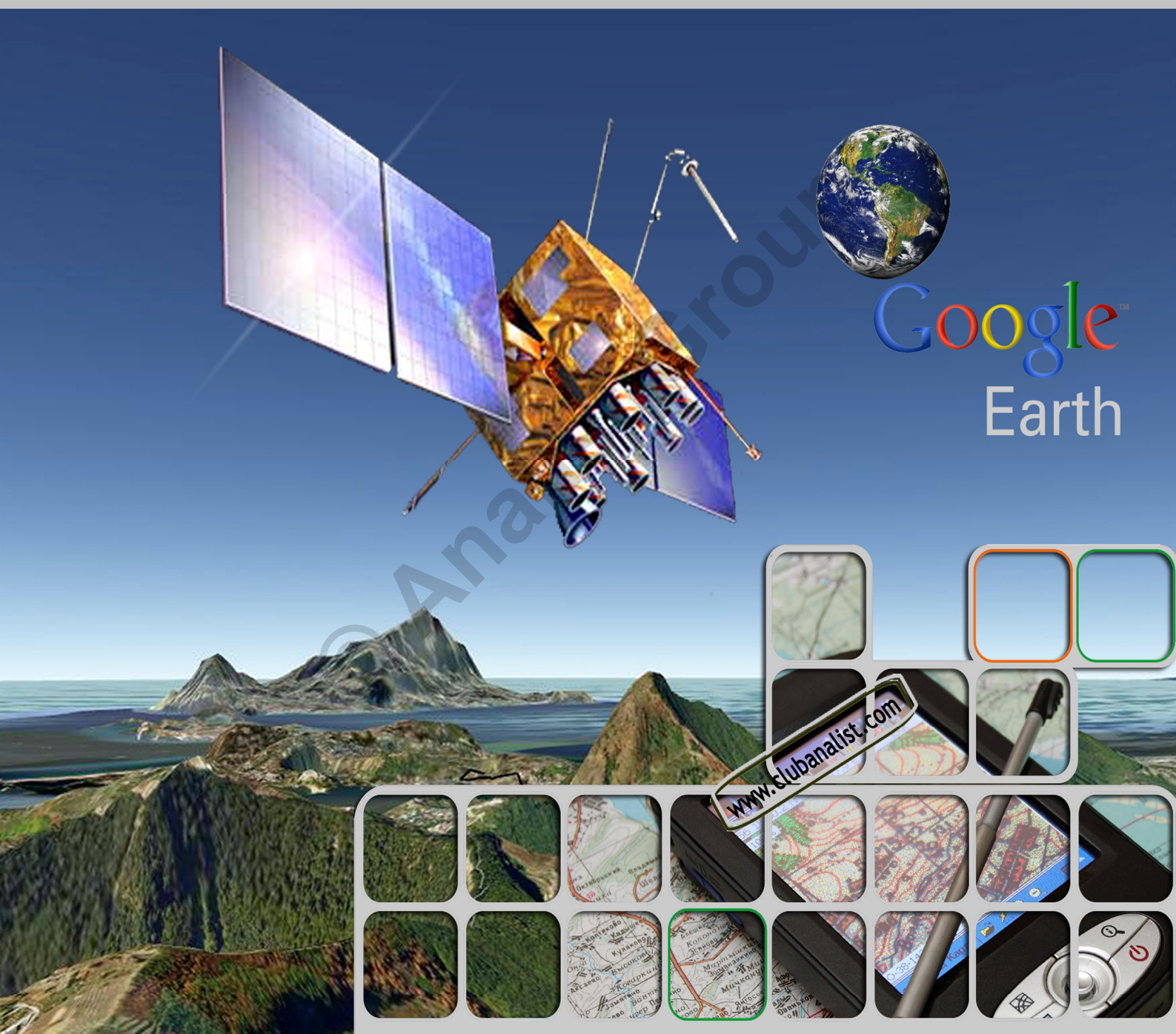


GPS

**Tutto quello che avreste dovuto sapere
e che non avete avuto il tempo di leggere**



GPS - Global Positioning System

GPS

**Tutto quello che avreste dovuto sapere e
che non avete avuto il tempo di leggere**

© Analist Group

Sommario

Capitolo 1 - Introduzione	6
1.1 - Un po' di storia	6
1.2 - Il Sistema Glonass	7
Capitolo 2 - GPS: Principio operativo e caratteristiche	10
2.1 - Principio di base del posizionamento GPS	10
2.2 - Principio di Funzionamento	11
2.3 - Cenni sui Satelliti Artificiali	11
2.4 - Frequenze usate e Codici trasmessi	12
2.5 - Tempo Standard di riferimento o GPS Time	13
2.6 - Degradazione artificiale della precisione	13
2.7 - Errori del Sistema GPS	14
2.8 - Errori dipendenti dai Satelliti	14
2.9 - Errori dipendenti dal Ricevitore	14
2.10 - Errori prodotti dalle riflessioni multiple (Multipath)	15
2.11 - Errori dovuti alla propagazione dei segnali nella ionosfera e nella troposfera	16
2.12 - Errori introdotti dal sistema di Controllo Terrestre	16
2.13 - Altri tipi di errori	16
Capitolo 3 - Ricezione ed utilizzo dei segnali	18
3.1 - I ricevitori GPS	18
3.2 - Misure con il ricevitore GPS	19
3.3 - Misura dei ritardi e calcolo delle distanze	20
3.4 - Posizione del ricevitore	20
3.5 - Sistema di riferimento: WGS 84	20
3.6 - Altri Sistemi di riferimento: IGM95, ROMA40	22
Capitolo 4 - Uso geodetico e topografico del sistema GPS	23
4.1 - Modalità di esecuzione delle misure	23
4.2 - Utilizzo del GPS in modo statico	23
4.3 - Utilizzo del GPS in modo cinematico e statico rapido	23
4.4 - Utilizzo del GPS in modalità "real time"	24
4.5 - Reti di baselines	24
4.6 - Elaborazione dei dati acquisiti	24
4.7 - Tecniche di elaborazione dei dati	25
Capitolo 5 - Vantaggi e svantaggi del sistema GPS rispetto alle tecniche topografiche classiche	26
5.1 - Vantaggi del GPS rispetto alle tecniche classiche	26
5.2 - Svantaggi e problematiche del GPS	26
5.3 - Il problema della disponibilità del servizio GPS	27
Capitolo 6 - Gli apparecchi GPS	28
6.1 - Gli apparecchi GPS a singola frequenza ed a doppia frequenza	28
6.2 - Tecniche di rilievo con ricevitori GPS a singola frequenza	29

6.3 - Tecniche di rilievo con ricevitori GPS a doppia frequenza	30
Capitolo 7 - Domande e Risposte	31
7.1 - Corretto utilizzo degli strumenti GPS	31
7.2 - Come posizionare la Base	31
7.3 - Come posizionare il Rover	32
7.4 - Caso particolare: Uso del Ricevitore GPS sotto le piante e/o in prossimità di esse	33
7.5 - Domanda 1: Nella topografia moderna QUANDO è necessario integrare il GPS con altri strumenti topografici?	34
7.6 - Domanda 2: Utilizzare il GPS nei rilievi catastali comporta vantaggi o svantaggi?	35
7.7 - Domanda 3: Che cosa è PREGEO?	36
7.8 - Domanda 4: Che cosa è il libretto delle misure e come va utilizzato?	36
7.9 - Osservazione: Descrizione (riga per riga) del libretto delle misure	36
7.10 - Domanda 5: Cosa sono le baseline GPS?	42
7.11 - Domanda 6: Le baseline GPS come possono essere usate per il rilievo catastale?	43
Capitolo 8 - Sistemi di Rappresentazione e Trasformazione delle Coordinate	45
8.1 - La Proiezione Naturale (Sanson-Flamsteed)	45
8.2 - La Proiezione di Mercatore	46
8.3 - Sistema di rappresentazione Gauss-Boaga	47
8.4 - Sistema U.T.M.	47
8.5 - Sistema di Rappresentazione Cassini-Soldner	49
8.6 - Definizione di DATUM geodetico	50
8.7 - Sistemi di trasformazione delle coordinate	50
8.8 - Sistemi di trasformazione delle coordinate: da Geografiche Ellissoidiche a Cartesiane Geocentriche (e viceversa)	50
8.9 - Sistemi di trasformazione delle coordinate: da Cartesiane Geocentriche a Cartesiane Locali (e viceversa)	51
8.10 - Trasformazioni di DATUM Geodetico	53
8.11 - Trasformazioni fra sistemi cartesiani tridimensionali	53
Capitolo 9 - GeoCalc	55
Capitolo 10 - Glossario	60
Capitolo 11 - Bibliografia	66
Capitolo 12 - Sitografia	69

Condizioni di Licenza d'Uso

Il presente documento contiene un accordo tra lei, Utente Finale di un programma di elaborazione Analist Group (di seguito "Software") e la Analist Group S.r.l., con sede in via Nazionale 18, 83013 Mercogliano (AV). Aprendo la confezione sigillata dei dischi, Lei accetta tutte le condizioni della presente licenza. Se Lei non accetta anche una sola delle clausole della presente licenza, non apra la confezione e restituisca il pacchetto nel posto in cui l'ha comperato, essendo Suo diritto ottenere il rimborso di quanto pagato. Non Le sarà rimborsato alcunché se il pacchetto è stato aperto, se il pacchetto non è completo o se sono passati più di otto giorni dalla data di acquisto.

CONTENUTO DELLA LICENZA

In considerazione del pagamento da parte Sua dell'intero prezzo di acquisto e della Sua accettazione di questo accordo nella sua completezza, Analist Group Le concede, in via non esclusiva, LICENZA D'USO della copia del Software acquistato. Il Software viene fornito in forma eseguibile. La licenza d'uso non comprende la facoltà di ottenere il Software in formato sorgente (text files) né di disporre dei tracciati record e della relativa documentazione logica e/o di progetto. Tutti i diritti di utilizzazione economica del Software sono riservati ad Analist Group cui spetta ogni diritto di apportare modifiche e integrazioni nonché il diritto di incorporarlo in altro software. Lei non potrà in nessun caso e comunque tradurre, trasformare, adattare, adeguare o modificare in qualsiasi modo il Software neanche qualora dette modifiche fossero rese necessarie dall'uso consentito o dalla necessità di correggere errori, o dalla necessità di far funzionare il Software su elaboratori diversi. L'utilizzazione del Software in versione monoutente Le è consentita solo su un elaboratore. Per estendere l'uso su ulteriori postazioni aggiuntive non collegate o in configurazione di rete locale Lei dovrà richiedere le eventuali licenze d'uso, ed i prodotti specifici alle normali condizioni di Analist Group. Lei non può cedere la presente licenza o rendere comunque disponibile il Software ne' alcuna delle sue parti, manuali e documentazioni, neanche temporaneamente, a terzi, ne' a titolo oneroso ne' a titolo gratuito. Le e' vietato estrarre copia del Software, o di parte di esso, ad eccezione di una unica copia a scopo di sicurezza (Backup) da usare in caso di danneggiamento della copia originale e solo in sostituzione, e quindi non contestualmente, a questa. Analist Group mette a Sua disposizione tutte le informazioni necessarie per ottenere la interoperabilità con o di altri programmi autonomamente creati. Le è, pertanto, vietato fare o consentire che altri facciano attività di decompilazione del Software. Il Software può essere dotato di meccanismi di protezione. Le è vietato manomettere l'ingegneria o interrogare il Software o tentare di trovare vie di collegamento, o scoprire i metodi di protezione per agevolare usi non autorizzati, né accedere a questi con qualsiasi tipo di codice. Le è altresì vietato concedere in locazione il software o parti di esso senza apposita, separata autorizzazione scritta di Analist Group. Il Software che risultasse da eventuali nuove releases realizzate da Analist Group e a Lei consegnate, non potrà essere considerato diverso dal Software, per cui si applicheranno ad esso le norme tutte della presente licenza.

SCELTA DEL SOFTWARE E SISTEMI OPERATIVI

Il Software è stato scelto da Lei in base alle informazioni da Lei reperite sul mercato. E' Lei responsabile della scelta del Software, della sua corretta installazione e della soluzione adottata. Il Software può funzionare esclusivamente sui sistemi operativi indicati nel manuale d'uso.

GARANZIE E RESPONSABILITA'

Il Software è fornito "Così come è" e Analist Group non garantisce che esso sia immune da errori, che abbia funzionalità non previste nelle specifiche e nei manuali d'uso e che possa essere utilizzato per particolari applicazioni. Analist Group Le garantisce, entro 30 giorni dall'acquisto, che il supporto sia esente da vizi o difetti di fabbricazione, provvedendo in caso contrario alla sua sostituzione gratuita. Analist Group non risponderà né per danni diretti, né per danni indiretti (quali perdita di produzione, perdita di dati e così via) comunque da Lei o da terzi subiti e derivanti dal funzionamento o dal non funzionamento, dall'uso o dal non uso del Software. In ogni caso, qualsiasi eventuale risarcimento dovuto da Analist Group non potrà superare il corrispettivo della presente licenza d'uso.

ASSISTENZA, AGGIORNAMENTI E MANUTENZIONE

L'assistenza, l'aggiornamento e manutenzione del software non sono compresi nella presente licenza e Le potranno essere resi sulla base di separati contratti, a titolo oneroso.

INADEMPIMENTI

In caso di inadempimento da parte Sua anche ad una sola delle clausole di cui al presente contratto, lo stesso si intenderà risolto per Suo fatto e colpa e dovrà immediatamente restituire a Analist Group ogni copia del Software in Sue mani, cancellare le copie contenute sull'elaboratore, intendendosi il corrispettivo acquisto a Analist Group e fermo restando il Suo obbligo di risarcire ogni danno.

GARANZIA DI RISERVATEZZA

I dati che Lei fornirà ad Analist Group S.r.l. potranno essere utilizzati esclusivamente per future comunicazioni commerciali, campioni gratuiti ed omaggi nel rispetto della Legge 675/96 in materia di "Tutela dei dati personali". Le ricordiamo che in qualsiasi momento potrà richiedere ad Analist Group S.r.l. la rettifica o la cancellazione dei Suoi dati scrivendo a: Analist Group S.r.l. Servizio Attivazioni - Via Nazionale 18 83013 Mercogliano (AV).

FORO COMPETENTE

Per qualunque controversia in ordine all'interpretazione ed esecuzione del presente accordo e' competente in via esclusiva Il Foro di Avellino.

COPYRIGHT

GeoCalc è un prodotto della Analist Group S.r.l.

L'autore del programma è Antonio Iannuzzi.

Nessuna parte di questo manuale può essere riprodotta o trasmessa, in qualsiasi forma o per qualsiasi intento, senza il consenso scritto della Analist Group S.r.l.

L'Uso è consentito esclusivamente all'acquirente della Licenza d'Uso per il software relativo.

Il contenuto di questo manuale è soggetto a cambiamenti senza alcun preavviso da parte dell'Autore. Analist Group non si assume nessuna responsabilità sull'eventuale presenza di errori o inaccurately che possono presentarsi nel manuale.

Tutti i diritti sono riservati

Altri diritti

Windows è un marchio registrato della Microsoft Corporation.

AutoCAD è un marchio registrato della AutoDesk AG Svizzera.

© Analyst Group

Capitolo 1 - Introduzione

Negli ultimi anni l'uso del sistema **GPS – Global Positioning System** si è diffuso in molti ambiti e per numerose applicazioni rivolte ad un'utenza civile, infatti si affianca alla topografia ed alla fotogrammetria per il calcolo delle coordinate di punti sulla superficie terrestre.

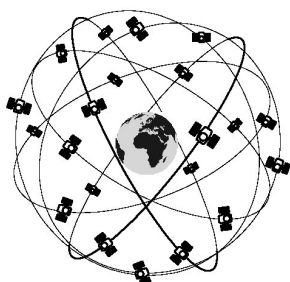
L'evoluzione tecnologica dei ricevitori GPS, con la tendenza alla digitalizzazione e alla miniaturizzazione dei componenti, ha espanso il loro campo di applicazione, non solo al settore topografico, ma anche all'integrazione dei telefoni cellulari, ai dispositivi per la navigazione e per il posizionamento.

Negli ultimi tempi, l'accuratezza ottenibile con il GPS è più che sufficiente per moltissime applicazioni di tipo Location Based, pertanto si sono intensificati gli studi rivolti al superamento di alcuni fattori negativi, quali:

- **Scarsa visibilità urbana e indoor**
- **Start-up time**
- **Elevato consumo**

La disponibilità dei servizi, il peso, la dimensione, la maneggevolezza del ricevitore GPS, uniti al prezzo e al consumo di potenza sono le caratteristiche fondamentali da cui dipende il grado di appetibilità che l'utenza può avere verso il prodotto.

1.1 - Un po' di storia



Il **sistema GPS – Global Positioning System**, la cui denominazione completa è NAVSTAR GPS – Navigation System with Time And Ranging Global Positioning System (Sistema di posizionamento globale mediante misure di tempo e distanza rispetto a satelliti per navigazione), è un sistema satellitare basato su una costellazione di 24 satelliti, progettata in modo da renderne visibili fino a 12 contemporaneamente, da ogni punto della superficie terrestre, in ogni ora diurna e notturna.

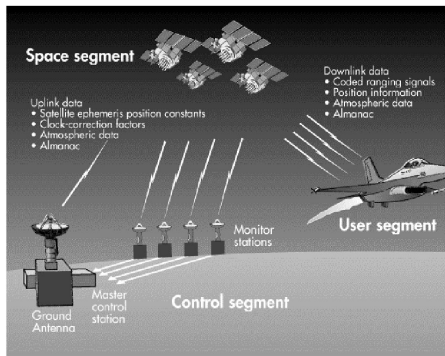
Il programma per la realizzazione di questo sistema fu idealizzato e realizzato dal **Dipartimento della Difesa degli USA** nel **1973**, con scopi prettamente militari. In realtà i progettisti del sistema fecero in modo che anche i civili potessero usarlo, ma con una minore precisione. Nel corso degli anni, il forte interesse della comunità scientifica ha consentito anche agli apparecchi riceventi civili di utilizzare il sistema con una precisione maggiore rispetto a quella precedentemente ipotizzata dai progettisti.

Per tale motivo le applicazioni del GPS nel settore civile sono numerosissime, ad esempio:

- Utilizzato come sistema base per il controllo della navigazione aerea, marittima e delle aree di maggior traffico;
- Nell'industria petrolifera ed estrattiva consente la determinazione del posizionamento dei mezzi terrestri e navali utilizzati nelle ricerche e nelle estrazioni;
- Consente il controllo della posizione degli automezzi terrestri, infatti un ricevitore GPS determina continuamente la posizione che viene comunicata via radio ad una centrale di controllo;
- Utilizzato dai ricercatori durante l'esplorazione di zone terrestri isolate;
- Il **GPS Differenziale (DGPS)** consente di raggiungere precisioni ancora più elevate, e viene utilizzato come strumento di posizione nelle misure geodetiche, geofisiche, idrografiche e cartografiche.

Le applicazioni citate sono solo alcune di quelle in uso.

Tradizionalmente il sistema GPS è diviso in tre segmenti denominati:



Fonte: The Aerospace Corporation - USA

Le principali funzioni del **segmento spaziale** sono quelle di:

- Fornire varie informazioni, agli utilizzatori, attraverso l'invio di segnali radio complessi, da parte dei satelliti;
- Mantenere un segnale di tempo molto accurato, utilizzando 4 oscillatori atomici collocati a bordo di ciascun satellite.

Il **segmento di controllo** è costituito da 5 stazioni a terra, quasi equidistanti lungo la linea equatoriale, la cui posizione è nota con grande precisione. La principale funzione delle stazioni di controllo è il continuo tracciamento dei satelliti, al fine di calcolarne le effemeridi e la correzione degli orologi di bordo.

Il **segmento dell'utente** è costituito da tutti gli utenti, civili e militari, dotati di un ricevitore in grado di captare, decodificare ed elaborare il segnale trasmesso dai satelliti. In generale uno strumento GPS è costituito dai seguenti componenti:

- Antenna ricevente con preamplificatore;
- Ricevitore;
- Batteria di alimentazione;
- Cavi per il collegamento dei componenti;
- Software, presente sulla memoria ROM di cui lo strumento è dotato, per la gestione dei processi di acquisizione e di memorizzazione dei dati.

Il sistema GPS è in grado di fornire, con un'elevata precisione, le coordinate geografiche, la quota e il corretto posizionamento tridimensionale (contemporaneamente **planimetrico** e **altimetrico**) di ogni punto della superficie terrestre.

Tale operazione può essere eseguita attraverso due procedure operative:

- La tecnica di **POINT POSITIONING** – posizionamento assoluto di un punto singolo nel sistema di riferimento. Tecnica poco utilizzata, in quanto ha un'incertezza dell'ordine di decine di metri.
- La tecnica **DIFFERENTIAL POSITIONING** o **RELATIVE POSITIONING** – posizionamento di un punto rispetto ad un altro considerato noto. Viene determinato il vettore posizione relativo della linea base tra i due punti nelle sue tre componenti rispetto ad una terna cartesiana assegnata. L'incertezza ottenibile è dell'ordine di pochi millimetri.

I ricevitori GPS hanno superato i limiti dei tradizionali strumenti di rilievo terrestre ed hanno rivoluzionato completamente i rilievi geodetici e di controllo, infatti il rilievo GPS non richiede l'intervisibilità tra i punti misurati. Il topografo può definire i punti di appoggio o di controllo dislocati anche su lati opposti di una collina, senza dover effettuare lunghe poligonali o triangolazioni.

1.2 - Il Sistema Glonass

Il **GLONASS - GLObal NAVigation Satellite System** è un sistema satellitare di posizionamento globale realizzato dall'Ex Unione Sovietica più o meno in concomitanza con quello americano. Tutti i satelliti sono lanciati dal cosmodromo di **Baikonur in Kazakhstan**, il primo lancio risale al 12 ottobre 1982 e la costellazione si è completata nel periodo di massima efficienza con 24 satelliti nel 1997.

Negli anni successivi a causa della grave situazione economica interna, la Russia non ha avuto la possibilità di mantenere attiva l'intera costellazione.

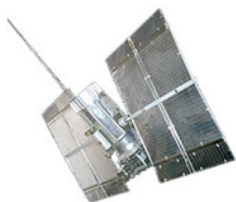
Ma nel 2002 con il migliorare della situazione economica è stato dato il via al programma di rilancio del sistema satellitare Glonass che prevedeva 18 satelliti entro il 2007, e dovrà raggiungere nuovamente il numero di 24 satelliti attivi entro il 2010. Il programma prevede almeno un lancio all'anno, ciascuno dei quali porterà nello spazio due o tre satelliti.

1. Introduzione

Attualmente la costellazione è composta da vari tipi di satelliti: Satelliti tipo **GLONASS**

- Satelliti tipo **GLONASS – M**
- Satelliti tipo **GLONASS – K**

Caratteristiche dei satelliti tipo **GLONASS**:



Nazione: Federazione Russa
Tipo applicazione: Navigazione
Configurazione: Stabilizzata 3 assi, 2 allineamenti solari
Corso della vita: 3 anni
Massa: 1415 kg
Orbita e inclinazione: 19100 chilometri, 64.8°

Caratteristiche dei satelliti tipo **GLONASS – M**:



Nazione: Federazione Russa
Tipo applicazione: Navigazione
Configurazione: Stabilizzata 3 assi, 2 allineamenti solari
Corso della vita: 7 anni
Massa: 1415 kg
Orbita e inclinazione: 19100 chilometri, 64.8°

Caratteristiche dei satelliti tipo **GLONASS – K**:



Nazione: Federazione Russa
Tipo applicazione: Navigazione
Configurazione: Stabilizzata 3 assi, 2 allineamenti solari
Corso della vita: 10 ~ 12 anni
Massa: 750 Kg
Orbita e inclinazione: 19100 chilometri, 64.8°

La costellazione GLONASS è gestita dal **System Control Center (SCC)** di Krasnoznamensk.

GPS e **GLONASS** sono sistemi molto simili, ma alcune differenze sono significative, infatti il GLONASS non ha nessun degrado della precisione né crittografia dei segnali.

Le orbite dei due tipi di satellite sono simili:

- I satelliti **GLONASS** ruotano su 3 piani orbitali separati da un angolo di 120°. 8 satelliti per ogni piano distanziati tra di loro da un angolo di 45° e identificati da un numero di slot che definisce il piano orbitale e la posizione all'interno del piano (es. 1/01 - 1/02 - 3/23).
- I satelliti **GPS** ruotano su 6 piani, 4 per ogni piano.

L'inclinazione dei piani orbitali rispetto al piano dell'equatore è di:

- 64.8° nel **GLONASS**
- 55° nel **GPS**

Le orbite sono entrambe circolari:

- L'altitudine è di 19.140 Km (**GLONASS**) e ogni satellite completa un'orbita in 11h 15m
- L'altitudine è di 20.180 Km (**GPS**) e ogni satellite completa un'orbita in 11h 58m.

Ogni satellite GLONASS ha proprie frequenze e trasmette sia L1 che L2.

Evoluzione dei satelliti GLONASS

	Glonass	Glonass-M	Glonass-K	Glonass-KM
Primo Lancio	1982	2003	2008	2011
Durata (anni)	3	7	10-12	(DD)
Peso (kg)	1415	1415	750	(DD)
Potenza di uscita (W)	1000	1600	1270 (DC)	(DD)
Nr di Satelliti per lancio: - Proton - Soyuz	3 -	3 1	6 2	6 (DC) 2 (DC)
Precisione verticale di navigazione in tempo reale(95%)	60 m	30 m	5-8 m (DC)	(DD)
Numero di segnali civili	1	2	3 (DC)	3 (DC)
Numero di segnali speciali	2	2	3 (DC)	(DD)
Stabilità dell'orologio	5×10^{-13}	1×10^{-13}	1×10^{-13}	(DD)
Scarto quadratico medio dell'errore reciproco di sincronizzazione dei segnali di navigazione	15 ns	8 ns	3-4 ns	(DD)

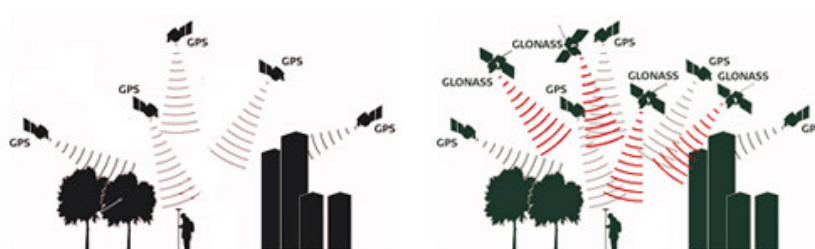
DC - Da Confermare DD - Da Definire

Tabella comparativa (GPS - GLONASS)

	GLONASS	G.P.S.
Numero di satelliti	24	30
Numero di piani d'orbita	3	6
Inclinazione orbita	64°8'	55°
Altitudine	19.140 Km	20.180 Km
Durata dell'orbita	11h 15m	11h 58m
Base di lancio	Baikonur	Cape Canaveral
Vettore	Proton K/Dm2	Delta II
Data del primo lancio	02/10/82	22/02/78
Numero di satelliti per lancio	3	1
Frequenze (Mhz)	25 canali separati da:0.5625 MHz	Bandwidth 20 Mhz
L1 L2	1602.5625 - 1615.5 1240 - 1260	1575.42 1227,60
Orologio Precisione	Cesio 5×10^{-13}	Cesio e Rubidio 1 sec/300.000 anni
Datum	PZ-90.02	WGS-84

Se si osservano più satelliti e quindi utilizzando contemporaneamente entrambe le costellazioni (GPS e GLONASS) i principali vantaggi sono:

- Risparmio nei tempi di acquisizione
- Precisioni più accurate
- Riduzione dei valori di Pdp e Gdp
- Maggiore produttività in fase di rilievo specialmente nei casi in cui ostacoli naturali (alberi, case, ecc.) limitino l'apertura al cielo e quindi la ricezione dei segnali.



Capitolo 2 - GPS: Principio operativo e caratteristiche

In questo capitolo vengono analizzati dettagliatamente i seguenti punti:

- **Posizionamento GPS**
- **Principi di funzionamento**
- **Introduzione sui satelliti artificiali**
- **Errori del sistema GPS**

2.1 - Principio di base del posizionamento GPS

Il sistema GPS si basa su un principio di posizionamento molto semplice, infatti si fonda sulle osservazioni distanziometriche tra i satelliti, di cui si suppone nota la posizione, e i punti a terra da determinare.

Supponiamo di conoscere le tre coordinate di un satellite S, ovvero $X_s(t)$ $Y_s(t)$ $Z_s(t)$ del centro del satellite in funzione del tempo, in un assegnato riferimento cartesiano.

E' stato stabilito un sistema cartesiano geocentrico (**WGS - 84**), avente origine nel centro di massa della Terra, l'asse **Z** diretto secondo l'asse di rotazione terrestre e gli assi **X** e **Y** giacenti sul piano equatoriale.

Supponiamo di voler calcolare, in un dato istante di tempo (t) , la distanza che intercorre tra un punto **P** a terra con coordinate $X_p(t)$ $Y_p(t)$ $Z_p(t)$ e il satellite **S**.

Tale distanza si calcola con la seguente equazione:

$$\overline{PS} = \sqrt{(X_s(t) - X_p)^2 + (Y_s(t) - Y_p)^2 + (Z_s(t) - Z_p)^2}$$

Risulta indispensabile precisare l'istante di tempo in cui avviene la misura, in quanto il tempo misurato a terra differisce da quello di riferimento del sistema GPS.

Nell'equazione compaiono quattro incognite: $X_p(t)$, $Y_p(t)$ $Z_p(t)$ e lo sfasamento temporale $\partial t = t_p - t_s$.

Pertanto, è indispensabile che dal punto **P** risultino visibili almeno **quattro satelliti**, per poter scrivere le quattro equazioni che consentono di calcolare le quattro incognite.

In queste equazioni si è assunto che:

- Lo **sfasamento** ∂t tra l'orologio a terra e i quattro orologi dei satelliti sia unico, ovvero che gli orologi dei satelliti siano sincronizzati tra loro;
- Si è considerata nota l'orbita, che è invece, un'orbita di previsione e quindi approssimata;
- Sono state trascurate le incertezze nella misura della distanza Terra – Satellite dovute all'imperfetta conoscenza della velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica impiegata per la distanziometria.

Per ottenere risultati di precisione, nella topografia occorre tenere conto di molti fattori e modelli opportuni, che consentono di ridurre di molto l'influenza di quei parametri dalla stima incerta, eliminandoli dalle equazioni mediante opportune combinazioni lineari delle stesse.

2.2 - Principio di Funzionamento

Il sistema GPS si basa sulla misurazione delle distanze dai satelliti GPS, ciò vuol dire che calcoliamo la nostra posizione sulla Terra misurando la distanza da un gruppo di satelliti nello spazio che vengono utilizzati come punti di riferimento.

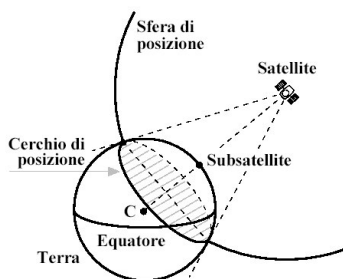
Ciascun satellite trasmette con continuità degli opportuni segnali codificati che consentono ai ricevitori terrestri di calcolare con estrema precisione la loro distanza da ogni satellite. Il grado di precisione è notevole, considerato che la distanza di un satellite oscilla fra i 20.200 ed i 25.800 Km.

Ogni satellite GPS conosce e trasmette in ogni istante la sua precisa posizione, mentre qualsiasi ricevitore GPS è in grado di calcolare la distanza che lo separa da almeno tre diversi satelliti, di sapere di quali satelliti si tratta e di conoscere la loro esatta posizione nel cielo. Ne consegue che, essendo noti il punto di partenza delle tre rette e la loro lunghezza, per il ricevitore GPS è possibile unire tridimensionalmente le rette generando in maniera dinamica una sorta di vertice di un triangolo sempre rivolto verso la terra, ovvero un punto di convergenza che corrisponde alla posizione.

I ricevitori, mediante un orologio interno, misurano la differenza fra l'istante di ricezione e l'istante di trasmissione del segnale, moltiplicando tale differenza per la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche si ottiene la distanza fra il satellite e il ricevitore.

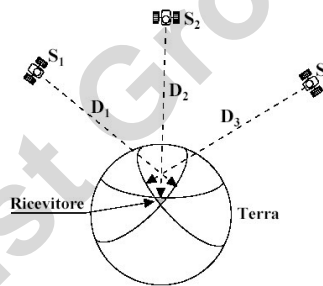
Riepilogando, la distanza del ricevitore da ciascun satellite viene rilevata misurando il tempo che occorre affinché un segnale radio trasmesso da quel satellite raggiunga il ricevitore stesso.

Il luogo di posizione è una sfera con il centro nella posizione occupata dal satellite nell'istante di emissione del segnale ed il raggio pari alla distanza calcolata. Tale luogo interseca la superficie terrestre formando una circonferenza che è il luogo dei punti in cui si trova l'utilizzatore terrestre.



Con due misure di distanza, utilizzando due satelliti, si individuano due circonferenze che si intersecano in due punti, di cui uno è la posizione dell'osservatore. L'ambiguità fra i due punti può essere eliminata con la posizione stimata del ricevitore.

Considerando come incognita anche la quota, diventano necessarie tre osservazioni che individuano tre sfere, la cui intersezione individua un volume entro il quale si trova il ricevitore.



Nel caso bidimensionale, ossia quando la quota è nulla, le tre misure individuano un triangolo, la cui area è funzione degli errori di misura e della distribuzione in azimut dei satelliti.

Si può osservare che un piccolo errore di appena $0,1 \mu\text{sec}$ nella misura degli intervalli di tempo equivale ad un errore di circa 30 mt nella misura delle distanze.

È indispensabile disporre di orologi di grande precisione nell'ambito di tutto il sistema, per cui i satelliti sono dotati di orologi atomici che sono costantemente controllati dal centro di controllo situato negli USA a Colorado Spring.

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.

Per limitare i costi degli apparecchi riceventi, in essi sono installati degli orologi non così precisi, in quanto è sempre possibile determinare il loro errore rispetto al simultaneo tempo fornito dai satelliti.

L'errore dell'orologio rappresenta un'altra incognita che può essere facilmente eliminata da una quarta osservazione. In definitiva si risolve un sistema formato da quattro equazioni e quattro incognite, ovvero: la latitudine, la longitudine, la quota e l'errore dell'orologio. Questo calcolo matematico avviene internamente al ricevitore GPS.

2.3 - Cenni sui Satelliti Artificiali

I satelliti previsti dal Sistema GPS sono 24, 21 sempre attivi e 3 di riserva, pronti ad essere spostati in caso di necessità, ad esempio avaria di un satellite, o per garantire una maggiore copertura in particolari circostanze. Sono distribuiti su sei diversi **piani orbitali [A, B, C, D, E, F]**, inclinati di 55° rispetto all'equatore e con una differenza di 60° in longitudine tra i nodi ascendenti.

La costellazione dei satelliti è stata designata per consentire la presenza di almeno 4 di essi sopra l'orizzonte di una qualsiasi località terrestre. Tale costellazione si divide in gruppi ed ogni gruppo è formato da 4 satelliti.

I quattro satelliti di ogni gruppo sono spazati uniformemente sul piano orbitale di appartenenza, in modo da garantire un'adeguata copertura volta ad assicurare la distribuzione spaziale dei satelliti anche nel caso in cui qualcuno di essi sia momentaneamente fuori servizio o disattivato.

Dal 1997 i satelliti effettivamente in orbita sono 27 ed occupano posizioni orbitali alquanto differenti da quelle teoriche a causa di diversi fattori, legati essenzialmente alle incertezze nella fase iniziale del lancio ed alle deformazioni delle orbite.

2. GPS: Principio operativo e caratteristiche

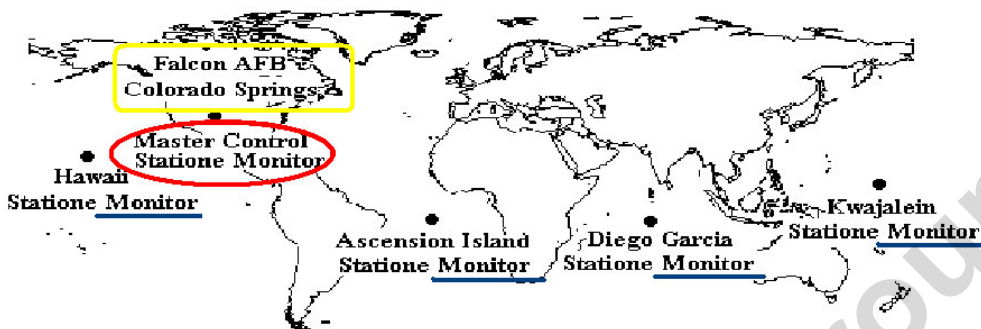
L'alimentazione è fornita da batterie caricate da pannelli solari che sono mantenuti in una posizione ottimale grazie ad un sistema di stabilizzazione.

I satelliti inviano continuamente i loro dati di “tempo” e di “posizione”, su due diverse bande di frequenze radio. I dati di tempo vengono forniti da orologi atomici a bordo del satellite, mentre i dati di posizione si sostanziano in almanacchi di effemeridi, inviati da ciascun satellite, che consentono al ricevitore GPS di calcolare le coordinate di qualsiasi satellite in funzione dell'ora, da ciò scaturisce la necessità di una misurazione precisa ed affidabile del tempo.

L'orbita di ogni satellite della costellazione viene continuamente verificata da opportune stazioni di controllo.

Il **Sistema di Controllo Terrestre** ha la funzione di seguire il modo orbitale dei satelliti (tracking), il funzionamento dei loro orologi e di aggiornare i dati conservati nelle memorie di bordo.

Inoltre deve azionare i thrusters per modificare la posizione dei satelliti, disattivarli nel caso di malfunzionamento e di sostituirli con quelli di riserva.



Il sistema di controllo è composto da:

- La **stazione principale di controllo – MSC o Master Station Control**. È il centro operativo del sistema ed è situata a Colorado Spring negli Stati Uniti. Tra i compiti fondamentali della MSC vi sono l'aggiornamento giornaliero dell'almanacco, la correzione giornaliera del tempo GPS con quello UTC (secondo i dati forniti dall'osservatorio navale degli Stati Uniti) e l'elaborazione dei modelli di propagazione ionosferica. I dati così elaborati vengono ritrasmessi ai satelliti grazie alle antenne up-link disponibili presso la MSC.
- Le stazioni che svolgono la funzione di **stazioni monitor – MS o Monitor Stations**, effettuano continuamente ed automaticamente la misura della distanza dai satelliti e di altri dati utili per valutare il corretto funzionamento degli apparati di bordo. Queste stazioni sono collocate nelle isole di **Haway, Ascension, Diego Garcia e Kwajalein**.

Il corretto utilizzo del sistema richiede una grande precisione nella determinazione del tempo, pertanto la MSC è dotata di una serie di orologi atomici che hanno la funzione di conservare il tempo del sistema al quale vengono riferiti tutti gli altri orologi, sia a terra che a bordo dei satelliti.

2.4 - Frequenze usate e Codici trasmessi

Tutti i satelliti trasmettono usando due diverse portanti nella banda **L**, entrambe le portanti sono multiple di una frequenza fondamentale $f_0 = 10,23$ MHz.

Indicando con L_1 e L_2 le portanti si ha:

- $L_1 = 154 \times f_0 = 1575,42$ MHz ($\lambda \cong 19cm$)
- $L_2 = 120 \times f_0 = 1227,60$ MHz ($\lambda \cong 19cm$)

Dove λ è la lunghezza d'onda pari alla velocità della luce diviso la frequenza, ovvero $\lambda = c / f$.

Le portanti sono modulate in fase con appositi segnali denominati:

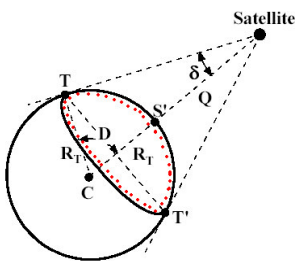
- Codice P (Protected o Precision)**. È dato da una sequenza di BIT con una frequenza di 10,23 Mbps che si ripete periodicamente dopo circa 38 settimane. Tale sequenza non viene trasmessa da nessun satellite, infatti essa viene suddivisa in segmenti di durata pari ad una settimana ed ognuno di essi viene assegnato ad un satellite, per cui nel sistema potrebbero essere impiegati al massimo 38 satelliti. Al termine di ogni settimana tutti i generatori di codice **P** presenti a bordo dei satelliti vengono resettati all'istante iniziale. Il codice **P** modula entrambi le portanti L_1 e L_2 e consente di raggiungere la massima precisione nella determinazione della posizione.
- Codice C/A (Clear Access o corso Acquisition)**. Questo codice ha una frequenza di 1,023 Mbps ed un periodo di ripetizione pari a

1 msec. Esso modula soltanto la portante L_1 e risulta di facile ricezione, ma la sua precisione è nettamente inferiore rispetto al codice **P**.

- **Codice D (Navigation Data).** Questo codice contiene il messaggio di navigazione, che viene trasmesso a bassa velocità, circa 50 bps. Il codice è presente su entrambi le portanti e contiene:
 - Le effemeridi del satellite, ovvero la sua esatta posizione per un dato istante ed i parametri utili per il calcolo delle sue successive posizioni;
 - L'istante di trasmissione del messaggio;
 - Le correzioni per l'orologio di bordo;
 - Le correzioni per i ritardi causati dalla rifrazione ionosferica e troposferica;
 - Varie informazioni sullo stato dei satelliti (Health);
 - Le effemeridi approssimate degli altri satelliti (Almanacco).

Tali codici sono formati da sequenze binari (Bit 0 e 1), apparentemente casuali, ma perfettamente note. Ogni satellite utilizza una propria sequenza che è differenziata da quelle degli altri da un numero, variabile da 0 a 37, che viene indicato con la sigla **PRN – Pseudo Random Noise**.

Per poter captare i segnali emessi da un satellite è sufficiente che esso sia sopra l'orizzonte apparente dell'osservatore, indipendentemente dall'ora.



tracciando dal satellite le semirette tangenti alla sfera terrestre, su di essa si individua un cerchio minore che rappresenta la linea dell'orizzonte geometrico del satellite. La calotta della superficie terrestre racchiusa da tale linea, rappresenta l'area di acquisizione (sezione tratteggiata in rosso) e qualsiasi osservatore terrestre, situato entro di essa, ha la possibilità di ricevere i segnali del satellite.

Tutte le considerazioni fatte sono di tipo geometrico, in realtà il satellite può essere visto anche prima per effetto della rifrazione e della depressione geodetica, è il caso di un osservatore con una certa elevazione rispetto alla superficie terrestre.

2.5 - Tempo Standard di riferimento o GPS Time

La **Master Station Control (MSC)** di **Colorado Spring** ha la funzione di conservare il tempo, mediante una serie di orologi atomici che sono usati come riferimento per tutti gli altri orologi funzionanti sul sistema, sia sulla Terra che a bordo dei satelliti.

La massima incertezza è di una parte su 10^{12} per cui in un anno l'errore è pari a circa 30 millesimi di secondo.

Il tempo conservato è definito **Tempo del Sistema GPS (GPS Time)** e differisce dall'**UTC (Universal Coordinated Time)** di una quantità nota. L'ora fornita dall'UTC viene ritoccata una o due volte all'anno di un secondo, tale correzione può comportere problemi nella regolarità del funzionamento del sistema GPS per la navigazione.

2.6 - Degradazione artificiale della precisione

La precisione del GPS può essere ulteriormente superiore rispetto a quella prevista dai progettisti. Infatti, in base alle specifiche del **Federal Radionavigation Plan** del Governo USA sono previsti due livelli di utilizzo del sistema GPS:

- **Standard Positioning Service (SPS)** che utilizza il codice C/A di L_1 con un'accuratezza di 100 mt nel piano orizzontale.
- **Precise Positioning Service (PPS)** che utilizza il codice P su entrambe le portanti L_1 e L_2 , con un'accuratezza di 18 mt nel piano orizzontale.

Per consentire soltanto agli utenti autorizzati ad usare informazioni con un livello di accuratezza elevato, e per proteggere gli utilizzatori militari dalla possibilità di essere ingannati da false trasmissioni con segnali simili a quelli del GPS, il **DoD – Department of Defence** degli USA introdusse a bordo dei satelliti del tipo PPS un dispositivo per creare artificialmente una degradazione della precisione con due sistemi denominati:

- **Selective Availability (SA) o Disponibilità Selettiva** consiste nell'introduzione di appositi errori sulle Effemeridi dei satelliti da parte della stazione di controllo terrestre e soltanto gli utenti autorizzati sono in grado di prevederle, istante per istante, i valori e quindi eliminarne le conseguenze.
- **Anti-Spoofing (AS) o Anti-Imbroglione** agisce direttamente sul codice P e su entrambi le portanti L_1 e L_2 e consiste nell'introduzione, al posto del codice P, di un nuovo codice criptato denominato **codice Y**. Tale limitazione ha effetto soltanto sugli utenti, civili o militari, autorizzati a servirsi del codice P, che dovranno munirsi di un nuovo ricevitore oppure dovranno sostituire i programmi di decifrazione del codice P con quelli del codice Y.

Questi sistemi possono essere attivati o disattivati dal Centro di Controllo, su richiesta del DoD e senza alcun preavviso agli utilizzatori. I sistemi analizzati causano degli errori noti soltanto agli utenti autorizzati; per gli altri utenti comunque non producono errori superiori ai 100 mt. L'utilizzo del GPS differenziale ha consentito di aggirare anche queste ultime protezioni.

2.7 - Errori del Sistema GPS

Il sistema GPS è soggetto a differenti tipi di errori, che influiscono sulla distanza misurata. Molti di questi errori possono essere ridotti utilizzando delle formule che si ottengono dalla valutazione delle cause che determinano gli errori stessi.

Di seguito descriviamo i differenti tipi di errori che influiscono sulla distanza misurata, da cui deriva la precisione del posizionamento.

Gli errori sono:

- Errori dipendenti dai Satelliti
- Errori dipendenti dal Ricevitore
- Errori prodotti dalle riflessioni multiple
- Errori dovuti alla propagazione dei segnali nella ionosfera e nella troposfera
- Errori introdotti dal Sistema di Controllo terrestre nella determinazione delle orbite, nella correzione degli orologi e così via.

Analizziamoli dettagliatamente.

2.8 - Errori dipendenti dai Satelliti

Ogni satellite modula i segnali trasmessi con il messaggio contenente informazioni sulla propria posizione istantanea e sull'istante di emissione del segnale.

I satelliti ruotano attorno alla Terra, ma il loro moto viene alterato da alcuni fenomeni, come l'attrito non uniforme del pulviscolo meteoritico. Pertanto, è compito delle stazioni di terra intervenire per correggere tali errori di posizione.

La correzione viene effettuata determinando la posizione del satellite attraverso altri quattro satelliti ed introducendo nel calcolo le posizioni note delle Monitor Stations. I dati calcolati vengono integrati con le Leggi di Keplero e le nuove effemeridi (orbite dei satelliti) vengono inviate a tutti i satelliti.

2.9 - Errori dipendenti dal Ricevitore

Ogni ricevitore genera degli errori legati al rumore interno, alla precisione con cui lavora l'utilizzatore, ai ritardi prodotti sia dai dispositivi elettronici che dal software che effettua l'elaborazione dei dati.

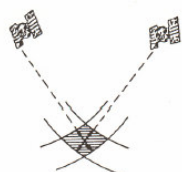
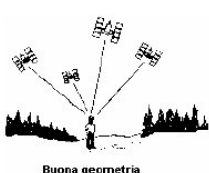
Gli errori dipendenti dal ricevitore si dividono in:

- **Errori di posizione nello spazio dovuti alla geometria dei satelliti**
- **Errori di posizione nello spazio dovuti ad ostacoli ambientali**

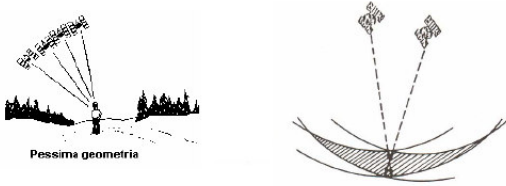
Errori di posizione nello spazio dovuti alla geometria dei satelliti

Il GPS fornisce la posizione del ricevitore nelle tre dimensioni, pertanto occorre considerare l'errore di posizione nello spazio che si ottiene moltiplicando l'errore stesso per un fattore chiamato **PDOP – Position DOP**. Analogamente si può definire l'errore di posizione nella sola direzione verticale utilizzando il **VDOP – Vertical DOP**.

Il **DOP – Diluizione della Precisione** è il parametro di valutazione della disposizione dei satelliti e si riferisce alla distanza ed alla posizione dei satelliti nel cielo. Questo parametro può amplificare l'effetto degli errori di rilevamento dei satelliti.



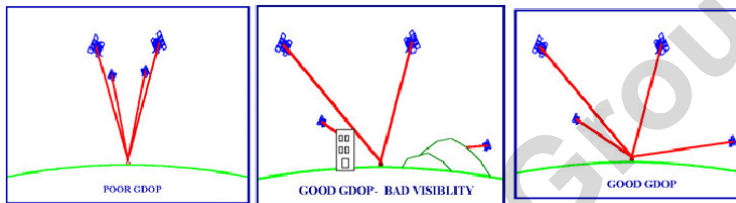
Quando i satelliti sono correttamente distanziati la posizione è individuabile nell'area tratteggiata nel diagramma.



Quando i satelliti sono eccessivamente ravvicinati, oppure quando sono posizionati con un angolo di 180° , la dimensione dell'area tratteggiata aumenta e di conseguenza aumenta anche l'incertezza della posizione.

I diversi tipi di DOP sono calcolabili in base alle dimensioni, ovvero:

- **VDOP – Diluizione della precisione in verticale.** Rappresenta l'indice della degradazione dell'accuratezza nella direzione verticale.
- **HDOP – Diluizione della precisione in orizzontale.** Rappresenta l'indice della degradazione dell'accuratezza nella direzione orizzontale. Questo fattore dipende unicamente dalla distribuzione in **azimut** ed in **altezza** dei satelliti utilizzati per fare il punto nave (luogo di posizione).
- **PDOP – Diluizione della precisione della posizione.** Rappresenta l'indice della degradazione della posizione in senso tridimensionale.
- **GDOP – Diluizione della precisione geometrica.** Rappresenta l'indice della degradazione della posizione in senso tridimensionale e del tempo. La precisione della localizzazione che si ottiene elaborando i dati ricevuti dai satelliti è legata anche alla loro posizione rispetto al ricevitore GPS, infatti più sono lontani dalla verticale passante per il ricevitore, migliore sarà la precisione ottenuta, e si indica come minore o migliore GDOP. Sul GPS si può valutare il GDOP sulla base di quanti satelliti ricadono nella corona più esterna.

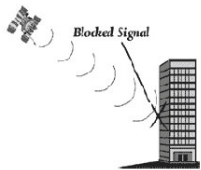


Il dato DOP più utile è il **GDOP**, in quanto è una combinazione di tutti i fattori e soprattutto, perché tiene conto della componente temporale.

Il miglior modo per ridurre al minimo gli effetti del **GDOP** è quello di osservare il maggior numero possibile di satelliti. È opportuno ricordare che i segnali emessi dai satelliti a bassa elevazione sono più soggetti all'influenza delle varie fonti di errore.

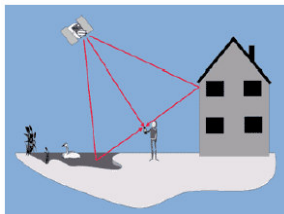
Errori di posizione nello spazio dovuti ad ostacoli ambientali

Gli ostacoli ambientali, quali plastica, gomma, vetro, stoffa, etc, non schermano in maniera significativa le onde radio; mentre metallo, cemento e terreno costituiscono un forte ostacolo. La vegetazione non rappresenta un elevato ostacolo, purché non sia troppo fitta e non presenti un elevato tasso di umidità sul fogliame.



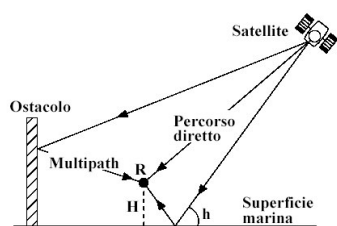
Una strada di città molto stretta e circondata da altre abitazioni costituisce un forte ostacolo per il GPS. Ad esempio, per un veicolo dotato di navigatore GPS, gli ostacoli lungo il percorso impediscono la ricezione di alcuni satelliti, la cui geometria potrebbe cambiare improvvisamente e ciò comporta la non corretta precisione del posizionamento.

2.10 - Errori prodotti dalle riflessioni multiple (Multipath)



Gli errori prodotti dai percorsi multipli (**Multipath**) derivano principalmente dalla combinazione dei segnali diretti con quelli riflessi dalle superfici circostanti, in particolare dalla superficie marina.

Tali errori dipendono dalla natura e dalla localizzazione delle superfici riflettenti, per cui non è possibile prevederne l'ampiezza, mentre è possibile ridurli o eliminarli con un'opportuna collocazione e progettazione dell'antenna ed adottando opportune tecniche nei ricevitori.



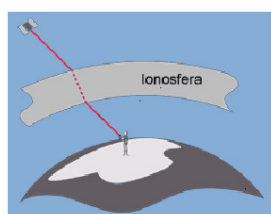
I Multipath sono causati dalla superficie terrestre o da ostacoli fissi. Nella seguente immagine, **R** indica la **posizione in cui è collocata l'antenna del ricevitore**, che è situata ad una **quota H** rispetto alla superficie marina. Il segnale del satellite non si dirige direttamente sull'antenna, bensì colpisce l'oggetto vicino e poi viene riflesso sull'antenna, dando luogo ad una falsa misurazione. I segnali riflessi giungono all'antenna seguendo un percorso più lungo rispetto al segnale diretto, ciò determina un certo errore nel calcolo delle distanze **Satelliti – Ricevitore** e quindi nel calcolo della posizione.

Se questi errori non vengono opportunamente corretti possono superare anche i 50 mt.

Le antenne GPS di ultima generazione sono in grado di filtrare il segnale che ha subito un Multipath anche se la massima accuratezza è ottenibile utilizzando un'antenna particolare denominata "**Choke Ring**", la quale è dotata di una serie di anelli concentrici che intrappolano i segnali indiretti.

2.11 - Errori dovuti alla propagazione dei segnali nella ionosfera e nella troposfera

Nel Sistema GPS si considera come **strato troposferico** la porzione di atmosfera che va da 0 a 70 Km e come **strato ionosferico** quello che va da 70 a 100 Km di altitudine.



Nell'attraversare tali strati, le onde elettromagnetiche subiscono variazioni sia nella **velocità** e sia nella **rifrazione** (è un effetto simile a quello della luce che si rifrange attraverso un blocco di vetro). Tali variazioni producono un allungamento dei percorsi rispetto a quelli rettilinei previsti fra i satelliti ed il ricevitore.

La situazione si complica se il segnale viene trasmesso da un satellite con bassa elevazione. In tal caso, lo strato di ionosfera da attraversare risulta maggiore rispetto al segnale proveniente dai satelliti con una maggiore elevazione.



Per eliminare questi errori occorrerebbe usare due frequenze L_1 e L_2 , ovvero il codice **P**, ma ciò non è possibile nei normali ricevitori GPS in commercio.

2.12 - Errori introdotti dal sistema di Controllo Terrestre

Rientrano in questa categoria gli errori dovuti alla degradazione della precisione denominati:

- **SA – Selective Availability**
- **AS – Anti – Spoofing**

Creati artificialmente dal **DoD – Department of Defence**; analizzati nel paragrafo 2.6 – Degradazione artificiale della precisione.

2.13 - Altri tipi di errori

Esistono altri tipi di errori legati alla modalità di utilizzo del sistema e di esecuzione delle osservazioni. Tutti gli errori possono essere quantificati in termini di effetto sulla distanza satellite – ricevitore. Analizziamo altre due tipologie di errori:

- **Errori di modello (Biases)**
- **Errori di osservazione (cycle slips)**

Gli **errori di modello** sono errori sistemici e riguardano:

- Indeterminazione dell'orbita dei satelliti, dovuta alla difficoltà di modellizzare tutte le forze non gravitazionali che perturbano il moto dei satelliti;
- Errori di sincronismo degli orologi dei ricevitori e dei satelliti (offset);
- Perturbazione del segnale nella propagazione attraverso l'atmosfera (biases atmosferici);

- Biases di ambiguità delle onde portanti.

Gli **errori di osservazione** sono errori accidentali che si verificano nell'acquisizione del segnale da parte del ricevitore. Alcuni di questi errori non sono eliminabili del tutto, bensì solo minimizzabili attraverso l'uso di tecniche e procedure appropriate. Si distinguono i seguenti errori:

- **Cycle slips (salti di ciclo).** Si tratta di interruzioni della ricezione del segnale proveniente dal satellite durante una sessione di misura. Sono dovuti all'elevata rumorosità del segnale o ad una temporanea ostruzione della linea di vista ricevitore – satellite. Durante una sessione di osservazione, fino a quando le onde portanti sono ricevute senza interruzioni, si genera una sola ambiguità incognita per ogni coppia ricevitore – satellite. Nel caso si verifichi un'interruzione nella ricezione della fase, al momento del riaggancio del segnale la parte frazionaria della misura di fase è uguale a quella che si sarebbe ottenuta se non vi fosse stata la discontinuità, ma il numero intero di cicli, intercorsi tra l'inizio e la fine dell'interruzione, viene perso. Proprio questo numero intero di cicli rappresenta l'entità del Cycle Slip.
- **Variazione del centro di fase dell'antenna,** questo errore è riconducibile al fatto che le antenne non sono in grado di ricevere i segnali in modo perfettamente isotropo sia rispetto alla direzione azimutale che a quella zenitale. Infatti, uno stesso segnale, ricevuto da due antenne uguali ma orientate diversamente, genera misure diverse. Il problema può essere ridotto utilizzando antenne dello stesso tipo ed orientandole tutte nella stessa direzione.

© Analyst Group

Capitolo 3 - Ricezione ed utilizzo dei segnali

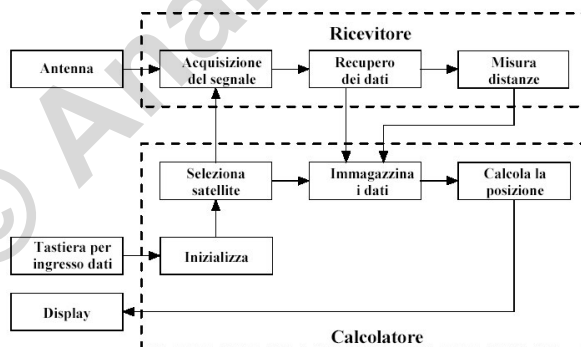
In questo capitolo vengono analizzati dettagliatamente i seguenti punti:

- Il funzionamento del ricevitore GPS;
- Come si effettua la misura dei ritardi e il calcolo delle distanze;
- La posizione del ricevitore;
- Cosa sono i sistemi di riferimento ed in particolare il WGS 84.

3.1 - I ricevitori GPS

Un ricevitore GPS essenzialmente è formato da quattro parti:

- L'**antenna**
- Il **ricevitore**
- Il **computer**
- I **dispositivi** per l'introduzione e la visualizzazione dei dati



Lo schema mostra il funzionamento base di un ricevitore GPS, che può essere così sintetizzato:

- Selezionare quattro satelliti in base ai dati contenuti nell'almanacco (effemeridi approssimate degli altri satelliti) in modo che essi siano visibili e distribuiti opportunamente in azimut al fine di consentire la migliore determinazione della posizione.
- Individuare i segnali dei satelliti selezionati decodificandoli attraverso il proprio codice PRN.
- Decodificare i dati di navigazione contenuti nel codice D e memorizzarli nella propria memoria.
- Misurare i ritardi nei tempi d'arrivo dei segnali dai satelliti e calcolare le relative distanze.
- Calcolare la posizione del ricevitore e l'ora del sistema (GPS Time).
- Tali funzioni possono essere realizzate in diversi modi, dipendenti dall'uso cui è destinato il ricevitore e dalla precisione dei risultati che si vogliono ottenere.

I ricevitori possono essere di tre tipi:

- **Ricevitori sequenziali.** Sono dotati di un solo canale che segue i quattro satelliti selezionati per la determinazione della posizione, uno dopo l'altro e per un periodo di tempo relativamente lungo (1-2 secondi). Le misure di distanza sono intervallate, per cui il calcolo della posizione si effettua combinando una distanza effettivamente misurata con tre distanze stimate. Questi tipi di ricevitori sono piuttosto economici, ma visto il tempo piuttosto lungo (da 4 a 8 secondi) richiesto per l'osservazione dei quattro satelliti, non sono utilizzabili nei casi in cui la velocità di elaborazione è essenziale.
- **Ricevitori multicanale.** Questi sono dotati di più canali che seguono contemporaneamente un eguale numero di satelliti. Ogni canale "aggancia" un satellite, demodula il segnale ed effettua la misura della distanza. Successivamente, un microprocessore provvede a combinare tutte le osservazioni ed a fornire la posizione ed altri dati istantanei, come la velocità e la direzione. Questi ricevitori sono più costosi e si prestano ad essere usati in tutti i casi in cui è richiesta un'alta dinamica.
- **Ricevitori multiplexed.** Questi ricevitori sono dotati di un solo canale e seguono sequenzialmente i satelliti selezionati effettuando una loro completa scansione in meno di 20 msec che è la durata di un BIT nel messaggio di navigazione. Con questi ricevitori, i dati di navigazione sono ricevuti con continuità, senza le interruzioni tipiche dei ricevitori sequenziali. Le caratteristiche di questi ricevitori sono simili a quelle viste per i precedenti tipi, ma i loro costi sono piuttosto contenuti.

3.2 - Misure con il ricevitore GPS

Il segnale inviato da ciascun satellite "visibile" viene captato dal ricevitore, il quale ne effettua una replica al suo interno. Tale operazione impegna il ricevitore per qualche minuto dopo l'accensione e consiste nel riprodurre, con il proprio oscillatore, un segnale simile a quello ricevuto che si differenzia per uno sfasamento lungo l'asse dei tempi. Per questa operazione, ad ogni satellite "collegato" viene riservato un differente canale all'interno del ricevitore.

Sul segnale GPS possono essere eseguiti due differenti tipi di misure:

- **Misure di pseudorange**
- **Misure di fase**

Le **misure di pseudorange** forniscono, senza particolari elaborazioni, risultati in tempo reale che consentono di utilizzarle a livello navigazionale. Ciò che si misura è il tempo necessario al segnale per giungere dal satellite al ricevitore. La misura viene effettuata confrontando il segnale ricevuto con la replica prodotta all'interno del ricevitore.

Tali segnali saranno tra loro traslati di una quantità dipendente dall'intervallo di tempo necessario al segnale emesso dal satellite per raggiungere il ricevitore. Il prodotto di questo intervallo di tempo per la velocità della luce fornisce la distanza satellite – ricevitore (pseudorange).

E' opportuno precisare che la distanza così determinata è da intendersi tra i due punti individuati dal centro di fase dell'antenna del satellite e dal centro di fase dell'antenna del ricevitore. Per avere la posizione del ricevitore occorrono osservazioni simultanee di almeno 4 satelliti.

La precisione della determinazione non risulta molto elevata, pertanto, questo tipo di misure viene utilizzato esclusivamente ai fini della navigazione terrestre, marittima ed aerea, fornendo il posizionamento in tempo reale e con ricevitori poco costosi.

Le **misure di fase** si effettuano sull'onda portante demodulata; l'osservazione è costituita dalla differenza tra la fase dell'onda portante captata dal ricevitore e la fase di un'onda di riferimento generata all'interno del ricevitore stesso all'istante della ricezione.

Il principio operativo è analogo a quello utilizzato nella misura di pseudorange. Infatti, in entrambi i casi si giunge alla determinazione della distanza considerando lo sfasamento tra due onde ma, mentre per lo pseudorange la grandezza misurata è una differenza di tempo, in questo caso si tratta proprio di una differenza di fase. Questo tipo di misure offre tutti i vantaggi dell'interferometria, garantendo la precisione indispensabile per le misure geodetiche e topografiche.

Occorre tenere presente che la portante non modulata non fornisce indicazioni di tempo, e pertanto non è possibile conoscere l'istante di una singola misura, cosicché non è possibile determinare il numero totale di cicli di onda contenuti nel percorso satellite – ricevitore e l'unica informazione che si può ottenere riguarda la parte frazionaria dell'onda ricevuta.

Pertanto, nel processo di elaborazione delle misure, il numero intero di cicli, detto **ambiguità di fase**, rappresenta un'incognita del problema. Fintanto che la fase viene ricevuta senza interruzioni durante una sessione di osservazione si ha una sola ambiguità incognita per ogni coppia ricevitore – satellite. Per ogni interruzione della ricezione della fase si ha una nuova ambiguità incognita. Queste interruzioni vengono denominate **cycle slip** e possono essere causate da diversi fattori.

In definitiva, nel processo di elaborazione si ricerca la combinazione di osservazioni che consenta di eliminare alcune incognite. I metodi operativi si traducono nel calcolo di posizioni relative fra due o più ricevitori che abbiano eseguito contemporaneamente le osservazioni satellitari (osservazioni differenziali).

L'elaborazione dei segnali inviati dai satelliti inizia con l'individuazione della coppia di ricevitori che sono stati posti in ricezione simultaneamente. La coppia di punti stazionati costituisce gli estremi di un vettore al quale si dà il nome di **baseline**. L'insieme delle osservazioni condotte contemporaneamente da due o più ricevitori vengono processate con metodi differenziali noti come differenze prime, differenze seconde e differenze terze.

3.3 - Misura dei ritardi e calcolo delle distanze

I ricevitori GPS utilizzano in codice C/A sulla portante L_1 e parzialmente il codice P sulla portante L_2 , in quanto tale codice è di uso militare. Il codice C/A viene generato dal satellite, è sincronizzato con il GPS Time e si ripete periodicamente ogni millisecondo.

Questo codice arriva all'utilizzatore con un ritardo $\Delta t = R/c$, dove R è la distanza fra il satellite ed il ricevitore e $c \cong 300000 \text{ Km/sec}$ è la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche.

Il ricevitore GPS è dotato di un generatore di codice C/A analogo a quello in dotazione ai satelliti e sincronizzato con il GPS Time, tale sincronismo non è completamente perfetto, in quanto nei ricevitori si utilizzano degli orologi con normali oscillatori al quarzo, che hanno una deriva di cui occorre tenere conto nella misura dei tempi.

I due segnali, quello proveniente dal satellite e quello generato internamente al ricevitore, vengono confrontati con una tecnica denominata **"Autocorrelazione dei segnali"**. Il dispositivo elettronico che attua tale confronto è chiamato **correlatore** che in uscita genera un segnale $V(\tau)$ che è funzione dello sfasamento fra i due segnali in ingresso, ed assume il valore massimo con i due segnali perfettamente allineati ed un valore nullo o molto piccolo nel caso di segnali sfasati fra di loro.

La tensione in uscita dal correlatore comanda il dispositivo che genera il ritardo stesso in modo da ottenere automaticamente il massimo di $V(\tau)$. Tale configurazione ad anello del circuito consente il continuo inseguimento del segnale; dopo la fase di aggancio, segnalato dal massimo valore di $V(\tau)$, qualsiasi variazione di distanza prodotta dal moto relativo fra satellite e ricevitore produce uno sfasamento nei codici di ingresso al correlatore che viene annullato immediatamente dal circuito ad anello. In tal modo la misura del ritardo, e quindi della distanza, è continua.

I ritardi temporali misurati rappresentano lo sfasamento che il ricevitore nel proprio generatore di codice C/A per ottenere un perfetto sincronismo con i codici provenienti dai satelliti, tali ritardi sarebbero corretti se tutti gli orologi fossero in perfetto sincronismo. In realtà ciò non avviene per cui è necessario sommare agli Pseudo Time gli errori negli orologi dei satelliti del ricevitore.

I primi sono determinati dalle stazioni di controllo terrestre e fanno parte del messaggio di navigazione (codice D), i secondi vanno determinati analiticamente considerandoli un'incognita del sistema.

3.4 - Posizione del ricevitore

La determinazione della posizione richiede normalmente quattro misure di distanze e quindi l'osservazione simultanea di un eguale numero di satelliti. Se è nota la quota del ricevitore sono sufficienti tre misure. Per poter effettuare i calcoli è necessario conoscere la posizione dei satelliti nell'istante della misura e la forma dell'ellissoide terrestre rispetto al quale si vogliono le coordinate geografiche.

Il sistema GPS usa come sistema di riferimento l'ellissoide **WGS 84 (World Geodetic System)**, anche se i moderni ricevitori consentono di avere la posizione riferita ad un qualsiasi ellissoide.

3.5 - Sistema di riferimento: WGS 84

Il sistema ufficiale di riferimento del sistema GPS è un sistema geocentrico associato all'ellissoide **WGS 84**, definito dal **DMA – Defence Mapping Agency**.

WGS 84 è l'acronimo di **World Geodetic System 1984** e definisce il sistema come geodetico, mondiale, riferito al 1984.

Esso costituisce un modello matematico della Terra da un punto di vista **geometrico, geodetico e gravitazionale**, costruito sulla base delle misure e delle conoscenze scientifiche e tecnologiche disponibili al 1984.

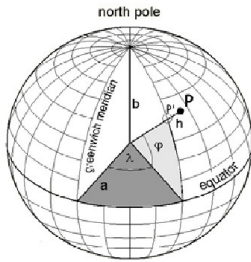
Dal 2000 il suo utilizzo è obbligatorio come standard per la navigazione aerea.

In generale un **sistema di riferimento** è un insieme di regole e misure per la determinazione delle posizioni spazio temporale di un qualsiasi punto sulla terra.

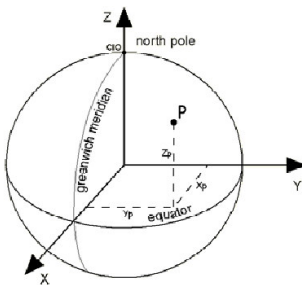
Per il GPS, il sistema di riferimento è un sistema di coordinate che stabilisce un criterio per descrivere una proprietà spaziale relativa ad un centro.

Esistono vari sistemi di coordinate; di seguito analizziamo quelli più noti e maggiormente utilizzati:

- Il **Sistema di Coordinate Geocentriche** è basato su un normale sistema di coordinate (**X, Y, Z**) con l'origine posta nel centro della Terra.



È il sistema che un'unità GPS usa al suo interno per eseguire i propri calcoli, ma essendo poco pratico viene utilizzato solo raramente per le rappresentazioni. Generalmente questo sistema di riferimento viene convertito in altri sistemi di coordinate.



Infatti, possiamo definire un sistema di riferimento cartesiano, con origine nel centro di massa della sfera o dell'ellissoide. Il vantaggio principale di questo tipo di coordinate è la semplicità con cui possono essere effettuate le operazioni di traslazione, rotazione, scala/dilatazione utilizzando le normali trasformazioni geometriche ed utilizzando il calcolo matriciale.

Un punto **P** è localizzabile in un riferimento cartesiano tramite una terna di numeri, che ne esprimono le coordinate **X, Y** e **Z**. Lo stesso punto può essere individuato tramite una terna di numeri che ne esprimono la distanza **r** dall'origine, l'angolo **λ** formato con il **piano XZ** e l'angolo **φ** formato con il **piano XY**. Le coordinate **r, λ** e **φ** sono coordinate polari e valgono:

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

$$\lambda = \arctan(X/Y)$$

$$\phi = \arctan(Z/\sqrt{X^2 + Y^2})$$

Inoltre valgono le seguenti relazioni:

Sfera

$$X = r \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\lambda)$$

$$Y = r \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\lambda)$$

$$Z = r \cdot \sin(\phi)$$

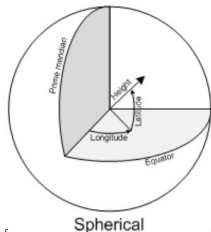
Ellissoide

$$X = N(\phi) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\lambda)$$

$$Y = N(\phi) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\lambda)$$

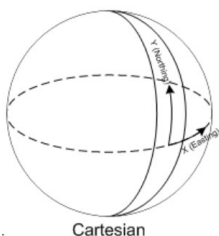
$$Z = (1 - e^2) \cdot N(\phi) \cdot \sin(\phi)$$

- Il **Sistema di Coordinate Sferiche** o **Geografiche** è probabilmente il più conosciuto.



È basato su angoli relativi ad un meridiano di riferimento (**prime meridian**) ed all'Equatore. Gli angoli sono solitamente espressi con i concetti di **longitudine** e **latitudine**. Le altezze sono fornite rispetto al livello medio del mare oppure rispetto al **datum**. Il datum definisce un ellissoide e attraverso l'uso di un set di punti al suolo posti in relazione con i punti sull'ellissoide, si definisce il centro della Terra.

- Il **Sistema di Coordinate Cartesiane** è definito come un sistema di coordinate piane sulla superficie della Terra.



In alcune proiezioni non è "piano" nel senso che segue la curvatura terrestre lungo una direzione e ha un errore di scala noto lungo l'altra direzione, rispetto alla distanza dall'origine. Il più conosciuto sistema di coordinate è l'**Universale Trasverso Mercatore (UTM)**, ma vengono spesso definiti sistemi piani a livello locale. È un sistema molto pratico dal punto di vista operativo ed abbastanza accurato su piccole distanze, il che facilita le misure di lunghezze, angoli ed aree. I sistemi di coordinate cartesiane sono fortemente legati alle proiezioni.

Inoltre, dal punto di vista geometrico, WGS 84 è un particolare sistema terrestre convenzionale, ovvero un sistema di riferimento cartesiano usato per descrivere la Terra.

Le sue caratteristiche sono:

- **CENTRO**: ha origine nel centro di massa "convenzionale" della Terra;
- **ASSE Z**: è diretto come l'asse di rotazione terrestre "convenzionale";

- **ASSE X:** è formato dall'intersezione tra il piano meridiano di riferimento ed il piano equatoriale;
- **ASSE Y:** è tale da formare una terna ortogonale destrorsa, ovvero tale che un osservatore posto lungo l'asse **z** veda l'asse **x** sovrapporsi a **y** con moto antiorario, il che pone **y** in Asia.

Usando il GPS, le coordinate o le componenti delle basi sono automaticamente riferite a questo sistema.

3.6 - Altri Sistemi di riferimento: IGM95, ROMA40

In Italia sono attive circa 10 stazioni permanenti gestite dal **Centro di Geodesia Spaziale** dell'**ASI** – Agenzia Spaziale Italiana. Inoltre, l'**Istituto Geografico Militare** ha istituito la rete **IGM95**, costituita da circa 1200 vertici, uniformemente distribuiti su tutto il territorio nazionale, con distanze dell'ordine di 20 Km, di cui sono note le coordinate determinate con il GPS.



La rete nazionale italiana IGM95

Quindi, è possibile, facendo stazione su questi vertici, determinare le baselines che possono poi essere utilizzate per calcolare, partendo dalle posizioni note dei vertici IGM95, le coordinate di altri punti di stazione.

Inoltre, l'Istituto Geografico Militare fornisce, insieme con le coordinate dei vertici IGM95, i parametri delle trasformazioni (rototraslazioni con variazione di scala) necessarie per ricavare le coordinate geodetiche del sistema di riferimento **ROMA40**, che sono la base per il calcolo delle coordinate cartografiche **GAUSS-BOAGA**.

A causa delle deformazioni presenti nella rete ROMA40, questi parametri sono in generale diversi da punto a punto, e la loro applicabilità è limitata ad una piccola area intorno a ciascun vertice. Naturalmente, l'unione di queste aree ricopre l'intero territorio; se un punto appartiene a più di una di queste aree, l'applicazione dei diversi insiemi di parametri ammissibili comporta scarti inferiori alle tolleranze normalmente accettate.

Capitolo 4 - Uso geodetico e topografico del sistema GPS

La rete GPS costituisce un'infrastruttura geodetica essenziale per supportare operazioni di rilievo topografico e catastale sul territorio nazionale.

4.1 - Modalità di esecuzione delle misure

Nell'impiego geodetico - topografico del GPS possono essere adottate diverse modalità operative, quelle maggiormente utilizzate sono:

- Il **modo statico**
- Il **modo cinematico**

4.2 - Utilizzo del GPS in modo statico

Il GPS statico è il metodo più sicuro e maggiormente adottato, specie quando le esigenze di precisione sono spinte ed i punti da determinare sono più importanti.

Il metodo consiste nell'eseguire sessioni di misura di una certa durata (dai 30 minuti a delle ore) con i ricevitori fissi sugli estremi delle baseline da determinare. Le stesse vengono determinate mediante la soluzione "alle differenze triple", è indispensabile ricevere almeno 4 satelliti e non perdere il contatto con gli stessi durante la sessione.

La modalità statica è caratterizzata dalla massima precisione dei risultati, infatti la precisione standard raggiungibile nel posizionamento relativo è dell'ordine di 10^{-6} D fino a 10^{-7} D (D indica la distanza fra gli estremi della baseline); i massimi valori si raggiungono grazie ad elaborazioni particolari ed a configurazioni di satelliti particolarmente favorevoli.

Gli accorgimenti da adottare nella misura in modalità statica variano a seconda della lunghezza delle basi. Per lunghezze di poche decine di chilometri sono generalmente sufficienti ricevitori monofrequenza e sessioni di durata di un ora. Per basi più lunghe si richiedono ricevitori in doppia frequenza che permettono di ottenere una migliore modellazione della velocità di propagazione del segnale nell'atmosfera; le sessioni di misura devono essere più lunghe. Per baseline di estrema lunghezza (oltre i 1000 Km) si richiede anche una modellazione a posteriori delle orbite, ovvero l'introduzione nel calcolo di effemeridi più precise rispetto a quelle di previsione trasmesse dal satellite, generalmente si tratta di applicazioni a livello scientifico.

In questi casi, in ogni stazione occorre rilevare i dati atmosferici di **pressione**, **temperatura** ed **umidità**, che vengono introdotti nel programma di calcolo della base, nel quale intervengono nella modellazione della propagazione del segnale.

Con il GPS statico si effettuano le misure geodetiche, ovvero determinazione di punti isolati, blocchi di punti, per le quali il metodo è notevolmente vantaggioso rispetto alle tecniche topografiche classiche, sia in termini di precisione che di tempo e di costo.

Le baselines misurate formano reti analoghe a quelle trigonometriche, infatti anche le reti GPS possono essere a maglie triangolari, come le reti trigonometriche classiche.

4.3 - Utilizzo del GPS in modo cinematico e statico rapido

Il GPS cinematico consiste nel tenere fisso uno dei due ricevitori e nel trasportare il secondo, denominato **ROVER**, sui punti da determinare, seguendo un certo percorso con continuità di movimento ed eseguendo determinazione di posizione ad intervalli di tempo regolari.

Il metodo statico rapido è una variante operativa del metodo cinematico, con il quale i punti da determinare vengono occupati successivamente dal rover, tenendolo fermo per qualche istante. Questo metodo è ideale per il rilievo di dettaglio.

Nel caso di GPS cinematico o statico rapido non è possibile ottenere la soluzione con le equazioni alle differenze triple, perché i ricevitori non sono fissi. In alternativa è possibile:

- Eseguire una sessione GPS statica preliminare su due punti noti.
- Applicare il metodo dell'**antenna swap**, ovvero "**scambio di antenne**", con tale tecnica le antenne vengono tenute per alcuni minuti sugli estremi non noti di una base, quindi scambiate di posizione e mantenute così per qualche altro minuto, dopo di che si parte con il rover.

4. Uso geodetico e topografico del sistema GPS

Nel GPS cinematico è necessario non perdere mai il contatto con i satelliti, infatti, se ciò avviene occorre interrompere il rilevamento e rideterminare il valore della BASE. Ciò rappresenta una limitazione operativa abbastanza sensibile, che rende il metodo difficilmente applicabile nelle zone urbane o in presenza di vegetazione ad alto fusto.

Il GPS cinematico trova svariate applicazioni anche al di fuori del settore topografico, in quanto ha la capacità di fornire il percorso di un mezzo in movimento.

Nel settore topografico, il metodo cinematico è impiegato per i rilievi di dettaglio. Rispetto al caso statico, non si ottiene una rete compensabile, ma un insieme di corte baselines che fanno tutte capo al punto traslocante, ovvero al punto occupato dal ricevitore fisso.

4.4 - Utilizzo del GPS in modalità “real time”

Oltre ai principali modi di impiego, esistono altre possibilità di impiego, come il real time.

Questa procedura di rilevamento è comunemente indicata con la sigla **RTKS – Real Time Kinematic Survey**, ovvero **Rilevamento Cinematico in Tempo Reale**. Questa tecnica di rilevamento è frutto dell'evoluzione della tecnologia GPS, sia nel settore della strumentazione che dei programmi applicativi.

Le precedenti procedure di rilevamento cinematico prevedono che l'elaborazione dei dati per la determinazione delle posizioni dei punti rilevati sia effettuata in ufficio, dopo le operazioni sul posto, in questo caso, invece, la determinazione della posizione di ciascun punto rilevato avviene direttamente in campagna in tempo reale, cioè al momento stesso in cui il punto da determinare viene occupato dal ricevitore mobile.

Il metodo prevede l'utilizzo di ricevitori a doppia frequenza, collegati fra loro via radio. Il ricevitore fisso comunica la sua posizione ed i dati satellitari al ricevitore mobile, che in base ai suddetti dati, calcola in tempo reale la sua posizione rispetto al ricevitore fisso. Lo scambio dei dati fra la stazione fissa ed il ricevitore mobile viene effettuato in un appropriato formato.

Questa tecnica di rilevamento, risulta particolarmente interessante per l'esecuzione di operazioni topografiche di picchettamento, tracciamento e simili, per le quali i tempi di esecuzione vengono abbreviati in maniera considerevole.

4.5 - Reti di baselines

Una rete di baselines si ottiene effettuando più misure elementari che collegano a due a due i punti interessati dal rilievo. Ogni punto deve essere collegato al resto della rete da almeno una base. Se le misure sono eseguite con ridondanza rispetto allo stretto indispensabile, la rete può essere compensata, in modo analogo a quanto si fa per le reti topografiche classiche; le equazioni di osservazione sono di tipo diverso, in quanto rappresentano misure di differenze di coordinate.

In ogni caso, sia che la rete venga compensata (nel caso di ridondanze di misure), sia che le misure rimangano allo stato “grezzo”, il risultato che si ottiene è la determinazione delle differenze di coordinate cartesiane tra i punti della rete nel sistema di riferimento WGS 84.

Se si assegnano le coordinate di uno dei punti della rete risultano determinate quelle di tutti gli altri. Il punto assunto come fisso viene denominato **punto traslocante** perché la sua posizione determina quella di tutto il blocco di punti ad esso collegati.

Dalle coordinate cartesiane X, Y, Z , inadatte agli impieghi pratici, è possibile calcolare le coordinate geografiche (φ, λ) e la quota ellissoidica dei punti della rete con riferimento all'ellissoide geocentrico WGS 84, avente il centro coincidente con l'origine della terna cartesiana X, Y, Z e ben definiti parametri. Tale trasformazione, anche se non immediata, viene effettuata con relativa semplicità dai programmi interni agli strumenti per il rilevamento.

4.6 - Elaborazione dei dati acquisiti

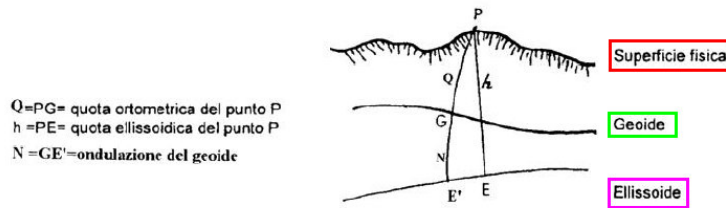
Per utilizzare in modo completo i risultati delle misure GPS è necessario eseguire il cambiamento del sistema di riferimento per passare ad uno dei sistemi locali della cartografia esistente, ovvero:

- **IGM (GAUSS - BOAGA)**
- **UTE (CASSINI - SOLDNER)**

A tale scopo sono stati approntati i relativi programmi di trasformazione che consistono nella seguente procedura:

- **Dalle coordinate cartesiane geocentriche dell'ellissoide WGS 84** si passa, con rototraslazione nello spazio, **alle coordinate cartesiane riferite ad una terna, avente l'origine nel centro dell'ellissoide locale prescelto, orientata secondo gli assi dell'ellissoide considerato**. Sono necessari sette parametri, tre di traslazione, tre di rotazione, più un fattore di scala che viene in genere inserito per adattare le nuove misure alla rete esistente essendo le reti caratterizzate da incertezze diverse. I sette parametri vengono stimati ai minimi quadrati in base alla conoscenza delle coordinate in entrambi i sistemi di riferimento.
- Da queste **coordinate cartesiane “ellissocentriche”** si passa **alle coordinate geografiche (φ, λ)** ed alla quota ellissoidica rispetto all'ellissoide locale con un procedimento di trasformazione da coordinate cartesiane a geografiche. La parte planimetrica di un rilievo GPS viene resa congruente con le reti trigonometriche locali e con la cartografia esistente. Per l'altrimetria, è necessario conoscere le ondulazioni del geoide rispetto all'ellissoide locale per poter ricavare le quote

ortometriche dalla relazione $Q = h - N$.



Il problema della determinazione della ondulazione del geoide è di primaria importanza per l'effettivo utilizzo del sistema GPS, soprattutto per distanze notevoli.

4.7 - Tecniche di elaborazione dei dati

I metodi operativi, per scopi geotopografici e cartografici, si riducono al calcolo della posizione relativa fra due ricevitori ed al processamento delle osservazioni con i metodi differenziali. In funzione del tipo di applicazione e delle precisioni richieste, si possono utilizzare diversi tipi di combinazioni delle osservazioni di fase, differenziando le misure tra i ricevitori, tra i satelliti e tra le differenti epoche temporali.

Pertanto, le principali metodologie elaborative utilizzate nelle applicazioni sono:

- **Differenze prime di fase**
- **Differenze seconde di fase**
- **Differenze terze di fase**

Analizziamole dettagliatamente.

Le **differenze prime tra ricevitori**, o **differenze singole**, costituiscono le differenze delle misure di fase acquisite dai ricevitori che osservano lo stesso satellite, nello stesso istante. In tal modo si eliminano gli errori degli orologi e di orbita. Per basi corte, inferiori ai 15 Km, si ha una forte riduzione dei ritardi atmosferici, in quanto il segnale attraversa la stessa porzione di atmosfera. Le differenze prime tra satelliti si determinano differenziando le osservazioni di un solo ricevitore su due satelliti; in tal modo si eliminano gli errori di orologio del ricevitore.

Le **differenze seconde**, o **doppie differenze**, sono le differenze delle misure ottenute da 2 ricevitori che osservano 2 differenti satelliti nello stesso istante. In questo modo è possibile eliminare gli errori sistematici dovuti ai ricevitori ed ai satelliti. Per basi corte è possibile ridurre notevolmente gli errori di propagazione dei segnali attraverso l'atmosfera. Le differenze doppie consentono la determinazione delle ambiguità iniziali di fase come numeri interi, ma con un rumore 2 volte superiore a quello della misura di fase originaria. Va osservato che, a differenza delle misure originarie e delle differenze prime, le differenze doppie sono correlate e ciò determina la complicazione della loro elaborazione.

Le **differenze terze**, o **differenze triple**, sono le differenze tra due equazioni alle doppie differenze calcolate in istanti differenti. Queste differenze consentono di eliminare gli errori sistematici e consentono l'identificazione e la prima correzione dei **cycle slips**. Lo svantaggio è che nelle differenze triple si ha un peggioramento della qualità delle misure per l'aumento del rumore.

Capitolo 5 - Vantaggi e svantaggi del sistema GPS rispetto alle tecniche topografiche classiche

Nel presente capitolo vengono descritti i principali vantaggi e svantaggi derivanti dall'utilizzo del sistema GPS.

5.1 - Vantaggi del GPS rispetto alle tecniche classiche

Il sistema GPS possiede numerosi aspetti che lo rendono innovativo e tecnologicamente avanzato rispetto ai classici metodi topografici di misurazione.

I principali vantaggi sono:

- Non risulta necessaria la visibilità reciproca tra due punti per la determinazione della loro distanza, detta "**baseline**";
- Non risente delle condizioni **atmosferiche** e di **visibilità**, si può operare anche in condizioni climatiche non ottimali e di notte;
- **Semplicità d'uso** è estrema. L'elaborazione dei dati è automatizzata, pertanto non richiede personale altamente qualificato;
- Il posizionamento relativo che si ottiene è molto preciso;
- Il tempo impiegato per l'effettuazione dei rilievi è nettamente inferiore rispetto a quello dei metodi classici.

5.2 - Svantaggi e problematiche del GPS

Esistono alcuni problemi pratici che limitano l'applicazione del sistema GPS, e riguardano:

- I metodi di **posizionamento relativo e differenziale**. Infatti, per ogni baseline misurata occorre la disponibilità contemporanea di due ricevitori e di due squadre di operatori da disporre su due punti.
- Una stazione GPS richiede una visibilità molto buona dei satelliti, ovvero richiede l'assenza di **ostacoli fisici** al di sopra dell'antenna in un cono visuale ad asse verticale con angolo al vertice di 150° circa (15 – 20° al di sopra dell'orizzonte);
- Il **costo** dell'attrezzatura risulta ancora elevato;
- La strumentazione è molto sensibile ai **campi elettromagnetici**, alle interferenze ionosferiche e troposferiche dovute alla presenza di elettroni negli strati dell'aria vicini alla terra.

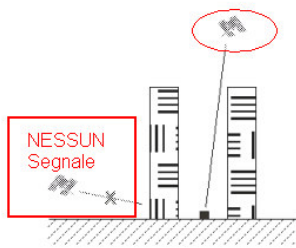
Il GPS, per il suo principio di misura puramente geometrico fornisce la quota ellissoidica dei punti determinati e quindi le differenze di quote, ma non i dislivelli ortometrici. La quota ellissoidica non ha significato dal punto di vista fisico ed ingegneristico, in quanto nella pratica interessa la quota geoidica (nota anche come ortometrica).

Il metodo GPS richiede una conoscenza delle ondulazioni geoidiche di precisione adeguata al tipo di livellazione richiesta; in mancanza di tale conoscenza è necessario il collegamento ad un caposaldo della rete di livellazione IGM.

Il sistema GPS, con difficoltà, riuscirà sostituire completamente i metodi classici di rilevamento, insostituibili quando la ricezione dei satelliti sia impedita da ostacoli fisici. Attualmente si pensa di realizzare un'integrazione tra GPS e topografia classica, ciò comporterà un'evoluzione della preparazione teorica dei tecnici, che dovranno avere conoscenze geodetiche più approfondite.

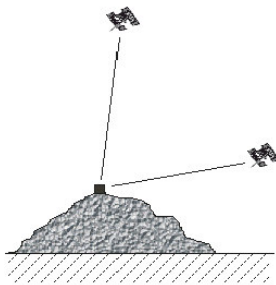
5.3 - Il problema della disponibilità del servizio GPS

Uno dei maggiori problemi che si incontra nel servizio GPS è dovuto alla disponibilità del servizio legata alla visibilità dei satelliti. Un ricevitore GPS deve disporre del segnale proveniente da almeno quattro satelliti. Esistono parecchi ambienti e situazioni nelle quali si può trovare il ricevitore, in cui il numero di satelliti visibili è inferiore al minimo indispensabile per garantire la localizzazione.



SCENARIO 1

Questa figura mostra il caso di un ricevitore posto in un canyon urbano, ovvero una strada con ai lati dei palazzi. In questo caso, il ricevitore avrà visibilità diretta dei soli satelliti "alti" sull'orizzonte.

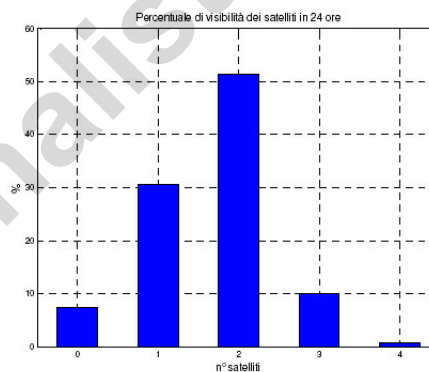
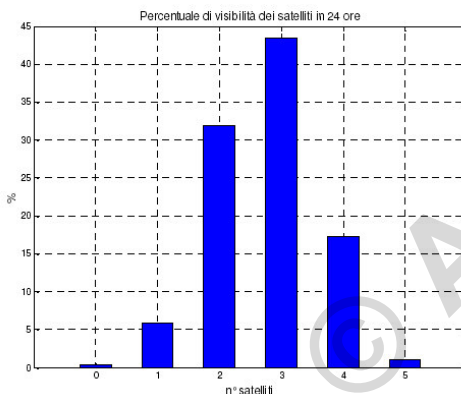


SCENARIO 2

Un ricevitore che si trova su un'altura, avrà l'orizzonte completamente libero con la possibilità di vedere anche i satelliti bassi all'orizzonte.

Da queste considerazioni nasce l'idea di una soluzione di localizzazione che integri anche tecniche cellulari e tecniche satellitari.

Lo **SCENARIO 1** è costantemente oggetto di studio per aumentare la visibilità dei rilievi GPS per gli utenti che si trovano in tali situazioni.



I grafici riportano i dati elaborati in un caso di studio riferito allo **scenario 1**. L'utente, per il rilievo GPS, è posizionato al centro di una strada di larghezza pari a 10 mt. con ad ambo i lati due edifici di altezza pari a 12 mt.

Il primo istogramma si riferisce ad una strada orientata in direzione EST-OVEST, il secondo istogramma ad una strada in direzione NORD-SUD. Si vede subito che la condizione di visibilità è limitata ad 1 – 2 satelliti, cosa molto comune nei contesti urbani.

Dall'analisi del problema della visibilità dei satelliti associata alla valutazione delle potenze di ricezione dei segnali satellitari, si può concludere che la disponibilità del servizio di posizionamento GPS è da considerarsi insufficiente in molti ambiti.

Soluzioni GPS migliorate sono indispensabili per assicurare con continuità un'elevata accuratezza di posizionamento.

Capitolo 6

Capitolo 6 - Gli apparecchi GPS

Il **ricevitore** è la componente del Sistema GPS che viene utilizzata direttamente dall'utente ed è costituito da un'antenna che amplifica il segnale GPS e dal ricevitore che lo elabora. Le informazioni memorizzate in campagna dal ricevitore dovranno poi essere scaricate su un computer per la loro successiva e definitiva elaborazione.

Esistono ricevitori a:

- **doppia frequenza**, in grado di ricevere il segnale GPS nella sua completezza (frequenze L1, L2 e codici).
- **singola frequenza**, in grado di ricevere il segnale GPS nella frequenza L1 e codici.

6.1 - Gli apparecchi GPS a singola frequenza ed a doppia frequenza

Per consentire un'efficace azione di rilievo dei dati, sono fondamentali le seguenti attrezzature:

- **Ricevitori GPS a singola frequenza** dotati di controller e/o palmare adatto alla codifica e visualizzazione di dati alfanumerici strutturati.
- **Ricevitori GPS a doppia frequenza** dotati di controller e/o palmare adatto alla codifica e visualizzazione di dati alfanumerici strutturati. Questi strumenti garantiscono prestazioni di ottimo livello, ideali per l'inserimento e l'aggiornamento delle informazioni del database.

La precisione dei ricevitori **GPS singola frequenza**, caratteristica principale dei sistemi definiti **GPS/GIS**, è di 0.5-1 m fino a distanze dell'ordine di 100-150 km tra stazione master e remote, anche in tempo reale.

La precisione dei ricevitori **GPS doppia frequenza** è di 0.5 cm $\pm$ 1 ppm in modalità statica, quindi a livello centimetrico e sub-centimetrico per distanze dell'ordine di grandezza del chilometro, e di 1-3 cm in modalità cinematica fino a distanze di circa 10 km tra stazione master e remote, anche in tempo reale.

Naturalmente per consentire il rilievo cinematico e differenziale DGPS (precisione di 0,5-1 m) in tempo reale occorre dotare la coppia di ricevitori, master e remote, di un collegamento radio-modem.

Gli strumenti a doppia frequenza garantiscono prestazioni di precisione adeguata quando si tratta di effettuare operazioni di inquadramento cartografico e di georeferenziazione di rilievi fotogrammetrici e di immagini telerilevate.

Infatti, non sempre si dispone di cartografia esistente a media e grande scala, perciò sarà necessario effettuare nuovi rilievi fotogrammetrici oppure utilizzare immagini telerilevate ad alta precisione. In questi casi è necessario eseguire un rilievo topografico di appoggio con tecnica GPS che consiste:

- Nella determinazione delle coordinate di una serie di punti, il cui numero è funzione della scala e della precisione del rilievo, fattori necessari per le successive operazioni di restituzione fotogrammetrica;
- Nell'inquadramento della rete di punti nel sistema di riferimento esistente.

Le **operazioni di rilievo di appoggio e di inquadramento** saranno effettuate con ricevitori a doppia frequenza per garantire le precisioni desiderate che vanno dal livello decimetrico fino al livello centimetrico per la grande scala e per il rilievo di dettaglio.

Riassumendo, i **ricevitori GPS a singola frequenza** si utilizzano per:

- Tracciamenti e rilievi di dettaglio anche in tempo reale;
- Monitoraggio di precisione relativamente bassa (1 m);
- Produzione e aggiornamento di dati per cartografia e Sistemi Informativi Territoriali, come il SIT idraulico.

Invece, i **ricevitori GPS a doppia frequenza** si utilizzano per:

- Il rilievo topografico di appoggio fotogrammetrico;
- La georeferenziazione di immagini fotografiche, fotogrammetriche e telerilevate;
- Il rilievo topografico di inquadramento;
- Il rilievo di dettaglio, ad esempio di centraline ed apparecchiature di misura;
- Il rilievo di monitoraggio e controllo deformazioni.

6.2 - Tecniche di rilievo con ricevitori GPS a singola frequenza

Ogni ricevitore GPS determina la sua posizione calcolando la distanza che lo separa da 4 o più satelliti. La posizione assoluta sul globo terrestre, di un singolo ricevitore GPS, è determinata con precisione metrica, ma poco sufficiente per i tradizionali rilievi topografici.

Precisioni centimetriche o millimetriche si ottengono con tecniche di misura relative, denominate **misure differenziali**.

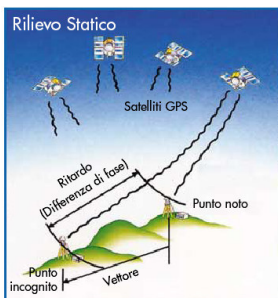
Utilizzando due ricevitori GPS in misura contemporanea su due punti, è possibile determinare con precisione la posizione del secondo ricevitore rispetto al primo. La distanza massima misurabile con elevata precisione è di circa 15 Km per i ricevitori GPS singola frequenza, teoricamente senza limitazioni per i ricevitori doppia frequenza.

La situazione è riconducibile ad un tradizionale rilievo con stazione totale. Le coordinate della prima stazione strumentale non sono note con precisione ma generalmente imposte a priori. La posizione relativa dei punti misurati, rispetto alla stazione strumentale, è determinata con precisione millimetrica.

Le misure GPS relative si effettuano utilizzando due tecniche:

- **Misura statica**
- **Misura cinematica**

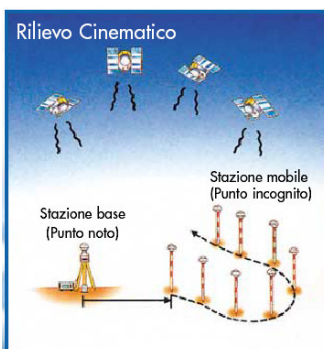
Misura statica



Due ricevitori posizionati su due punti da determinare rimangono contemporaneamente in misura per un periodo di tempo che varia tra i 15 e i 60 minuti. Il periodo di tempo per la misura dipende dal fatto che i ricevitori GPS devono acquisire una quantità di dati sufficienti per il calcolo preciso della distanza satellite – ricevitore. Un maggior numero di satelliti presenti, ad esempio superiore a 5, e l'eventuale possibilità di acquisire anche la frequenza L_2 (ricevitori doppia frequenza), aumenta la quantità di dati disponibili e riduce il tempo di misura necessario per il calcolo della posizione.

La tecnica statica fornisce la massima precisione sulla misura, ed è adatta per la realizzazione di vertici di reti d'appoggio o di controllo, da utilizzare come punti d'appoggio per rilievi tradizionali con stazione totale o rilievi GPS con tecniche cinematiche.

Misura Cinematica



La misura cinematica di precisione è possibile solo se i ricevitori dispongono dei dati per calcolare esattamente la distanza satelliti – ricevitore e quindi la loro posizione. La tecnica per ottenere i dati necessari si chiama **inizializzazione**, e può essere effettuata con diverse modalità, ovvero:

- **Inizializzazione statica.** I dati necessari per il calcolo della distanza satelliti – ricevitore si ottengono effettuando una misura statica con due ricevitori su due punti incogniti.
- **Inizializzazione su vettore noto.** I dati necessari per il calcolo si ottengono effettuando una misura molto più rapida su due punti appartenenti ad un vettore già misurato precedentemente.

Terminata l'inizializzazione, un ricevitore rimane in misura continua fermo su un punto, mentre il secondo ricevitore si sposta e staziona per pochi secondi sui punti da rilevare (**Cinematica Stop – and - Go**).

Durante lo spostamento tra i punti è richiesta la ricezione continua dei segnali inviati da almeno quattro satelliti, rendendo necessaria l'attenta valutazione dei percorsi da seguire per garantire la continua ricezione del segnale.

Nel caso avvenga un'interruzione nella ricezione continua dei segnali satellitari, occorre la ri-inizializzazione del sistema tramite una nuova misura statica, oppure quando possibile, ritornare su un punto misurato in precedenza, identificabile con precisione, e ri-acquisire dati per alcuni secondi su quel punto.

6.3 - Tecniche di rilievo con ricevitori GPS a doppia frequenza

Un ricevitore GPS determina la sua posizione calcolando la distanza da quattro o più satelliti. La posizione assoluta di un singolo ricevitore GPS è determinata con scarsa precisione. Per ottenere precisioni centimetriche o millimetriche si utilizzano tecniche di misura relative, denominate **misure differenziali**.

Utilizzando due ricevitori GPS in misura contemporanea su due punti, si determina con precisione la posizione relativa del secondo ricevitore rispetto al primo. Le misure GPS relative si effettuano utilizzando due tecniche:

- **Misura statica**
- **Misura cinematica**

Misura statica

Due ricevitori posizionati su due punti rimangono contemporaneamente in misura per un periodo di tempo che varia da pochi minuti (statico rapido) fino a più di un ora. Il tempo di misura, dipende dal fatto di dover acquisire una quantità di dati sufficienti per il calcolo preciso della distanza satelliti - ricevitore. Un maggior numero di satelliti presenti (superiore a 5) aumenta la quantità di dati disponibile e riduce il tempo di misura. La tecnica statica non consente produttività elevate ma fornisce la massima precisione di misura (5mm + 1ppm).

Misura cinematica

La misura cinematica di precisione è possibile solo se i ricevitori dispongono dei dati per calcolare esattamente la distanza satelliti-ricevitore e quindi la posizione. Il periodo di tempo per ottenere i dati necessari è detto "inizializzazione". L'inizializzazione di ricevitori doppia frequenza, richiede di solito un breve periodo d'osservazione; infatti, un ricevitore rimane stazionario su un punto mentre il secondo acquisisce osservazioni in modo statico o in movimento. Una buona configurazione satellitare consente di effettuare tale operazione in poche decine di secondi. Durante gli spostamenti del secondo ricevitore, è necessaria la ricezione continua dei segnali da almeno quattro satelliti. Nel caso avvenga un'interruzione occorre ri-inizializzare il sistema. Tale operazione richiede pochi secondi e può essere effettuata in movimento (**tecnica OTF**).

Le due tecniche analizzate sono simili a quelle precedentemente esaminate per i ricevitori GPS a singola frequenza. Queste tecniche forniscono le coordinate corrette a posteriori, ovvero dopo aver effettuato il calcolo differenziale sul computer. Il trattamento dei dati può essere effettuato anche in tempo reale, attraverso due tipi di correzioni (RTCM e RTK). In questo caso si determinano istantaneamente le coordinate corrette del punto in cui si trova il ricevitore mobile. Il sistema deve essere dotato di un apparato telemetrico (radio, modem o GSM) per consentire alla stazione fissa di inviare le correzioni di misura al ricevitore mobile che determina le proprie coordinate corrette.

Questa tecnica consente il monitoraggio continuo della precisione dei punti durante il rilievo, e risulta indispensabile se si effettuano operazioni di tracciamento.

Capitolo

7

Capitolo 7 - Domande e Risposte

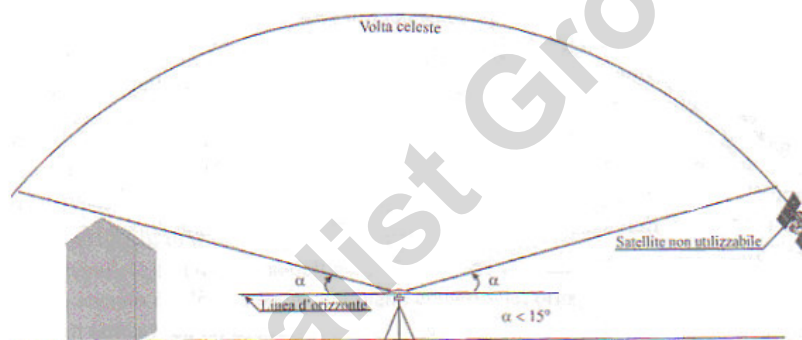
Questo capitolo vuole fornire ulteriori chiarimenti, attraverso delle semplici domande e risposte, su come utilizzare correttamente gli strumenti GPS e le misure che si ottengono, soprattutto in ambito catastale.

7.1 - Corretto utilizzo degli strumenti GPS

Come già indicato nel **Capitolo 2, paragrafo 2.7** e seguenti (**Errori legati al ricevitore GPS**), i buoni risultati dell'applicazione della metodologia GPS sono legati alla "visibilità dei satelliti".

La visibilità della volta celeste può risultare limitata, fino ad inibire l'uso del GPS, nelle aree urbane ed in quelle coperte da vegetazione arborea.

Questa condizione comporta la scelta di un punto per la stazione dell'antenna tale che la visuale della volta celeste risulti libera, a giro d'orizzonte e per un angolo di elevazione non inferiore a 15°.

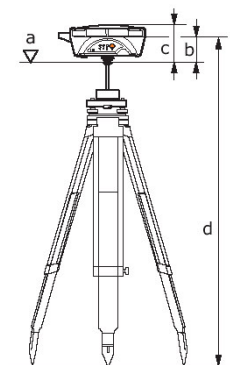


Fonte: La Vecchia C., Polizzi B. "Il Catasto Terreni"

Anche quando non vi siano ostacoli che impediscono la visibilità della volta celeste non possono essere utilizzate le osservazioni condotte a satelliti con elevazioni inferiori a 15°.

7.2 - Come posizionare la Base

Il seguente schema indica come posizionare la Base del tipo **GeoMax ZGP800**



- a) Piano di Riferimento Meccanico MRP
- b) Offset del centro di fase verticale per L1
- c) Offset del centro di fase verticale per L2
- d) Lettura dell'altezza verticale**

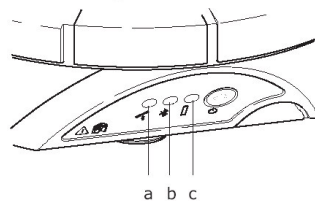
Offset verticale = -0.061

La **lettura dell'altezza verticale** è la differenza di altezza tra il segno a pavimento e la freccia sull'anello in gomma dell'antenna ZGP800A.

L'**offset verticale di -0.061 m** è memorizzato automaticamente nella registrazione dell'installazione dell'antenna per il montaggio del treppiede e verrà preso in considerazione automaticamente. Non è necessario inserirlo.

L'**antenna** (ZGP800A) dispone di indicatori a **diodi luminosi** che indicano lo stato di base dell'antenna.

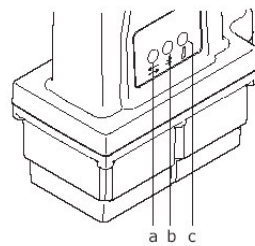
Schema degli indicatori LED



- a) LED tracciamento
- b) LED Bluetooth
- c) LED di alimentazione

Anche la **radio** (ZRT100) dispone di indicatori luminosi – LED – che indicano lo stato di base della radio.

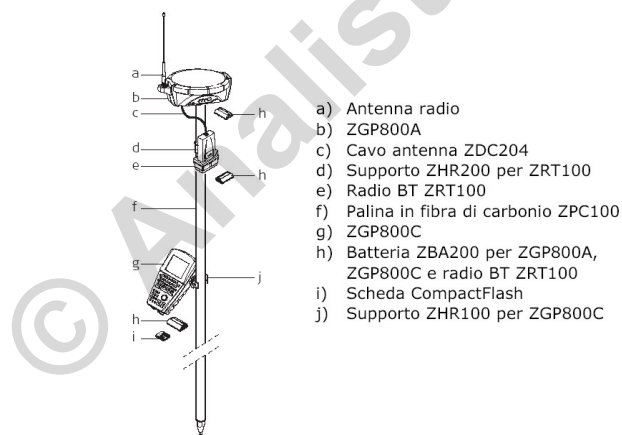
Schema degli indicatori LED



- a) LED relativo al trasferimento dei dati
- b) LED Bluetooth
- c) LED di alimentazione

7.3 - Come posizionare il Rover

Il seguente schema indica come installare il Rover del tipo **GeoMax ZGP800**



Per i rilievi GPS è necessaria una ricezione senza disturbi dei segnali da satellite, in particolare, sul ricevitore che funge da riferimento. Pertanto, risulta indispensabile mettere i ricevitori in luoghi privi di ostacoli quali alberi, edifici, montagne, etc.

Importante è il ruolo della **livella circolare** regolabile sul basamento. Questa viene utilizzata per livellare l'antenna (ZGP800A) sopra il punto di osservazione. Una livella circolare rettificata in modo scorretto significa che l'antenna non è posizionata adeguatamente sopra il punto, il che significa che viene osservato un altro punto sul terreno.

Il **basamento** dovrebbe essere controllato e rettificato:

- a intervalli regolari
- prima del primo impiego
- dopo lunghi trasporti
- dopo utilizzi prolungati
- se avviene una variazione di temperatura superiore a 20 °C

L'**attrezzatura** necessaria per il controllo e la rettifica della livella circolare è la seguente:

- Treppiede
- Basamento
- Un supporto con una bolla di precisione controllata e rettificata o uno strumento TPS
- Perno di regolazione

7.4 - Caso particolare: Uso del Ricevitore GPS sotto le piante e/o in prossimità di esse

Fonte del paragrafo: Pini L., Bonavita A., Pellegrini P. **“Posizionamento GPS in presenza di copertura forestale: precisione ed accuratezza in relazione ai tempi di acquisizione”**.

La copertura forestale interferisce con il corretto funzionamento dei ricevitori GPS; infatti può condizionare sensibilmente l'accuratezza e la precisione del posizionamento GPS, ciò è dovuto all'ostacolo rappresentato dai fusti, dai rami e dalla copertura fogliare.

In particolare, gli errori che si verificano al variare del grado di copertura oscillano tra i 2-3 metri e i 6-7 metri per l'esattezza e tra 1.5 e 3-4 metri per la precisione. Inoltre, sono state registrate differenze di modesta entità tra i rilievi effettuati con copertura fogliare presente e quelli eseguiti nel periodo di riposo vegetativo, con assenza di copertura fogliare.

Dalle esperienze condotte risulta che stazionare per più di pochi secondi sullo stesso punto da rilevare, permette di ottenere miglioramenti, ma soltanto di un metro. L'aumento dei tempi di acquisizione, sebbene contribuisca al miglioramento generale del dato, non influisce in modo determinante sul livello di affidabilità dei rilievi, che rimane dell'ordine dei metri.

Le tabelle seguenti mostrano i dati medi dell'esattezza e della precisione di un rilievo eseguito su uno stesso punto.

Tab. 1 - Valori dell'esattezza al 95% in metri (dati medi)

Epoca dei rilievi	Grado di copertura (%)	Tempi di acquisizione						
		1 sec	10 sec	30 sec	1 min	5 min	10 min	30 min
Periodo vegetativo	100	7,70	7,61	7,35	6,90	4,99	4,24	3,36
	40	6,34	6,30	6,07	5,66	4,19	3,57	2,86
	0	3,62	3,60	3,51	3,38	3,05	2,93	2,79
Periodo di riposo vegetativo	100	6,03	5,97	5,74	5,34	3,78	3,24	2,56
	40	5,25	5,21	5,03	4,73	3,60	3,26	2,86
	0	2,90	2,87	2,75	2,56	1,90	1,71	1,64

Tab. 2 - Valori della precisione in metri (dati medi)

Epoca dei rilievi	Grado di copertura (%)	Tempi di acquisizione						
		1 sec	10 sec	30 sec	1 min	5 min	10 min	30 min
Periodo vegetativo	100	4,19	4,14	3,97	3,7	2,49	1,99	1,38
	40	3,25	3,22	3,07	2,8	1,79	1,34	0,84
	0	1,41	1,39	1,32	1,22	0,94	0,84	0,75
Periodo di riposo vegetativo	100	3,39	3,35	3,21	2,98	2,01	1,67	1,14
	40	2,77	2,75	2,63	2,44	1,66	1,41	1,11
	0	1,52	1,5	1,43	1,3	0,84	0,66	0,51

Dalle tabelle emerge che la copertura forestale influenza in modo evidente l'esattezza del rilievo. Inoltre, la presenza di copertura arborea intermedia sembra determinare errori, nell'acquisizione dei dati, che si avvicinano a quelli che si verificano in condizioni di copertura totale.

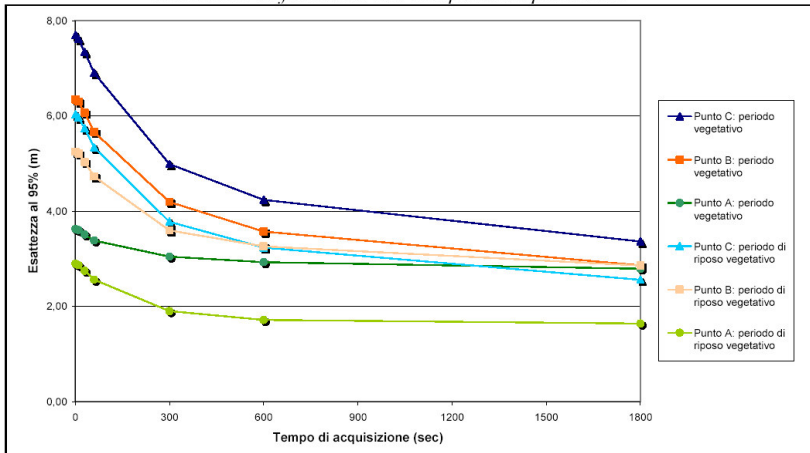
Pertanto, si può supporre che i **rami** ed i **fusti** delle piante, più che le foglie, possono rappresentare elementi di primaria importanza nel determinare i fenomeni di disturbo per l'acquisizione delle coordinate con strumenti GPS.

Si nota che i miglioramenti dell'esattezza e della precisione risultano molto modesti passando da tempi di acquisizione di un secondo fino ad un minuto; variazioni più evidenti emergono per acquisizioni oltre i 5 minuti.

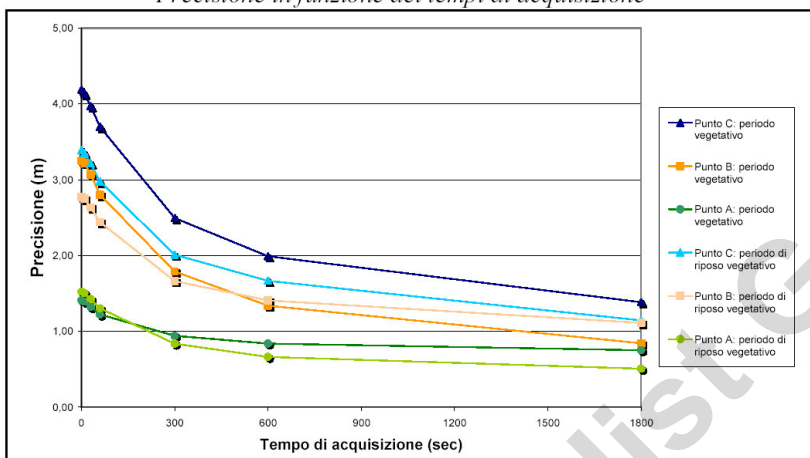
Tuttavia, si deve precisare che all'aumentare dei tempi di acquisizione, l'esattezza e la precisione crescono ma con incrementi via via più ridotti, e tendono a stabilizzarsi nel tempo man mano che aumenta la durata di acquisizione.

Queste osservazioni si comprendono meglio dai seguenti grafici.

Esattezza in funzione dei tempi di acquisizione



Precisione in funzione dei tempi di acquisizione



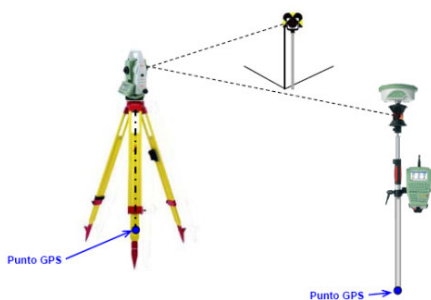
Per ovviare a questi inconvenienti, nel settore forestale la diffusione dell'impiego di sistemi di posizionamento satellitare di tipo GPS vede una larga diffusione di **apparecchiature** concepite per l'impiego di **tipo escursionistico**. Altra soluzione è quella di allungare l'antenna del Ricevitore GPS al di sopra della chioma degli alberi.

7.5 - Domanda 1: Nella topografia moderna QUANDO è necessario integrare il GPS con altri strumenti topografici?

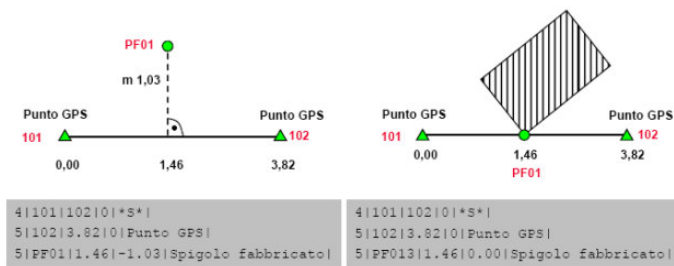
Il sistema GPS è un sistema efficiente, ma nella topografia moderna è ancora necessario integrare questa tecnologia con altri strumenti. Infatti, per la misura di punti inaccessibili (in prossimità di piante, spigoli di fabbricati, assi geometrici di manufatti, etc.), dove il gps ha un GDOP non accettabile ai fini catastali, è necessario l'utilizzo di altri strumenti, come le stazioni totali.

Ricordiamo che per **punti inaccessibili** si intendono quei punti per i quali non è possibile posizionare il centro di fase dell'antenna lungo la verticale. A fronte delle diverse possibili soluzioni al problema, Pregeo è in grado di elaborare le misure derivanti da tre diversi tipi di schemi:

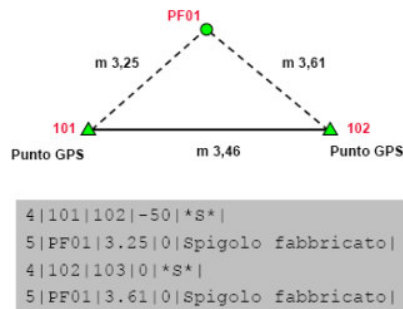
- **Stazione ed orientamento su punti precedentemente misurati con GPS**



- **Misure per allineamento e squadra a partire da punti precedentemente misurati con GPS**



- **Intersezioni distanza-distanza a partire da punti precedentemente misurati con GPS**



Nei rilevamenti per scopi **GEODETICI** e **CARTOGRAFICI**, il sistema GPS viene integrato con le Stazioni Totali.

7.6 - Domanda 2: Utilizzare il GPS nei rilievi catastali comporta vantaggi o svantaggi?

Il **rilievo topografico** è l'aspetto più importante dell'**aggiornamento catastale**, perché dalle misure assunte sul terreno discende la possibilità di determinare la forma e la posizione dell'immobile oggetto dell'aggiornamento. Quindi il rilievo va eseguito impiegando strumenti e metodi di misura in grado di fornire le misure direttamente osservate.

Utilizzando il sistema GPS, la misura direttamente osservata è costituita dalla "**baseline**", cioè dalle componenti di un vettore libero espresse in un riferimento tridimensionale. Il GPS produce una tipologia di misure che non hanno una grande affinità con le misure privilegiate per gli aggiornamenti cartografici, in quanto:

- Le misure GPS applicabili ai fini topografici e cartografici non sono mai misure dirette.
- L'uso più comodo del GPS, cioè quello di **determinatore di posizioni**, non è direttamente impiegabile nei rilievi di aggiornamento.
- Raramente il GPS può essere impiegato per il rilievo diretto, ad esempio dei lati della rete dei Punti Fiduciali, dovendo spesso ricorrere a determinazioni "fuori centro".
- L'estensione media dei rilievi di aggiornamento (300 mt) sembra avere poca affidabilità con l'impiego di uno strumento di misura con spiccate caratteristiche geodetiche.
- Le grandi potenzialità del metodo "in tempo reale" in svariate applicazioni topografiche non comportano benefici per il rilievo di aggiornamento per come è attualmente concepito.
- L'impiego di stazioni permanenti, che esaltano la fruibilità e l'economicità del rilievo GPS, comportando misure rapide di basi "lunghe", crea dei problemi di introducibilità cartografica e soprattutto di cattiva conformazione della rete dei vertici del rilievo di aggiornamento.

Per contro l'uso delle sovrastrutture di stazioni permanenti è efficace nella determinazione della posizione assoluta dei vertici rilevati.

7.7 - Domanda 3: Che cosa è PREGEO?

Pregeo, **PRE**trattamento atti **GEO**metrici, è il software realizzato dalla società **Sogei** in uso presso l'**Agenzia del Territorio**, giunto alla versione 10 permette ai tecnici di eseguire gli aggiornamenti cartografici e censuari relativi agli immobili. In particolare si effettuano:

- Il tipo mappale (inserimento in mappa di nuovi edifici);
- Il tipo particellare;
- Il tipo di frazionamento (divisione di particelle catastali).

I metodi celerimetrico, poligometrico o satellitare si appoggiano a dei punti registrati al Catasto, detti "**punti fiduciali**", le cui coordinate sono ben note. I rilievi catastali, effettuati con strumentazione elettronica, vengono effettuati sulla base di tali punti, pertanto i punti di rilievo saranno collegati e riferiti ai punti fiduciali.

Al fine di concentrare in un unico file i dati di aggiornamento degli archivi catastali, Pregeo è stato integrato nel tempo, infatti le sezioni che lo costituiscono sono:

- Il libretto delle misure (si ricorda che la misura GPS da riportare nel libretto è la baseline)
- La relazione tecnica
- Il modello integrato
- La proposta di aggiornamento cartografico

7.8 - Domanda 4: Che cosa è il libretto delle misure e come va utilizzato?

Il **libretto delle misure** è un elaborato che contiene le indicazioni e le misure di tutte le osservazioni assunte direttamente sul terreno e descrive, nella forma e nella posizione l'oggetto del rilievo, inquadrato nella maglia dei punti fiduciali.

La misura GPS da riportare nel libretto delle misure è la **baseline**.

Nel libretto delle misure, ogni baseline, successiva alla prima, deve avere il vertice iniziale coincidente con il vertice iniziale/finale di un'altra baseline che la precede sempre nel libretto delle misure.

Questa regola rende necessario conoscere le coordinate geocentriche del solo vertice iniziale della prima baseline riportata nel libretto delle misure; la procedura calcolerà automaticamente le coordinate geocentriche di tutti gli altri vertici delle baseline successive alla prima.

Le baseline che hanno in comune lo stesso periodo di rilievo, lo stesso vertice iniziale e la stessa altezza del centro di fase dell'antenna GPS devono essere codificate senza ripetere l'identificativo del vertice iniziale.

Le **misure GPS** da riportare nel Libretto delle misure sono:

- Identificativo punto iniziale baseline
- Identificativo punto finale baseline
- Misura dell'altezza del centro di fase dell'antenna sul punto iniziale della baseline, espresso in metri
- Misura dell'altezza del centro di fase dell'antenna sul punto finale della baseline, espresso in metri
- Coordinate geocentriche del punto iniziale baseline, espresse in metri;
- Componenti della baseline, espresse in metri;
- Parametri di precisione della baseline (matrice di varianza-covarianza, RMS e cofattori)
- Valori di DOP sul punto iniziale e finale della baseline
- Estremi temporali della sessione di misura della baseline
- Caratteristiche dell'apparecchiatura GPS utilizzata.

7.9 - Osservazione: Descrizione (riga per riga) del libretto delle misure

Fonte del paragrafo: La Vecchia C., Polizzi B. "Il Catasto Terreni".

Di seguito descriviamo i vari tipi di riga del Libretto delle Misure, focalizzando l'attenzione su quali **dati inserire** e come inserirli correttamente, con l'ausilio di esempi.

RIGA 1: Contiene le informazioni relative alla stazione. Infatti, nella riga 1 occorre inserire:

- Il nome del Punto Iniziale (Stazione);
- Le coordinate geocentriche X, Y, Z in metri del punto;
- L'altezza del centro di fase dell'antenna;
- La materializzazione del punto.

Stazione celerimetrica

tipo riga 1	Nome stazione	Materializzazione del punto
-------------	---------------	-----------------------------

Stazione celerimetrica con informazioni altimetriche

tipo riga 1	Nome stazione	altezza strumentale	Materializzazione del punto
-------------	---------------	---------------------	-----------------------------

Punto iniziale *baseline*

tipo riga 1	Nome punto iniziale	Coordinate geocentriche	altezza antenna	Materializzazione del punto
-------------	---------------------	-------------------------	-----------------	-----------------------------

Nota: Nel campo "Coordinate geocentriche" devono essere inserite le 3 coordinate (X_i, Y_i, Z_i) del punto iniziale, separate da una virgola.

Obbligatoriamente a ciascun punto iniziale di baseline deve essere associata, in posizione immediatamente successiva, una riga di informazione di tipo 6 "Informazioni GPS"

Esempio:

```
1|100|1.70|Picchetto metallico|
2|200|13.1211|101.1212|132.84|PL|
.
```

RIGA 2: Contiene le informazioni relative ai punti rilevati; ovvero:

- Nome Punto Finale della baseline;
- Componenti baseline ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$);
- Parametri di precisione (elementi della matrice di Varianza-Covarianza o dei Cofattori) espressi in mq. Separati da virgola ed il PDOP o il GDOP.

Osservazione celerimetrica con distanza ridotta all'orizzonte

tipo riga 2	Nome punto osservato	Direzione azimutale	Distanza ridotta	Materializzazione del punto
-------------	----------------------	---------------------	------------------	-----------------------------

Osservazione celerimetrica con distanza inclinata

tipo riga 2	Nome punto osservato	Direzione azimutale	Direzione zenitale	Distanza inclinata	Materializzazione del punto
-------------	----------------------	---------------------	--------------------	--------------------	-----------------------------

Osservazione celerimetrica con distanza inclinata e altezza mira

tipo riga 2	Nome punto osservato	Direzione azimutale	Direzione zenitale	Distanza inclinata	Altezza mira	Materializzazione del punto
-------------	----------------------	---------------------	--------------------	--------------------	--------------	-----------------------------

Baseline

tipo riga 2	Nome punto finale	Componenti baseline	Parametri di precisione	Valore di DOP	Altezza antenna	Materializzazione del punto
-------------	-------------------	---------------------	-------------------------	---------------	-----------------	-----------------------------

Nota: Nel campo "Distanza ridotta" deve essere inserito il valore 0 (zero) se la distanza non viene misurata.

Nel campo "Distanza inclinata" deve essere inserito il valore 0 (zero) se la distanza non viene misurata.

Nel campo "Direzione zenitale" deve essere inserito il valore misurato, senza alcuna correzione per rifrazione.

Nel campo "Altezza mira" deve essere inserito il valore 0 (zero) se è stato collimato direttamente il particolare monografico cui è riferito il dato altimetrico.

Nel campo "Componenti baseline" devono essere inserite le 3 componenti ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) della baseline, separate da una virgola.

Nel campo "Parametri di precisione" devono essere inseriti, in alternativa, i seguenti parametri:

- i 6 elementi ($\sigma^2_x, \sigma^2_y, \sigma^2_z, \sigma^2_{xy}, \sigma^2_{yz}, \sigma^2_{xz}$) della matrice di varianza-covarianza (in cm^2), separati da una virgola;

- i 6 elementi ($q_{xx}, q_{xy}, q_{xz}, q_{yy}, q_{yz}, q_{zz}$) della matrice dei cofattori e l'RMS (in cm), separati da una virgola.

Se la lunghezza della baseline è inferiore a 5 km i 6 elementi della matrice varianza-covarianza sono opzionali; nel caso non si intenda fornirli nel campo "Parametri di precisione" dovranno essere introdotti 6 zeri, separati da una virgola;

Nel campo "Valore di DOP" deve essere inserito il valore di GDOP o di PDOP nel seguente formato:

- GDOP=n, oppure

- PDOP=n,

dove "n"=numero intero.

Esempio:

```
1|100|4628098.138,1007055.651,4257571.891|0|Spigolo miniato tombino ENEL|
6|L1|12122002-17:15|12122002-17:55|BAS|
2|200|36.907,12.195,37.255|9.10,-0.762,0.990,1.30,0.789,11.20|PDOP=5|1.45|chiodo|
```

RIGA 3: Contiene il numero e l'elenco delle stazioni celerimetriche che costituiscono la poligonale.

Descrizione della poligonale

tipo riga 3	Numero vertici poligonale	Elenco nomi dei vertici della poligonale
-------------	---------------------------	--

RIGA 4: Contiene informazioni sul rilievo per allineamenti e sulla livellazione.

Rilievo per allineamenti

tipo riga 4	Nome punto iniziale allineamento	Nome punto orientamento allineamento	Angolo di correzione	Materializzazione punto iniziale
-------------	----------------------------------	--------------------------------------	----------------------	----------------------------------

Stazione di livellazione

tipo riga 4	Nome punto	Altezza mira	Materializzazione del punto
-------------	------------	--------------	-----------------------------

Livellazione dal mezzo

tipo riga 4	Punto indietro	Punto avanti	Altezza mira indietro	Altezza mira avanti	Note di commento
-------------	----------------	--------------	-----------------------	---------------------	------------------

Esempio:

```

. . .
4|300|1.17|Chiodo|
5|301|-0.25|sommita' muro di cinta|
5|PF12|1.35|marciapiedi in corrispondenza allo spigolo fabbricato|
. . .

```

Esempio:

```

. . .
4|PF12|1.17|400|1.32|marciapiedi in corrispondenza allo spigolo fabbricato|
4|400|0.13|501|-0.32|Chiodo|
4|501|-0.32|Chiodo|
5|502|1.25|Spigolo muro di cinta|
. . .

```

RIGA 5: Contiene informazioni sul rilievo per allineamenti e sul dislivello.

Rilievo per allineamenti

tipo riga 5	Nome punto osservato	Distanza progressiva dal punto inizio allineamento	Squadro	Materializzazione del punto
-------------	----------------------	--	---------	-----------------------------

Dislivello

tipo riga 5	Nome punto osservato	Altezza mira punto osservato	Materializzazione del punto
-------------	----------------------	------------------------------	-----------------------------

Esempio:

```

. . .
4|300|1.17|Chiodo|
5|301|-0.25|sommita' muro di cinta|
5|PF12|1.35|marciapiedi in corrispondenza allo spigolo fabbricato|
. . .

```

RIGA 6: Contiene informazioni sul GPS. La riga 6 è obbligatoria e contiene informazioni dettagliate sulla tipologia e sul metodo di rilievo utilizzato, ovvero:

- Tipo ricevitore (L1 o L1/L2);
- Data e ora inizio delle osservazioni (GMMMAAAA-HH-MM);
- Metodologia del rilievo: RTK (in tempo reale), BAS (baseline).

Commenti

tipo riga 6	Note di commento (massimo 40 caratteri) o dati per l'aggiornamento dell'archivio censuario
-------------	--

Informazioni GPS

tipo riga 6	Tipo ricevitore	Data e Ora inizio osservazioni	Data e Ora fine osservazioni	Modalità di rilievo
-------------	-----------------	--------------------------------	------------------------------	---------------------

Nota: Nel campo "Tipo ricevitore" deve essere inserito o:
 - L1, nel caso di ricevitore monofrequenza
 - L2, nel caso di ricevitore a doppia frequenza
 Nei campi "Data e Ora inizio osservazioni" e "Data e Ora fine osservazioni" devono essere inseriti la data e l'ora di inizio e fine del rilievo nel seguente formato:
 - GMMMAAAA-HH:MM;
 dove:
 GG=giorno (2 cifre); MM=Mese (2 cifre); AAAA=Anno (4 cifre)
 HH=ora (2 cifre); MM=minuti (2 cifre)
 Nel campo "Metodologia di rilievo" deve essere inserito o:
 - RTK, nel caso di rilievo in tempo reale;
 - BAS, negli altri casi.

RIGA 7: Contiene il numero e l'elenco dei vertici del poligono rilevato.

tipo riga 7	Numero vertici del contorno	Elenco nomi vertici del contorno	Tipo linea	Identificativo particella	Identificativo particella madre
-------------	-----------------------------	----------------------------------	------------	---------------------------	---------------------------------

Nota: Nel campo "Identificativo particella" deve essere riportato l'identificativo provvisorio della particella.
 Nel campo "Identificativo particella madre" deve essere riportato l'identificativo della particella madre.
 Tali campi sono facoltativi e qualora si impiegino devono essere inseriti nella prima riga di informazione di tipo 7, descrittiva dei soli contorni chiusi a linea continua.

RIGA 8: Contiene informazioni relative ai punti fiduciali, dei punti di coordinate note e dei punti di quota nota.

Punti fiduciali di inquadramento planimetrico

tipo riga 8	Identificativo punto fiduciale	Coordinata Nord o X	Coordinata Est o Y	Attendibilità	note di commento
-------------	--------------------------------	---------------------	--------------------	---------------	------------------

Punti di inquadramento planimetrico (tipo mappale successivo ad atto di aggiornamento redatto ai sensi della Circolare 2/1988)

tipo riga 8	Identificativo punto utente	Coordinata Nord o X	Coordinata Est o Y	Attendibilità	note di commento
-------------	-----------------------------	---------------------	--------------------	---------------	------------------

Punti di inquadramento altimetrico: punti fiduciali e punti di quota nota

tipo riga 8	Identif. punto quota nota o fiduciale	Quota	Attendibilità	note di commento
-------------	---------------------------------------	-------	---------------	------------------

Vertici di fabbricati di modesta entità (ai sensi dell'art.7 del D.M. del 2.01.1998, n. 28)

tipo riga 8	Identificativo vertice	Coordinata Nord o X	Coordinata Est o Y	note di commento
-------------	------------------------	---------------------	--------------------	------------------

Nota: I punti di inquadramento altimetrico sono quelli per i quali è nota la quota.

L' "Identificativo punto quota nota o fiduciale" è costituito da:

- a) nome completo del punto fiduciale al quale si riferisce la quota;
- b) identificativo uguale a quello del punto del rilievo a cui si riferiscono le misure nel libretto.

Se il punto coincide con un punto rilevato in un precedente atto di aggiornamento, nel campo "note di commento" devono essere riportati i riferimenti ad esso, nel formato:

aapppppp=N.p.p.

dove:

aa = ultime due cifre dell'anno del tipo precedente

pppppp = protocollo del tipo precedente

N.p.p. = l'identificativo del punto nel tipo precedente.

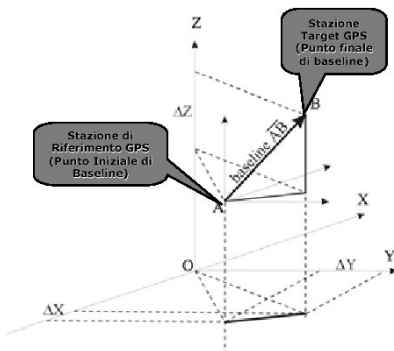
Esempio:

```

4|500|1.57|600|1.82|Chiodo|
4|600|0.13|700|-0.15|Chiodo|
4|700|-0.15|Chiodo|
5|781|1.25|centrino metallico|
5|PF12/0100/H7AR|3.25|piano di imposta tetto a NO del casale Bernocchi|
8|781|101.35|04|Caposaldo Verticale n. 781 - Catasto|
8|PF12/0100/H7AR|7530.02|-16215.21|09|asse comignolo casale Bernocchi|
8|PF12/0100/H7AR|473.21|02|piano di imposta tetto a NO del casale Bernocchi|

```

7.10 - Domanda 5: Cosa sono le baseline GPS?



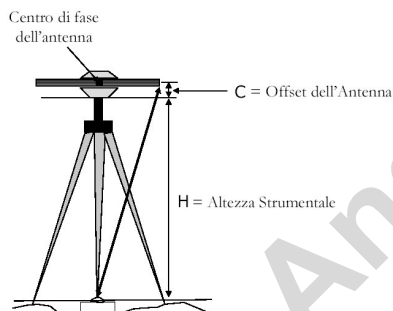
La **baseline** è il vettore congiungente i centri di fase di due ricevitori posti nei punti A e B.

Il rilievo si effettua tramite una coppia di ricevitori GPS posti nel punto iniziale della baseline (stazione di riferimento) e nel punto finale della baseline.

Il risultato di un rilievo GPS sono le coordinate della baseline $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ nel riferimento WGS 84.

La baseline è identificata dai seguenti parametri:

- **Identificativo e coordinate** geocentriche del **vertice iniziale** di baseline (X_i, Y_i, Z_i) .
- **Identificativo e componenti** geocentriche del **vertice finale** della baseline $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$.
- **Matrice di varianza – covarianza** delle componenti della baseline o DOP. Questa matrice esprime le proprietà statistiche del posizionamento effettuato e gli elementi rilevati.
- **Altezza del centro di fase dell'antenna GPS sul vertice iniziale** (ΔH_i) .
- **Altezza del centro di fase dell'antenna GPS sul vertice finale** (ΔH_f) .



In funzione della strumentazione utilizzata, l'altezza dell'antenna può non essere misurata lungo la verticale, ma secondo una direzione inclinata che verrà successivamente ridotta alla verticale dal software di elaborazione.

Le baseline possono essere:

- **Corte.** Le precisioni delle baseline sono indipendenti dalla lunghezza delle baseline stesse. Per tale motivo le baseline corte hanno precisioni comparabili a quelle eseguibili con misure celerimetriche. Di conseguenza, in presenza di baseline corte (50 - 100 mt) si osserverà un valore notevole degli scarti quadratici medi delle correzioni d'orientamento.
- **Lunghe.** La presenza di baseline lunghe (lunghezza maggiore di 5000 mt) non crea particolari problemi al calcolo, eventualmente può determinare qualche problema per l'inquadramento corretto del rilievo. Conviene orientare le baseline ponendo il Punto Iniziale vicino all'oggetto del rilievo. In questo caso è fondamentale disporre di un punto di quota nota vicino all'oggetto del rilievo. Infatti, con il crescere della lunghezza della baseline diminuisce la possibilità di assimilare dislivelli ellissoidici a dislivelli ortometrici.

I criteri per la misura della baseline variano in funzione della lunghezza della baseline stessa. A tal riguardo riportiamo la seguente tabella riepilogativa:

Lunghezza (m)	Ricevitore GPS	Modalità di rilievo
≤ 1.000	Singola frequenza	Cinematica
≤ 15.000	Singola frequenza	Statica
	Doppia frequenza	Pseudo-statica RTK
> 15.000	Doppia frequenza	Statica

7.11 - Domanda 6: Le baseline GPS come possono essere usate per il rilievo catastale?

La baseline è un vettore applicato nello spazio, cioè un vettore del quale sono fornite le coordinate del punto di applicazione delle tre componenti ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$) nel riferimento cartesiano ortogonale geocentrico WGS84.

La baseline è definita dai seguenti parametri:

- Identificativo del vertice iniziale (punto di applicazione del vettore)
- Coordinate geocentriche del vertice iniziale (X,Y,Z)
- Identificativo del vertice finale
- Componenti geocentriche della baseline ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$)
- Matrice di varianza-covarianza della componente della baseline o DOP
- Altezza del centro di fase dell'antenna GPS sul vertice iniziale
- Altezza del centro di fase dell'antenna GPS sul vertice finale

Questi parametri sono utilizzati in Pregeo per definire il rilievo GPS.

Di seguito riportiamo degli **esempi di acquisizione dei dati in Pregeo**

Vertice iniziale di baseline

1. Inserire nel libretto la riga 1, indicando:

- Il nome del Punto Iniziale (Stazione)
- Le coordinate geocentriche X, Y, Z in metri del punto
- L'altezza del centro di fase dell'antenna
- La materializzazione del punto

Punto iniziale baseline				
Tipo riga 1	Nome punto iniziale	Coordinate geocentriche	Altezza antenna	Materializzazione punto

Vertice iniziale di baseline

2. Dettagliare la tipologia ed il metodo di rilievo utilizzato attraverso la riga 6 (questa riga è compilata automaticamente):

- Tipo ricevitore (L1 o L1/L2)
- Data e ora inizio delle osservazioni (GGMMAAAA-HH-MM)
- Metodologia di rilievo: RTK (in tempo reale), BAS (Baseline)

Informazioni GPS				
Tipo riga 6	Tipo ricevitore	Data e ora inizio osservazioni	Data e ora fine osservazioni	Modalità rilievo

Esempio:

```
1|100|4384307.180,638721.201,4573116.020|1.563|Chiodo|
6|L2|24012003-15:06|24012003-17:40|RTK|
```

Vertice finale di baseline

Inserire nel libretto la riga 2, indicando:

- Nome Punto Finale della baseline
- Componenti baseline (ΔX , ΔY , ΔZ)
- Parametri di precisione (elementi della matrice di Varianza-Covarianza o dei Cofattori) e il PDOP o il GDOP

Punto finale baseline						
Tipo riga 2	Nome punto finale	Componenti baseline	Parametri di precisione	Valore di DOP	Altezza antenna	Materializzazione punto

Esempio:

2|200|-2.278,225.962,-45.476|
0.00007,0.00001,0.00002,0.00003,0.00002,0.00008|PDOP=2|1.470|Chiodo|

© Analyst Group

Capitolo

8

Capitolo 8 - Sistemi di Rappresentazione e Trasformazione delle Coordinate

I **Sistemi di Rappresentazioni** (o **sistemi di proiezione**) sono in grado di rappresentare la superficie approssimativamente sferica della Terra su un piano pur mantenendo alcune proprietà geometriche quali l'isogonia, l'equivalenza o l'equidistanza.

I principali sistemi di rappresentazione sono:

- La proiezione **Naturale (Sanson-Flamsteed)**
- La proiezione di **Mercatore**
- Sistema di rappresentazione **Gauss-Boaga**
- Sistema **U.T.M.**
- Sistema di rappresentazione **Cassini-Soldner**

Le carte geografiche sono piatte ma le superfici che esse rappresentano sul globo sono curve. Il concetto di proiezione è, quindi, richiesto per rappresentare uno spazio tridimensionale su una carta a due dimensioni.

Durante il processo di proiezione dei dati reali su un foglio di carta sono introdotti inevitabilmente degli errori. Anche i più accurati sistemi di proiezione comportano distorsioni di almeno una delle caratteristiche geografiche, ad esempio forma, area, direzione, distanza.

Una distinzione tra i diversi sistemi di proiezione viene operata proprio sulla base delle caratteristiche del mondo reale. Infatti, le **proiezioni equivalenti** preservano le aree, le **proiezioni conformi** gli angoli, quelle **equidistanti** le distanze tra punti determinati. Ne consegue che non esiste un sistema di proiezione preferibile in assoluto e che l'adozione di un sistema piuttosto che un altro dipende dall'uso cui è destinata la cartografia e della zona da rappresentare.

L'ultima parte del capitolo è dedicata ai vari tipi di **trasformazione delle coordinate**. Questa parte risulta interessante per chi possiede un GPS e vuole trasportare i dati su una mappa con riferimento differente, rispetto al sistema intrinseco del ricevitore GPS, ad esempio per vedere la propria casa direttamente su Google Earth, o per altre applicazioni dei dati rilevati con il sistema GPS.

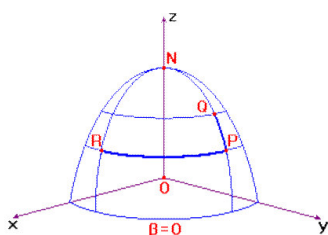
Analizzeremo i seguenti tipi di trasformazione delle coordinate:

- Da geografiche ellissoidiche a cartesiane geocentriche (e viceversa)
- Da cartesiane geocentriche a cartesiane locali (e viceversa)
- Trasformazioni fra i sistemi cartesiani tridimensionali

8.1 - La Proiezione Naturale (Sanson-Flamsteed)

La proiezione di **Sanson-Flamsteed** non è propriamente una proiezione, in quanto può essere ottenuta attraverso una costruzione geometrica, attraverso le seguenti istruzioni:

- il meridiano $\lambda=0$ è rappresentato dall'asse y ; i poli sono situati a distanza finita su tale asse;
- i paralleli sono rappresentati da un fascio di rette parallele e ortogonali all'asse y , a distanza l'uno dall'altro uguale alla lunghezza dell'arco di meridiano intercettato sulla sfera dai paralleli successivi;
- i meridiani sono trasformati in archi di curva, le cui distanze misurate sulle parallele all'asse x (i paralleli sulla carta) corrispondono alla misura degli archi di parallelo corrispondenti sulla superficie terrestre.



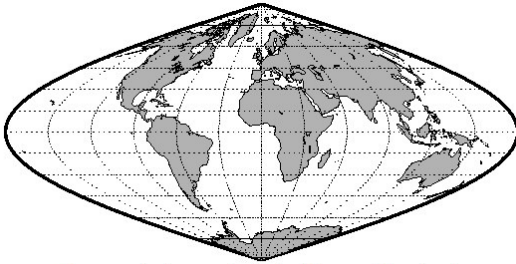
Ne segue che l'ascissa x dell'immagine P' di un punto P varia proporzionalmente all'arco di parallelo e l'ordinata y varia proporzionalmente all'arco di meridiano; la proiezione di Sanson ha quindi come equazioni:

$$\begin{aligned} x &= r\lambda \cos \beta \\ y &= r\beta \end{aligned}$$

Osservazione

$$x = r\lambda \cos \frac{y}{r}$$

I paralleli sono rette parallele all'asse x, di equazioni $y=r\beta$; i meridiani sono curve sinusoidi di equazioni



Rappresentazione equivalente di Sanson-Flamsteed

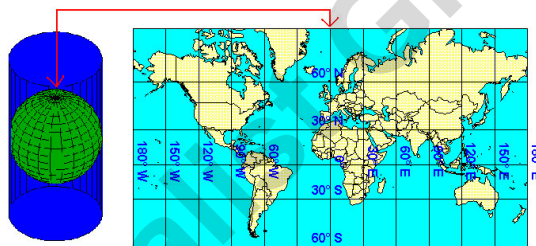
La rappresentazione di Flamsteed è stata impiegata per il primo disegno dei fogli della carta d'Italia alla scala 1:100000, utilizzando fusi di 30° di ampiezza. La proiezione di Sanson-Flamsteed è definita "**naturale**" in quanto ogni elemento cartografico, compreso entro un raggio di circa 15 Km dal punto di tangente dell'ellissoide, non subisce variazioni sensibili dovute alla sfericità della Terra, e quindi trasforma sul piano tutte le caratteristiche naturali.

Originariamente, la proiezione di Sanson-Flamsteed veniva utilizzata dall'I.G.M. per la formazione della Carta d'Italia. Dal 1942 in poi, venne adottato il sistema di rappresentazione Gauss-Boaga e nello stesso periodo venne scelto l'ellissoide Hayford come internazionale.

8.2 - La Proiezione di Mercatore

La **proiezione di Mercatore** è una proiezione cartografica cilindrica proposta nel 1569 da Gerard de Cremer noto come Gerardus Mercator (italianizzato in Gerardo Mercatore).

E' diventata la proiezione cartografica più usata per le mappe nautiche per la capacità di rappresentare linee di costante angolo di rotta (**linee lossodromiche**) con segmenti rettilinei. Mentre la scala delle distanze è costante in ogni direzione attorno ad ogni punto, la proiezione di Mercatore distorce sempre più la dimensione e le forme degli oggetti estesi passando dall'equatore ai poli, in corrispondenza dei quali la scala della mappa aumenta a valori infiniti.

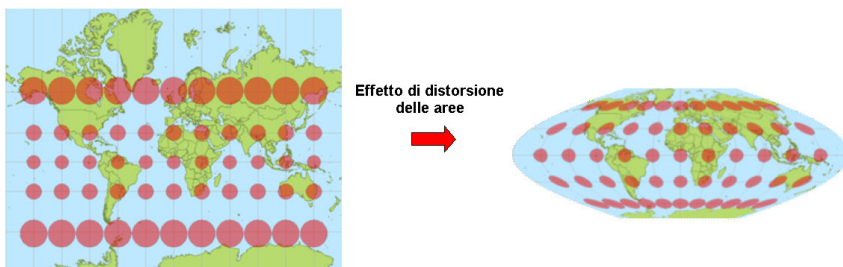


Rappresentazione cilindrica di Mercatore

Lo sviluppo della proiezione di Mercatore rappresenta il passo più significativo nella cartografia nautica del XVI secolo. Fu una grande innovazione, in quanto le vecchie tecniche di navigazione e rilevamento non erano compatibili con lo specifico uso in navigazione. Comunque, la proiezione di Mercatore aveva alcuni problemi, ad esempio l'impossibilità di determinare la longitudine sul mare con adeguata accuratezza e che in navigazione venisse fatto riferimento alle direzioni magnetiche invece che geografiche.

Successivamente, verso la metà del XVIII secolo, con l'invenzione del cronometro nautico e nota la distribuzione spaziale della declinazione magnetica, la proiezione di Mercatore venne adottata dai naviganti.

Attualmente la proiezione di Mercatore è ancora di uso comune per i naviganti, ma i cartografi ritengono che essa non è adatta ad una rappresentazione globale dell'intero pianeta, per via degli effetti di distorsione delle aree.



Mercatore stesso fece uso di una proiezione sinusoidale per rappresentare le aree relative. In conseguenze di tali critiche, i moderni atlanti geografici non usano più la proiezione di Mercatore per le mappe dell'intero pianeta, bensì le proiezioni cilindriche. Comunque, tale proiezione è ancora comunemente usata per aree vicino all'equatore dove la distorsione è minima.

8.3 - Sistema di rappresentazione Gauss-Boaga

Fonte del paragrafo: www.wikipedia.it



La **proiezione di Gauss-Boaga** è la proiezione cartografica proposta nel 1940 dal prof. Giovanni Boaga, adottata in gran parte della cartografia ufficiale italiana.

Il sistema Gauss-Boaga definisce, oltre alla proiezione cartografica, anche il sistema geodetico di riferimento **Roma40**. La celebre Carta d'Italia dell'**IGM** in scala 1:25.000, è stata redatta in coordinate Gauss-Boaga, poi abbandonate in favore della **Proiezione Universale Trasversa di Mercatore (UTM)**.

La proiezione cartografica di Gauss-Boaga definisce il metodo per proiettare sul piano cartesiano le coordinate geografiche dei punti posizionati sulla superficie dell'ellissoide. Si tratta, quindi, di una **trasformazione matematica** che a partire dalle coordinate geografiche ϕ (latitudine) e λ (longitudine), calcola le coordinate cartografiche x e y sul piano. Si possono definire anche le formule inverse che permettono di calcolare ϕ e λ se sono note x e y . La proiezione Gauss-Boaga appartiene alla famiglia delle **proiezioni cilindriche**, che operano proiettando ciascun punto della superficie dell'ellissoide dal centro verso un cilindro tangente all'ellissoide stesso.

La proiezione di Gauss-Boaga è caratterizzata dalle seguenti proprietà:

- Adotta l'**Ellissoide Internazionale 1924** (proposto da Hayford nel 1909), caratterizzato da semiasse equatoriale $a = 6378388$ metri e schiacciamento $\alpha = 1/297.00$.
- Esistono due proiezioni distinte: **fuso Ovest** e **fuso Est**, che differiscono per la scelta dei meridiani di riferimento. Essi sono posti rispettivamente a 9° e a 15° ad Est di Greenwich. Ciascuna proiezione copre una zona di longitudine ampia 6° , separate dal meridiano posto a 12° .
- Per la proiezione utilizza un cilindro non esattamente tangente all'ellissoide, ma leggermente secante. In questo modo la distorsione di scala viene ridotta (di un fattore 0.9996) e maggiormente distribuita.
- Le coordinate si esprimono in metri. Per evitare l'utilizzo di numeri negativi per la longitudine si impone al meridiano centrale del fuso Ovest una coordinata x pari a 1500000 (invece di zero), detta anche falso Est. Al meridiano centrale del fuso Est si impone invece un falso Est di 2520000. In questo modo la prima cifra della latitudine indica a quale fuso facciamo riferimento, nello specifico cifra 1 per il fuso Ovest, cifra 2 per il fuso Est.

Infine, il sistema proposto da Boaga definisce anche la posizione dell'ellissoide rispetto alla superficie terrestre. L'ellissoide venne orientato in modo tale che la sua normale coincidesse con la verticale passante per il vertice geodetico di Roma Monte Mario ed al vertice stesso vennero attribuite coordinate geografiche $\phi = 41^\circ 55' 25''.51$ e $\lambda = 12^\circ 27' 08''.40$. Questo orientamento prende il nome di **datum Roma40**.

Il sistema cartografico nazionale è stato aggiornato nel 1950 quando, a seguito di accordi a livello europeo, è stato introdotto l'**European Datum 1950 (ED50)**. In pratica l'ellissoide di riferimento è rimasto quello di Hayford, ma il suo orientamento rispetto alla superficie terrestre è cambiato leggermente utilizzando come nuovo riferimento un vertice a Potsdam, nei pressi di Bonn. Di conseguenza le coordinate di Roma Monte Mario risultarono: $\phi = 41^\circ 55' 31''.487$ e $\lambda = 12^\circ 27' 8''.40$.

Un ulteriore aggiornamento è derivato dall'introduzione del **datum WGS84** (per la precisione il WGS84 in Europa si materializza nel sistema **ETRF89**). Il nuovo sistema è giustificato dall'introduzione del sistema GPS e dalla necessità di armonizzare a livello globale il datum. In questo caso varia sia l'ellissoide (semiasse equatoriale $a = 6378137$ e schiacciamento $\alpha = 1/298.257223563$) sia l'orientamento. Le coordinate di Roma Monte Mario risultano quindi di nuovo leggermente diverse: $\phi = 41^\circ 55' 27''.851$ e $\lambda = 12^\circ 27' 07''.658$.

Le ultime evoluzioni del sistema cartografico nazionale prevedono l'abbandono della proiezione di Gauss-Boaga nei due fusi Ovest ed Est in favore della proiezione Universale Trasversa di Mercatore (UTM). In particolare il fuso Ovest viene sostituito dal fuso 32 UTM e il fuso Est viene sostituito dal fuso 33 UTM. Anche la proiezione UTM prevede l'utilizzo di un cilindro leggermente secante all'ellissoide. In ogni fuso di riferimento viene assegnato al meridiano centrale un falso est pari a 500000 m, per questo motivo nel sistema UTM non è possibile desumere il fuso semplicemente osservando il valore di longitudine.

Il comitato **European Petroleum Survey Group - EPSG** ha assegnato dei codici per identificare in modo univoco i sistemi di riferimento geodetici adottati nelle varie realtà nazionali. Al sistema Gauss-Boaga sono state assegnate due coppie di codici. Si tratta dei codici **EPSG 3003** (fuso Ovest) e **EPSG 3004** (fuso Est).

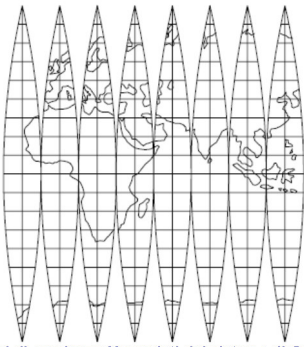
La seconda coppia di codici **EPSG 26591** (fuso Ovest) e **EPSG 26592** (fuso Est) differisce per l'aggiunta del concetto di primo meridiano.

Nel 2003 EPSG ha dichiarato **deprecato l'uso dei codici EPSG 26591** (fuso Ovest) e **EPSG 26592** (fuso Est). Pertanto il sistema Gauss-Boaga si identifica con i codici **EPSG 3003** e **EPSG 3004**.

8.4 - Sistema U.T.M.

La **Proiezione Universale Trasversa di Mercatore (U.T.M. – Universal Transverse of Mercator)** o Proiezione Conforme di Gauss è la proiezione, derivante dalla proiezione di Mercatore, della superficie terrestre su un piano.

Questo sistema è una delle migliori soluzioni al problema di rappresentare la superficie terrestre a due raggi di curvatura. Il sistema è basato su una griglia, ovvero un sistema cartesiano che si affianca al sistema angolare di latitudine e longitudine. La proiezione UTM si utilizza dal parallelo di 80° sud a quello di 80° nord. Per i poli invece viene utilizzata la **Proiezione UPS (Universale Polare Stereografica)**.

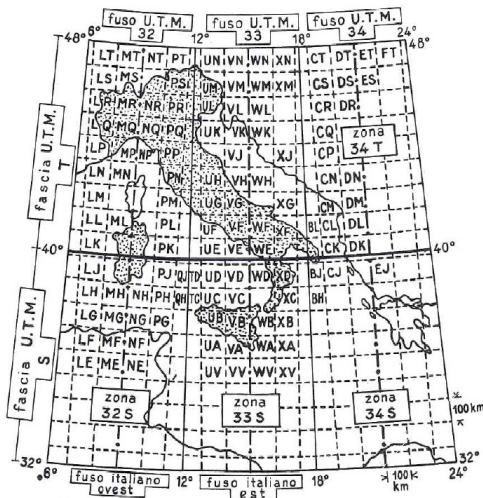


Fusi di ampiezza 6° previsti dal sistema di Gauss

La Terra viene divisa in 60 fusi di 6° di longitudine ciascuno, a partire dall'antimeridiano di Greenwich in direzione Est, l'Italia è quindi compresa tra i fusi 32, 33 e 34. Inoltre la Terra è divisa in fasce di ampiezza di 8° di latitudine. Quindi dall'intersezione tra i fusi e le fasce si hanno delle zone. L'Italia è quindi compresa nelle zone 32T, 33T, 34T e 32S, 33S, 34S.

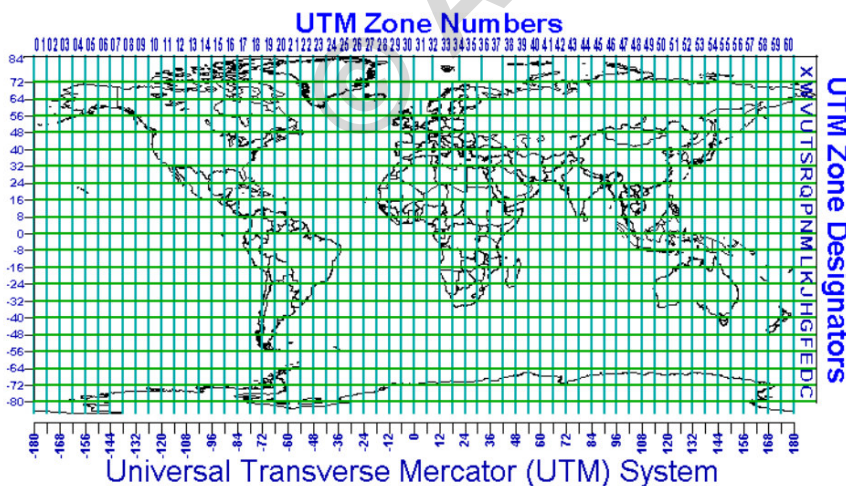
Il sistema U.T.M. è utilizzato come base per la cartografia mondiale.

In Italia, la cartografia ufficiale dell'**Istituto Geografico Militare (IGM)** adotta il sistema di coordinate UTM (Universale Trasverso di Mercatore) e si basa sull'ellissoide di riferimento (datum) europeo del 1950. I "datum" sono dei modelli matematici della superficie terrestre, che periodicamente vengono aggiornati in seguito a campagne di rilevamenti geodetici.



Carta d'Italia nella rappresentazione U.T.M.

Il sistema UTM consiste in una proiezione su un piano della superficie terrestre (cioè della superficie esterna dell'ellissoide di riferimento) e nella successiva divisione in "zone". Ogni zona è delimitata da un meridiano occidentale e da un parallelo meridionale e, a partire da questi, si estende per un certo numero di gradi.



All'interno di ciascuna di queste zone, la posizione di un punto è individuata da coordinate, espresse in metri, a partire da un meridiano e da un parallelo di riferimento.

Il meridiano di riferimento è quello che delimita la zona a occidente, mentre il parallelo di riferimento è sempre l'equatore.

Avremo allora i seguenti dati per individuare un punto in Italia Centrale su una carta IGM 1/25000:

- **33 T** (zona)
- **367** (Km dal meridiano ovest della zona 33 T)
- **4702** (Km a nord dell'equatore)

Per esempio in un ricevitore GPS predisposto per il sistema UTM una lettura del tipo:

- **33 T** (zona)
- **367780** (metri)
- **4702870** (metri)

corrisponde alla vetta del monte S. Franco.

8.5 - Sistema di Rappresentazione Cassini-Soldner



César-François
Cassini de Thury



Johann Georg
von Soldner

La rappresentazione adottata per le mappe catastali fu in origine la **Cassini-Soldner**. Per coprire tutto il territorio nazionale furono adottate complessivamente **849** origini, 31 con grandi estensioni e 818 con piccole estensioni.

La **rappresentazione** è quindi **policentrica**, ogni centro è di solito un vertice trigonometrico di ordine superiore, l'estensione massima della zona che si riferisce ad un centro di proiezione è di circa **70 km** dall'origine in direzione **Est-Ovest** e **100 km** in direzione **Nord-Sud**.

Le equazioni della carta, considerando le coordinate geodetiche rettangolari, sono date dalle seguenti formule di Soldner:

$$\begin{cases} x = s \sin(\alpha - \varepsilon/3) \\ y = s \cos(\alpha - 2\varepsilon/3) \end{cases}$$

s = lunghezza dell'ipotenusa del triangolo geodetico ellissoidico di cateti **x**, **y**.

a = azimut rispetto all'origine

$$\varepsilon = \frac{s^2 \sin \alpha \cos \alpha}{2\rho_0 N_0} = \text{eccesso sferico}$$

ρ_0 , N_0 sono i raggi principali di curvatura dell'ellissoide di riferimento e sono calcolati nel punto di origine 0.

Quando si è introdotta la proiezione di Cassini-Soldner i moduli di deformazione lineare (nella direzione di azimut **a**) e superficiale sono dati da:

$$m_l = 1 + \frac{x^2}{2\rho_0 N_0} \cos^2 \alpha \quad m_s = 1 + \frac{x^2}{2\rho_0 N_0}$$

La rappresentazione di Cassini-Soldner è **afilattica**, si può osservare però che per $x_{\max} = 70$ km il modulo di deformazione superficiale non supera il valore 1,00005; inoltre lungo il meridiano centrale è sia equivalente che conforme. Queste considerazioni hanno quindi suggerito di adottare tale rappresentazione per le mappe catastali.

Tale rappresentazione è stata adottata dal Catasto per la maggior parte del territorio, in sede di formazione della propria cartografia.

Il sistema geodetico di riferimento adottato è definito nel modo seguente:

- **Ellissoide di Bessel** con i seguenti parametri:

$$s = \frac{a - b}{a}$$

semiasse

maggiore **a** = 637737,15 m

schacciamento **s** = 1/299,15

b = semiasse minore

- **Orientamento dell'ellissoide a Genova** (Osservatorio dell'Istituto Idrografico della Marina):
 - Coordinate geografiche di Genova (Osservatorio):

$$j = 44^\circ 25'08",235$$

$$l = 0^\circ (8^\circ 55'15",709 \text{ Est Greenwich})$$

Questo sistema di riferimento, coincidente con quello adottato dall'IGMI, ma non è stato utilizzato per l'intero territorio nazionale.

I lavori catastali si sono svolti in molti casi prima del completamento dei lavori di triangolazione dell'IGMI, ed hanno quindi fatto spesso riferimento a sistemi geodetici di definizione precedente.

La carta di Cassini-Soldner può ritenersi derivata da una proiezione cilindrica inversa. L'ellissoide di riferimento è quello di BESSEL.

8.6 - Definizione di DATUM geodetico

Per poter analizzare i vari sistemi di trasformazione delle coordinate, occorre definire il DATUM geodetico.

Si definisce **DATUM geodetico** un sistema di riferimento che permette di esprimere, in termini matematici, la posizione dei punti della superficie fisica della Terra o prossimi ad essa.

E' possibile definire un datum in diversi modi; la definizione convenzionale è legata ad una serie di punti materializzati sulla superficie terrestre, ai quali vengono attribuiti determinati valori delle coordinate. Tale operazione costituisce la realizzazione del datum.

Per la maggior parte delle applicazioni topografiche (sia da stazione totale che GPS), si utilizzano sistemi di riferimento solidali con la Terra. Per la geodesia astronomica e satellitare si utilizzano anche sistemi inerziali, in cui la Terra è in movimento. La definizione di datum geodetico è tridimensionale, ma viene utilizzata prevalentemente per la planimetria, mentre l'altimetria (determinazione delle quote ortometriche o geoidiche) richiede la definizione di un ulteriore datum, definito **Vertical datum**.

Nella geodesia classica, la definizione di datum è basata sul concetto di superficie di riferimento. Nella pratica, la definizione del datum consiste nell'individuare un ellissoide orientato localmente. Si adotta convenzionalmente un determinato ellissoide, del quale sono noti i parametri di dimensione e forma.

8.7 - Sistemi di trasformazione delle coordinate

Prima di analizzare i procedimenti di trasformazione più ricorrenti, è necessario sottolineare la differenza tra:

- Le **trasformazioni di coordinate**. Sono risolubili in forma analitica chiusa, o comunque con operazioni geometrico-matematiche ben definibili teoricamente, che nella maggior parte dei casi non comportano, in pratica, alcuna perdita di precisione dei dati originari se non per gli arrotondamenti di calcolo.
- Le **trasformazioni di datum**. Essendo i datum "realizzati" da reti geodetiche affette da errori, si basano necessariamente sull'utilizzo di parametri determinati statisticamente in base alla conoscenza delle coordinate in entrambi i datum per un certo numero di punti. Di conseguenza, questo secondo tipo di passaggi comporta quasi sempre indeterminazioni di uno o più ordini di grandezza superiori a quelle derivanti da una trasformazione di coordinate.

Di seguito riportiamo i tipi di trasformazioni di coordinate più significativi e ricorrenti nella pratica quotidiana.

8.8 - Sistemi di trasformazione delle coordinate: da Geografiche Ellissoidiche a Cartesiane Geocentriche (e viceversa)

E' la trasformazione tipica delle applicazioni GPS, è tridimensionale ed interessa contemporaneamente planimetria ed altimetria.

Trasformazione diretta (da geografiche a geocentriche)

Le equazioni parametriche dell'ellissoide sono:

$$\begin{cases} X = N \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega \\ Y = N \cdot \cos\varphi \cdot \sin\omega \\ Z = N \cdot (1 - e^2) \cdot \sin\varphi \end{cases}$$

e forniscono le coordinate cartesiane di un punto P_0 appartenente alla superficie ellissoidica, in funzione delle sue coordinate geografiche (φ, ω) .

Per un generico punto P situato ad una quota ellissoidica h rispetto alla superficie ellissoidica, le equazioni sono le seguenti:

$$\begin{cases} X = (N + h) \cos \varphi \cdot \cos \omega \\ Y = (N + h) \cos \varphi \cdot \sin \omega \\ Z = [N(1 - e^2) + h] \sin \varphi \end{cases}$$

Queste espressioni permettono di eseguire la trasformazione da coordinate geografiche (e quota ellissoidica) a coordinate cartesiane geocentriche.

Trasformazione inversa (da geocentriche a geografiche)

La trasformazione inversa non è ottenibile in modo automatico. Di seguito riportiamo la soluzione messa a punto da **Bowring**, che ha il vantaggio di essere in forma chiusa:

$$\varphi = \arctg \frac{Z + e^2 b \sin^3 \theta}{p - e^2 a \cos^3 \theta}$$

$$\omega = \arctg \frac{Y}{X}$$

$$h = \frac{p}{\cos \varphi} - N$$

dove p è la distanza dall'asse polare, e si può ricavare da $p = \sqrt{X^2 + Y^2}$

e^2 è la "seconda eccentricità" ed è pari a $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$

e θ è l'angolo ausiliario fornito da $\theta = \arctg \left(\frac{Za}{pb} \right)$

Riportiamo un **esempio numerico** per maggiore chiarezza di quanto appena citato:

Le coordinate geocentriche di un punto nel sistema WGS84 sono le seguenti:

$$X = 4.562.091,708 \text{ m}$$

$$Y = 978.251,742 \text{ m}$$

$$Z = 4.334.543,222 \text{ m}$$

Con i parametri dell'ellissoide WGS84, dalle formule di Bowring si ottengono i seguenti valori delle coordinate geografiche:

$$\varphi = 43^\circ 05' 02,9318''$$

$$\omega = 12^\circ 06' 09,6836''$$

$$h = 306,344 \text{ m}$$

8.9 - Sistemi di trasformazione delle coordinate: da Cartesiane Geocentriche a Cartesiane Locali (e viceversa)

Trasformazione diretta (da geocentriche a locali)

È una trasformazione che riguarda coordinate tridimensionali, quindi interessa planimetria ed altimetria. Sia P_0 , di coordinate geocentriche note (X_0, Y_0, Z_0), l'origine della terna euleriana. Sia P un punto generico, di coordinate geocentriche (X, Y, Z). Si calcolano dapprima le

differenze di coordinate tra P e P_0 , cioè le componenti del vettore "baseline" $P - P_0$.

$$\Delta X = X - X_0$$

$$\Delta Y = Y - Y_0$$

$$\Delta Z = Z - Z_0$$

Le coordinate (e, n, h) di P si ottengono poi le formule di rotazione tra i due sistemi:

$$\begin{bmatrix} e \\ n \\ h \end{bmatrix} = \mathbf{R}(\varphi, \omega) \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

dove $\mathbf{R}(\varphi, \omega)$ è la matrice di rotazione ed è data da:

$$\mathbf{R}(\varphi, \omega) = \begin{bmatrix} -\sin\omega & \cos\omega & 0 \\ -\sin\varphi \cos\omega & -\sin\varphi \sin\omega & \cos\varphi \\ \cos\varphi \cos\omega & \cos\varphi \sin\omega & \sin\varphi \end{bmatrix}$$

calcolata per le coordinate geografiche di P_0 , ottenibili dalle geocentriche mediante le formule di Bowring.

Trasformazione inversa (da locali a geocentriche)

Si ottiene facilmente invertendo la seguente formula:

$$\begin{bmatrix} e \\ n \\ h \end{bmatrix} = \mathbf{R}(\varphi, \omega) \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

che diviene:

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \mathbf{R}^{-1}(\varphi, \omega) \begin{bmatrix} e \\ n \\ h \end{bmatrix}$$

La matrice inversa $\mathbf{R}^{-1}(\varphi, \omega)$ risulta uguale alla trasposta, ovvero si ha:

$$\mathbf{R}^{-1}(\varphi, \omega) = \mathbf{R}^T(\varphi, \omega) = \begin{bmatrix} -\sin\omega & -\sin\varphi \cos\omega & \cos\varphi \cos\omega \\ \cos\omega & -\sin\varphi \sin\omega & \cos\varphi \sin\omega \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi \end{bmatrix}$$

e le coordinate geografiche sono sempre quelle dell'origine P_0 . Le coordinate geocentriche di P si ottengono infine da:

$$X = X_0 + \Delta X$$

$$Y = Y_0 + \Delta Y$$

$$Z = Z_0 + \Delta Z$$

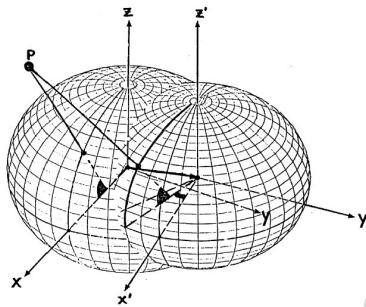
8.10 - Trasformazioni di DATUM Geodetico

Queste trasformazioni riguardano la possibilità di passare da un sistema di riferimento geodetico ad un altro. Ad esempio, le coordinate geografiche del vertice trigonometrico di Castiglione del Lago (PG), appartenente alla rete IGM 95 possono essere espresse in diversi datum, quali:

$$\begin{aligned} \text{Roma 40:} \quad \varphi &= 43^\circ 07' 37,250'' \\ \omega &= -0^\circ 23' 47,323'' \text{ E} \quad \text{M.Mario} = 12^\circ 03' 21,077'' \text{ E} \quad \text{Greenwich} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WGS 84:} \quad \varphi &= 43^\circ 07' 39,584'' \\ \omega &= 12^\circ 03' 20,248'' \text{ E} \quad \text{Greenwich} \end{aligned}$$

Dall'esempio si evince che la massima differenza in latitudine è di circa 3'', che corrispondono a circa 90 metri. Da questo esempio si comprende come sia indispensabile precisare il datum a cui si fa riferimento.



Dalla figura si comprende ancora meglio. Uno stesso punto P riferito a due diversi datum geodetici ha coordinate geografiche diverse.

Le procedure utilizzate in geodesia per effettuare trasformazioni di datum possono essere raggruppate nelle seguenti categorie:

- Procedimenti basati su una trasformazione fra sistemi cartesiani nello spazio;
- Trasformazioni di tipo empirico valide localmente.

8.11 - Trasformazioni fra sistemi cartesiani tridimensionali

Con questa procedura, la trasformazione di datum viene eseguita operando sulle **coordinate cartesiane geocentriche** nei due sistemi.

Si passa da un sistema cartesiano nello spazio ad un'altra terna cartesiana, traslata e diversamente orientata rispetto alla prima (con eventuali variazioni di scala e distorsioni).

La procedura di trasformazione più frequentemente utilizzata, conosciuta come **Trasformazione di HELMERT**, è un caso particolare di trasformazione affine consistente in una rototraslazione nello spazio, con un fattore di scala.

La forma della trasformazione di Helmert è la seguente:

$$\mathbf{X}_2 = \mathbf{X}_0 + (1 + k) \mathbf{R} \mathbf{X}_1$$

nella quale $\mathbf{X}_0$ è un vettore comprendente i tre parametri di traslazione X_0, Y_0, Z_0 , ovvero:

$$\mathbf{X}_0 = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$

mentre $\mathbf{R}$ è la matrice di rotazione, definita in funzione di tre parametri di rotazione R_x, R_y, R_z (rotazioni attorno a ciascuno dei tre assi):

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &= \begin{pmatrix} \cos R_z & \sin R_z & 0 \\ -\sin R_z & \cos R_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos R_y & 0 & -\sin R_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin R_y & 0 & \cos R_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos R_x & \sin R_x \\ 0 & -\sin R_x & \cos R_x \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \cos R_y \cos R_z & \cos R_x \sin R_z + \sin R_x \sin R_y \cos R_z & \sin R_x \sin R_z - \cos R_x \sin R_y \cos R_z \\ -\cos R_y \sin R_z & \cos R_x \cos R_z - \sin R_x \sin R_y \sin R_z & \sin R_x \cos R_z + \cos R_x \sin R_y \sin R_z \\ \sin R_y & -\sin R_x \cos R_y & \cos R_x \cos R_y \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Per la stima dei parametri è necessario linearizzare la forma della trasformazione di Helmert; a tale scopo è sufficiente sostituire all'espressione generale della matrice **R** quella linearizzata valida per piccole rotazioni, che mantiene la stessa forma qualunque sia l'ordine in cui avvengono le tre rotazioni:

$$\mathbf{R}_L = \begin{pmatrix} 1 & R_z & -R_y \\ -R_z & 1 & R_x \\ R_y & -R_x & 1 \end{pmatrix}$$

Le rotazioni tra gli assi di due terne geocentriche sono effettivamente molto piccole; quindi, l'espressione linearizzata può essere impiegata anche per eseguire la trasformazione di datum (una volta determinati i parametri), introducendo un'approssimazione inferiore a quella dovuta alle altre cause di incertezza. Si ha così il vantaggio di svincolarsi dalla convenzione relativa all'ordine in cui avvengono le rotazioni.

Il **fattore di scala k** viene inserito per tener conto delle differenze di scala che inevitabilmente caratterizzano due diversi datum (originati da diversi set di misure, spesso eseguite in periodi storici molto diversi e con strumentazioni di caratteristiche differenti).

I parametri da cui dipende la trasformazione sono quindi **sette** (tre traslazioni, tre rotazioni e un fattore di scala), pertanto la trasformazione di Helmert è detta comunemente "**trasformazione a sette parametri**".

© Analyst Group

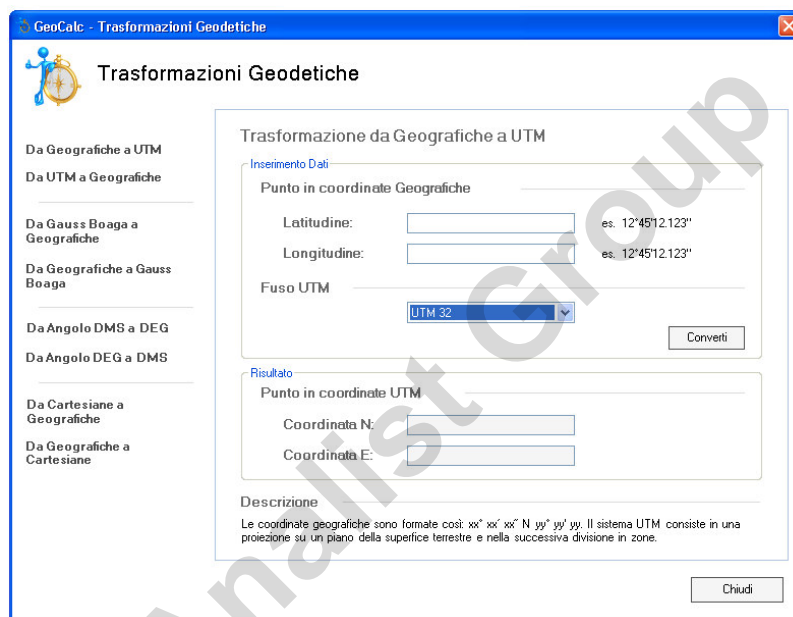
Capitolo

9

Capitolo 9 - GeoCalc

GeoCalc è il software per effettuare le Trasformazioni Geodetiche. E' possibile effettuare le seguenti trasformazioni:

- **Da Geografiche a UTM** e viceversa
- **Da Gauss Boaga a Geografiche** e viceversa
- **Da angolo DMS a DEG** e viceversa
- **Da cartesiane a geografiche** e viceversa



Analizziamo dettagliatamente le varie tipologie di trasformazioni

Trasformazione Geodetica da Geografiche a UTM

Inserire correttamente i dati espressi in latitudine e longitudine, come mostrato in figura.

Trasformazione da Geografiche a UTM

Inserimento Dati

Punto in coordinate Geografiche

Latitudine: es. 12°45'12.123''

Longitudine: es. 12°45'12.123''

Se non si inserisce il simbolo dei **gradi (°)**, dei **primi (')** e dei **secondi (")** il programma dà un messaggio di errore e non consente di proseguire.

Inserimento Dati

Punto in coordinate Geografiche

Latitudine: es. 12°45'12.123"

Longitudine: es. 12°45'12.123"

Fuso UTM

 **Attenzione parametro Latitudine errato!**

Occorre selezionare il Fuso UTM di riferimento.

Fuso UTM

UTM 32
 UTM 32
 UTM 33
 UTM 34

Cliccate sul tasto converti

e viene visualizzata la trasformazione, ovvero le coordinate Nord – Est.

Risultato

Punto in coordinate UTM

Coordinata N:

Coordinata E:

Trasformazione Geodetica da UTM a Geografiche

Inserire correttamente i dati espressi in coordinata Nord ed in coordinata Est

Trasformazione da UTM a Geografiche

Inserimento Dati

Punto in coordinate UTM

Coordinata N: es. 1800000.00

Coordinata E: es. 800000.00

Occorre selezionare il Fuso UTM di riferimento.

Fuso UTM

UTM 32
 UTM 32
 UTM 33
 UTM 34

Cliccate sul tasto converti

e viene visualizzata la trasformazione, ovvero le coordinate espresse in latitudine ed in longitudine.

Risultato

Punto in coordinate Geografiche

Latitudine:

Longitudine:

Trasformazione da Gauss-Boaga a Geografiche

Inserire correttamente i dati espressi in coordinata Nord ed in coordinata Est.

Trasformazione da Gauss-Boaga a Geografiche

Inserimento Dati

Punto in coordinate Gauss-Boaga

Coordinata N: es. 180000.00

Coordinata E: es. 80000.00

Occorre selezionare il Fuso di riferimento (EST - OVEST)

Fuso

EST
EST
OVEST

Cliccate sul tasto converti

Converti

e viene visualizzata la trasformazione, ovvero le coordinate espresse in latitudine ed in longitudine.

Risultato

Punto in coordinate Geografiche

Latitudine:

Longitudine:

Descrizione

Si tratta di una trasformazione matematica che a partire dalle coordinate cartografiche x e y sul piano calcola le coordinate geografiche ϕ (latitudine) e λ (longitudine).

Trasformazione da Geografiche a Gauss-Boaga

Inserire correttamente i dati espressi in latitudine e longitudine, come mostrato in figura.

Trasformazione da Geografiche a Gauss-Boaga

Inserimento Dati

Punto in coordinate Geografiche

Latitudine: es. 12°45'12.123''

Longitudine: es. 12°45'12.123''

Se non si inserisce il simbolo dei **gradi (°)**, dei **primi (')** e dei **secondi (")** il programma dà un messaggio di errore e non consente di

proseguire.

Inserimento Dati

Punto in coordinate Geografiche

Latitudine: es. 12°45'12.123"

Longitudine: es. 12°45'12.123"

Attenzione parametro Latitudine errato!

OK

Occorre selezionare il Fuso di riferimento (EST - OVEST)

Fuso

EST
EST
OVEST

Cliccate sul tasto converti

Converti

e viene visualizzata la trasformazione, ovvero le coordinate Nord – Est.

Risultato

Punto in coordinate Gauss-Boaga

Coordinata N:

Coordinata E:

Descrizione

Si tratta di una trasformazione matematica che a partire dalle coordinate geografiche ϕ (latitudine) e λ (longitudine), calcola le coordinate cartografiche x e y sul piano.

Trasformazione da Coordinate Cartesiane a Coordinate Geografiche

Inserire correttamente i dati espressi in coordinata X, coordinata Y e coordinata Z, come mostrato in figura.

Trasformazione da Cartesiane a Geografiche

Inserimento Dati

Punto in coordinate Cartesiane

Coordinata X: es. 180000.00

Coordinata Y: es. 180000.00

Coordinata Z: es. 1800.00

Cliccate sul tasto converti

Converti

e viene visualizzato il punto in coordinate geografiche (latitudine e longitudine).

Risultato

Punto in coordinate Geografiche

Latitudine:

Longitudine:

Trasformazione da Coordinate Geografiche a Coordinate Cartesiane

Inserire correttamente i dati espressi in latitudine, longitudine ed altitudine, come mostrato in figura.

Trasformazione da Geografiche a Cartesiane

Inserimento Dati

Punto in coordinate Geografiche

Latitudine: es. 12°45'12.123"

Longitudine: es. 12°45'12.123"

Altitudine: es. 1800.0

Se non si inserisce il simbolo dei **gradi (°)**, dei **primi (')** e dei **secondi (")** il programma dà un messaggio di errore e non consente di proseguire.

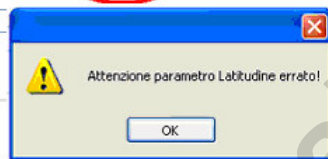
Inserimento Dati

Punto in coordinate Geografiche

Latitudine: es. 12°45'12.123"

Longitudine: es. 12°45'12.123"

Altitudine:



Cliccate sul tasto converti

←

e viene visualizzato il punto in coordinate cartesiane (X, Y, Z).

Risultato

Punto in coordinate Cartesiane

X: Y: Z:

Capitolo 10

Capitolo 10 - Glossario

AS (Anti-spoofing)

Procedura utilizzata dal Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti, finalizzata a limitare la precisione del sistema GPS e consiste nella trasmissione di un codice cifrato, destinato esclusivamente agli utenti militari autorizzati, in sostituzione del codice normalmente trasmesso e destinato agli utenti civili.

BASELINE (Linea di base)

Misura del vettore individuato nello spazio attraverso le coordinate geocentriche dei vertici acquisite simultaneamente da 2 ricevitori GPS con tecniche di rilievo differenziali.

BIASES (Errori di modello)

Errori sistematici, connessi alla modalità di utilizzazione del sistema GPS ed alla esecuzione delle osservazioni, che vanno neutralizzati o attenuati. Il prolungamento del tempo di osservazione e le metodiche differenziali risolvono la maggior parte degli errori di modello (errori nelle effemeridi trasmesse, errori nel sincronismo degli orologi, ritardo atmosferico, etc.)

C/A CODE (Codice di acquisizione)

Codice di acquisizione dei dati GPS modulato alla frequenza di 1023 MHz e con un periodo di ripetizione del codice pari a 1/1000 di secondo.

CAMPO GEODETICO

Zona di terreno attorno ad un punto P, avente un raggio di circa 100 Km, entro il quale le misure assunte vanno calcolate con la trigonometria sferica, notevolmente più semplice di quella ellissoidica, sostituendo all'ellissoide di rotazione una sfera locale.

CAMPO TOPOGRAFICO

Zona di terreno attorno ad un punto P, avente un raggio di circa 25 Km, entro il quale le misure assunte vanno calcolate con la trigonometria piana, sostituendo alla sfera locale un piano orizzontale tangente nel punto stesso.

CHIP

Intervallo temporale di uno "0" o di un "1" in un codice binario ad impulsi.

CHIP RATE

Numero di chip al secondo.

CYCLE SLIP (Salto di Ciclo)

Interruzione della ricezione del segnale che può determinare ingenti errori dovuti all'errato conteggio del numero di cicli completi per la determinazione dell'intero iniziale non noto detto ambiguità di fase. Durante la sessione del rilievo il ricevitore deve essere "agganciato" ininterrottamente ai satelliti al fine di conteggiare esattamente il numero dei cicli completi indispensabile per la determinazione dell'intero iniziale non noto. Se si verifica un salto di ciclo si può avere la conseguente possibilità di creare consistenti errori nel calcolo della distanza satellite – ricevitore. Tale problematica va affrontata prolungando il tempo di tracciamento dei satelliti. I nuovi sistemi GPS di buona qualità sono in grado di individuare e neutralizzare i salti di ciclo nel minor tempo possibile.

CLOCK OFFSET

Differenza costante nella rilevazione del tempo di due orologi (sfasamento temporale).

CTP

Polo Terrestre Convenzionale relativo al sistema di coordinate geocentriche WGS84.

CUT-OFF ANGLE (Angolo cut-off)

Limite angolare di elevazione (in genere pari a 15 gradi) al di sotto del quale non viene rilevato alcun satellite dal ricevitore GPS.

DGPS (Differenzial Global Position System)

Termine utilizzato per individuare un metodo di posizionamento che si basa sull'uso di almeno 2 ricevitori che, avvalendosi di correzioni differenziali di codici trasmessi in tempo reale via radio da un ricevitore all'altro, rilevano simultaneamente gli stessi segnali GPS.

DOD

Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti.

DOP (Dilution of Precision)

Indice dell'incertezza sul posizionamento relativo alla conformazione geometrica dei satelliti agganciati al momento della misurazione.

DPI (Punti per Pollice)

Valore indicatore della risoluzione di un'immagine espresso in numeri pixel per ogni pollice.

EFFEMERIDI

Sono serie di informazioni, dati e parametri orbitali relative alla posizione ed allo stato di salute dei satelliti. I segmenti di controllo (centri di osservazione) dislocati in tutto il mondo, ricevono le effemeridi, monitorandole continuamente ed elaborandone i dati per poi ritrasmettere ai satelliti le previsioni sulle orbite delle successive ore. I satelliti, a loro volta, trasmettono come parte integrante del radiosegnale, le effemeridi ai ricevitori GPS che le sfruttano per il calcolo delle coordinate di punti da rilevare.

ELLISOIDE

E' una figura matematica descrivibile e formata ruotando un'ellisse intorno al suo asse minore. L'ellissoide, in Geodesia, viene definito dalla lunghezza del semiasse maggiore e dallo schiacciamento.

FAST STATIC SURVEY (Rilievo Statico Veloce)

Procedura di rilevamento simile al rilievo statico, rispetto al quale presenta tempi di stazionamento minori al costo di una leggera perdita di precisione.

GEODESIA

Scienza che studia la forma e le dimensioni della Terra.

GEOIDE

Superficie equipotenziale che coincide con il livello medio del mare e che si estende in modo immaginario attraverso i continenti. In qualsiasi punto, tale superficie è perpendicolare alla direzione della forza di gravità.

GIS (Geografic Information System)

Sistema informativo geografico o territoriale computerizzato utilizzato per introdurre, gestire, analizzare e visualizzare Data Base territoriali o geografici al fine di fornire un'approfondita chiave di lettura del territorio per scopi diversi. E' in grado di gestire anche dati territoriali costituite da file di formati diversi (archivi DOC, disegni DWG, immagini TIFF).

GLONASS (Global Navigation Satellite System)

Sistema satellitare realizzato dalla Federazione Russa ed analogo al GPS americano con il quale condivide gli stessi principi e la stessa metodologia per il posizionamento.

GPS (Global Positioning System)

Complesso sistema tecnologico, realizzato dal Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti, di portata mondiale che determina il posizionamento di punti sulla superficie dell'intero globo terrestre con precisioni che vanno da qualche millimetro a 100 metri. Il posizionamento dei punti si ottiene attraverso la misura del tempo e della distanza determinate mediante l'utilizzo di una costellazione di 24 satelliti.

IGM95

Rete di vertici distribuiti sul territorio nazionale italiano posti mediamente a 20 Km di distanza tra essi, con precisione planimetrica di 2,5 cm e con precisione altimetrica di 5 cm.

ISOBATE

Linee che uniscono punti di uguale quota ed appartenenti alle terre sommerse.

ISOIPSE

Linee che uniscono punti di uguale quota ed appartenenti alle terre emerse.

ITALGEO99

Progetto realizzato dall'Istituto di Geodesia dell'Università di Milano consistente nell'acquisizione, a partire dai dati IGM95, dell'ondulazione del Geoide relativa al territorio italiano con valori di scostamento entro 10 cm.

LATITUDINE

Coordinata di un punto sulla superficie terrestre espressa da una misura angolare fra la normale ellissoidale ed il piano equatoriale. La latitudine è zero all'equatore e 90° ai poli, mentre il Nord è considerato positivo, il Sud negativo.

LONGITUDINE

Coordinata di un punto sulla superficie terrestre espressa da una misura angolare fra il piano ellissoidale che passa attraverso l'asse di rotazione della terra, in corrispondenza del meridiano 0° di Greenwich, ed il piano ellissoidale meridiano contenente il punto in questione. La longitudine è zero a Greenwich e viene misurata verso est a 360°.

MAPPING

Termine utilizzato per individuare i rilievi cartografici di dettaglio.

MISURA DI FASE (Fase del Codice)

Misura della distanza Satellite – Ricevitore ottenuta per differenza tra la fase dell'onda portante trasmessa dal satellite e la fase di un'onda di riferimento originata dal ricevitore (misura dello scostamento di fase). Per l'ottimale precisione (posizionamento subcentimetrico) ottenibile nella determinazione della distanza, è utilizzata in operazioni topografiche e geodetiche.

MISURA DI PSEUDRANGE (Fase della Portante)

Misura della distanza Satellite – Ricevitore ottenuta dal prodotto della velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica per il tempo impiegato dalla stessa onda per raggiungere il ricevitore (misura dello scostamento di tempo). Per la limitata precisione (posizionamento metrico) ottenibile nella determinazione della Pseudodistanza, è utilizzata prevalentemente per la navigazione aerea, terrestre e marittima.

MULTIPATH (Percorso multiplo)

Disturbo dovuto al fenomeno che peggiora il rapporto segnale/rumore, riconducibile dalla contemporanea ricezione sia del segnale proveniente direttamente dal satellite che di altri segnali riflessi da superfici circostanti l'antenna GPS (alberi, edifici, cartelli, masse metalliche, tralicci, etc.).

OGGETTO CATASTALE

Poligono chiuso contraddistinto, nella proposta di aggiornamento cartografico, da un identificativo catastale (numerico o letterale).

ONDULAZIONE DEL GEOIDE

Scostamento fra la superficie di rappresentazione ellissoidica e la superficie di rappresentazione geoidica da tenere in considerazione ai fini della determinazione della quota ortometrica. E' un dato che varia localmente ed in Italia è tenuto e gestito dalla società privata Italgeo.

ORBITE PREDETTE

Sono integrazioni nel futuro di orbite precise. Le stime di orologio non possono essere predette, se non a brevissimo termine, e per questo motivo la precisione della stima dell'errore di orologio è appena migliore di quella contenuta nelle effemeridi trasmesse.

ORBITE RAPIDE

Disponibili entro un giorno o poche ore. Sono stimate esattamente come le orbite precise ma utilizzando solo un insieme limitato delle osservazioni disponibili.

ORBITE PRECISE

Disponibili entro due settimane. Sono stimate utilizzando tutte le osservazioni rese disponibili dalla rete globale.

PORTANTE

Onda radio usata per trasmettere informazioni modulando almeno una delle sue caratteristiche (frequenza, ampiezza e fase) a partire da un valore noto di riferimento.

POST PROCESSING (Post-Elaborazione)

Processo di elaborazione in tempo differito dei dati precedentemente rilevati dai satelliti.

PRN (Pseudo Random Noise)

Rumore pseudo casuale, sostituito da una sequenza di cifre binarie che appare distribuita casualmente ma che può essere esattamente riprodotta.

PROIEZIONE CONFORME

Tipo di proiezione cartografica in cui convenzionalmente gli angoli misurati sulla carta sono uguali a quelli misurati sul terreno.

PROPAGATION DELAY (Ritardo di Propagazione)

Ritardo temporale dei segnali satellitari, dovuto all'attraversamento degli strati della troposfera terrestre.

PSEUDO DISTANZA

Distanza apparente da un satellite al centro di fase dell'antenna di un ricevitore GPS calcolata come prodotto dell'apparente tempo di percorrenza del segnale e la velocità della luce.

PUNTO UTENTE

Punto di inquadramento del rilievo di coordinate note poiché già trattato con atto di aggiornamento geometrico precedente.

QUOTA ELLISSOIDICA

Distanza misurata lungo la normale all'ellissoide, tra un punto e la superficie dello stesso ellissoide. E' la quota riferita all'ellissoide WGS84 fornita dai sistemi GPS.

QUOTA ORTOMETRICA (H)

E' la lunghezza della linea della verticale dal punto sulla superficie terrestre del geoide.

RASTER

Dato di informazioni, relativo ad una immagine, costituito da una griglia regolare di pixel a cui sono assegnati particolari parametri (colore, contrasto, luminosità, etc.)

RIFERIMENTO ALTIMETRICO

Punto, linea orizzontale o piano di stabile materializzazione e di individuazione univoca ai fini della corretta determinazione delle quote e dei dislivelli.

RINEX (Receiver Independent Exchange Format)

Formato del file di interscambio dati GPS fra ricevitori e software riconosciuto da differenti case produttrici. Include la definizione di tre fondamentali parametri GPS osservabili: tempo, fase e distanza.

RTK (Real Time Kinematic)

Procedura di rilevamento che consente di ottenere in tempo reale coordinate di massima precisione. Richiede il collegamento radio tra la stazione di base ed il ricevitore mobile.

RUMORE NELLA RICEZIONE DEL SEGNALE

Fattore di disturbo nel segnale del ricevitore causato dalla presenza di fonti elettromagnetiche nell'ambiente circostante. E' tollerabile solo entro i limiti prescritti dalle specifiche tecniche della strumentazione in uso altrimenti il punto non è rilevabile ed occorre spostarsi in un'altra zona.

SA (Selective Availability)

Disponibilità selettiva, concettualmente simile all'Anti Spoofing, è una restrizione di accesso ai dati definitivamente disattivata l'1 maggio 2000 e può essere inserita e disinserita in qualsiasi momento con comandi da terra ; consiste nella trasmissione ai satelliti di un segnale contenente un

errore internazionale ed artificiale introdotto da Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti.

SKY PLOT

Diagramma delle orbite in cui è rappresentata la posizione dei satelliti rispetto alla volta celeste distinguendo l'utilizzazione o meno del singolo satellite.

STATIC SURVEY (Rilievo Statico)

Procedura di rilevamento satellitare che consente di ottenere risultati di alta precisione, ma che richiede occupazioni della stazione molto lunghe.

STOP & GO SURVEY (Rilievo Cinematico)

Procedura di rilevamento satellitare caratterizzata dallo spostamento continuo del ricevitore mobile che, mantenendo l'aggancio con la stazione base, si ferma per brevi periodi di osservazione sui punti da rilevare.

SUPERFICIE TOPOGRAFICA

E' la superficie che vediamo noi.

SUPERFICIE GEOIDICA

E' la superficie che "percepiamo" studiando l'attrazione gravitazionale.

SUPERFICIE ELLISSOIDICA

E' un'astrazione matematica, una semplificazione che noi adottiamo per sostituire la vera Terra con un modello che siamo in grado di descrivere analiticamente.

TEMPO DI OCCUPAZIONE

E' il periodo di tempo durante il quale il ricevitore GPS rimane fermo su un punto mentre esegue le osservazioni durante la procedura di rilevamento.

URS (Universal Reference Station)

Stazione permanente GPS di riferimento gestita in modo automatizzato da un organismo, privato o pubblico, che si occupa di ricevere e decodificare il segnale GPS per ricavare e gestire i dati elaborati da trasmettere via modem agli utilizzatori che decidono di avvalersi una sola stazione mobile per il proprio rilievo. L'utilizzatore del servizio, a pagamento, riceve, per l'intervallo di tempo in cui ha eseguito il suo rilievo, i dati necessari per la fase di post-elaborazione ed il calcolo dei vettori creatisi fra la propria stazione mobile e la stazione permanente di riferimento.

UT (Universal Time)

Ora media solare riferita al meridiano di Greenwich, detta anche Tempo Universale.

UTM (Universal Transverse Mercator Projection)

Proiezione universale trasversa di Mercatore.

VARIANZA

Valore indicante il quadrato dell'errore standard.

WEGIS (Web Enable Gis)

Nuovo sistema informatico con ambiente grafico interattivo di gestione della cartografia catastale basato su tecnologie Web ed utilizzato dagli uffici dell'Agenzia del Territorio per il trattamento delle informazioni grafiche delle mappe. Il sistema si basa su una banca dati topocartografica di tipo relazionale, integrata con la banca dati censuaria, in grado di gestire rappresentazioni e funzionalità operanti su cartografia vettoriale.

WEGIS/STDA

Ambiente grafico interattivo per la redazione della proposta di aggiornamento facente parte dell'applicazione FIRE richiamabile dall'interno della procedura Pregeo in uso ai tecnici liberi professionisti.

VETTORIALE

Dato di informazioni costituito da un insieme di entità geometriche definite numericamente (punti, segmenti, archi di circonferenza, etc.) con riferimento ad un particolare sistema di coordinate.

WGS84 (Word Geodetic System 1984)

Sistema geodetico mondiale di riferimento alle misurazioni GPS che definisce la posizione dei punti nelle tre coordinate spaziali X, Y e Z in un sistema cartesiano geocentrico.

WIRELESS

Tecnologia di comunicazione senza fili fra i dispositivi collegati.

ZENIT

Punto del cielo posto direttamente sopra l'osservatore con la condizione che la linea virtuale congiungente il suddetto punto con il punto di vista dell'osservatore sia verticale.

© Analyst Group

Capitolo 11

Capitolo 11 - Bibliografia

Adam J., "The European Reference System coming of age", Geodesy Beyond 2000.

Aoudia A., Barzaghi R., Borghi A., Sabadini R., Marotta A. M., Panza G., Troisi C., Manzino A. M., Roggero M., Lucchetta A., Carraro C., Zampedri G., Laffi R., Crotta S., De Donatis S., Gerbino P. G., Sguerso D., Voelksen C., Drewes H., Valpersdorf A., Zivcic M, "Il progetto ALPS-GPSQuakenet, Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA", Roma, dicembre 2004.

Bagge, A., Wübbena G., Schmitz M., "Introduction into Real-Time Network Adjustment with Geo++@ GNSMART", Geoinformation Workshop 2004, Istanbul Kultur University, Antalya, Turkey, September, 2004.

Barzaghi R., Borghi A., Crespi M., Pietrantonio G., Riguzzi F., "GPS permanent network solution: the impact of temporal correlations", V Hotine Marussi Symposium on Mathematical Geodesy, Matera, Italy June 2002.

Bencini P., "Appunti di cartografia", I.G.M.I. 1985.

Beutler G., Rothacher M., Schaer S., Springer T.A., Kouba J., Neilan R.E., "The International GPS Service (IGS): An Interdisciplinary Service in Support of Earth Sciences", Adv. Space Res. Vol. 23, No. 4, 1999.

Biagi L., Caldera S., Sansò F., Visconti M. G., "Parametri di trasformazione fra coordinate rete e coordinate utente per la Regione Lombardia", 2005.

Biagi L., Crespi M., Manzino A. M., Sansò F., Roggero M., "Guidelines to an optimal adjustment of local service permanent networks within a dynamic world: a first proposal", 2005.

Biagi L., Crespi M., Manzino A. M., Sansò F., "I servizi di posizionamento basati su reti di stazioni permanenti GNSS", in stampa sul Bollettino SIFET, 2006.

Biagi et al. , "Il Servizio di Posizionamento in Regione Lombardia e la prima sperimentazione sui servizi di rete in tempo reale, in fase di sottomissione al Bollettino SIFET", 2006.

Birardi G., "Corso di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria", I.G.M.I. 1967.

Boaga G., "Elementi di geodesia e Topografia" CEDAM 1944.

Boaga G., "Sulla rappresentazione conforme di Gauss" I.G.M.I. 1942

Borre K., Strang G., "Linear Algebra, Geodesy, and GPS", Wellesley-Cambridge Press, 1997.

Boucher C., Altamimi Z., Memo, "Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign", 2001.

Cina A., Manzino A., Piras M., Roggero M, "Rete test in Piemonte, impianto e risultati, in Bollettino SIFET", n. ° 2 – 2004.

Cino N., Fusacchia G., Iovine A., "Pratica Topografica".

- Cross P. A., Hawksbee D. J. and Nicolai R., "Quality measures for differential GPS positioning", The Hydrographic Journal, n.° 72, April 1994.
- D'Arrigo C., "Appunti di cartografia" I.G.M.I. 1972.
- D'Arrigo C., "Appunti di geometria dell'ellissoide di riferimento" I.G.M.I. 1990.
- Donatelli D., Maseroli R., Pierozzi M., "La trasformazione tra sistemi di riferimento utilizzati in Italia", Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, n. 4/2002.
- Fondelli M., "Manuale di Topografia" Laterza 1991.
- Ferland R., Gendt. G., Schone T., "IGS Reference Frame Maintenance, Proceedings of IGS: Celebrating a decade of the International GPS Service", Berne, March 1-5, 2004.
- Franchi N., "Elementi di cartografia" I.G.M.I. 1979.
- Gang Lu, "Quality control for differential kinematic GPS positioning", Calgary, Alberta, August 1991.
- Hofmann Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J, "GPS Theory and Practice", Springer Wien New York, 1997.
- Inghilleri G., "Topografia generale", UTET 1974.
- Jadanza N., "Guida al calcolo delle coordinate geodetiche", Loescher 1891.
- Jadanza N., "Elementi di geodesia", I.G.M.I. 1895.
- Jin X. X. and De Jong C. D., "Relationship between satellite elevation and precision of GPS code observations", The Journal of Navigation, Vol. 49, 1996.
- Lanzi C., Gelmini M., Trebeschi A., Vassena G., "Progetto BresciaGPS: esperienze preliminari e problematiche di installazione di una stazione GPS permanente". Atti 6° Conferenza Nazionale ASITA - Perugia, 5-8 Novembre 2002.
- La Vecchia C., Polizzi B., "Il Catasto Terreni".
- Leick A., "GPS Satellite Surveying". Third Edition Wiley & Sons, 2004.
- Manzino A. M., "Introduzione all'uso del filtro di Kalman in Geodesia", La fotogrammetria nell'era dell'inerziale – Seminario internazionale, Pavia, giugno 2002.
- Marcantoni A., "Nozioni elementari di geodesia" Vallerini 1947.
- Marussi A., "La teoria della proiezione di Gauss", I.G.M.I. 1950.
- Paroli A., "Triangolazioni topografiche e del catasto", Hoepli.
- Pericoli A., "Applicazioni topografiche (studio e impianto dei ponti radio)", I.G.M.I. 1973.
- Pizzetti P., "Trattato di geodesia teoretica", Zanichelli 1928.
- Ray J., Dong D., Altamimi Z., "IGS Reference Frame: Status and Future Improvements, Proceedings of IGS: Celebrating a decade of the International GPS Service", Berne, March 1-5, 2004, AIUB, Berne, 2004.

Surace L., "La nuova rete geodetica nazionale IGM95: risultati e prospettive di utilizzazione", Bollettino di Geodesia e Scienze affini, Anno LIV, n. 2, 1995.

Thiel, K. H., "Availability and accuracy of GPS and differential correction data for land navigation in different environment Proceedings of International-Symposium of European Radio Navigation Networks Integration of GPS, EGNOS, Galileo and LORAN-C/EUROFIX", Munich, Germany, 04-05 June 2003.

Tiberius C. C. J. M., "Quality Control in Positioning", The Hydrographic Journal, October 1998.

Wieser, A., "Improved Positioning Accuracy with High-sensitivity GNSS Receivers and SNR Aided Integrity Monitoring of Pseudo-range Observations", ION GNSS 2005.

© Analyst Group

Capitolo 12

Capitolo 12 - Sitografia

http://geodaf.mt.asi.it/html_old/index.html

<http://www.uniroma1.it/resnap-gps/index.asp>

<http://igscb.jpl.nasa.gov/>

<http://www.iers.org>

<http://www.euref-iaq.net/>

<http://www.epncb.oma.be/>

<http://www.igmi.org/>

<http://geomatica.como.polimi.it/prin/>

<http://lareg.ensg.ign.fr/EUREF/>

<http://www.iers.org/iers/publications/tn/tn32/>

<http://www.navcen.uscg.gov>

<http://cgls.uscg.mil/mailman/listinfo/gps>

<http://www.igeb.gov>

<http://www.galileo-industries.com>

<http://www.sstl.co.uk/>

http://milhouse.jpl.nasa.gov/eng/jpl_hp2.html

<http://lox.ucsd.edu/>

<http://www.cx.unibe.ch/ciub/igs.html>

<http://www.ngs.noca.gov/GPS/GPS.html>

<http://www.gfz-postdam.de/pb1/IGS/IGS.html>

<http://www.gead.nrcon.gc.ca/products/>

http://www.afcea.org.tr/afceatr/makaleler/AFCEA99_Bildiri_Session3.pdf

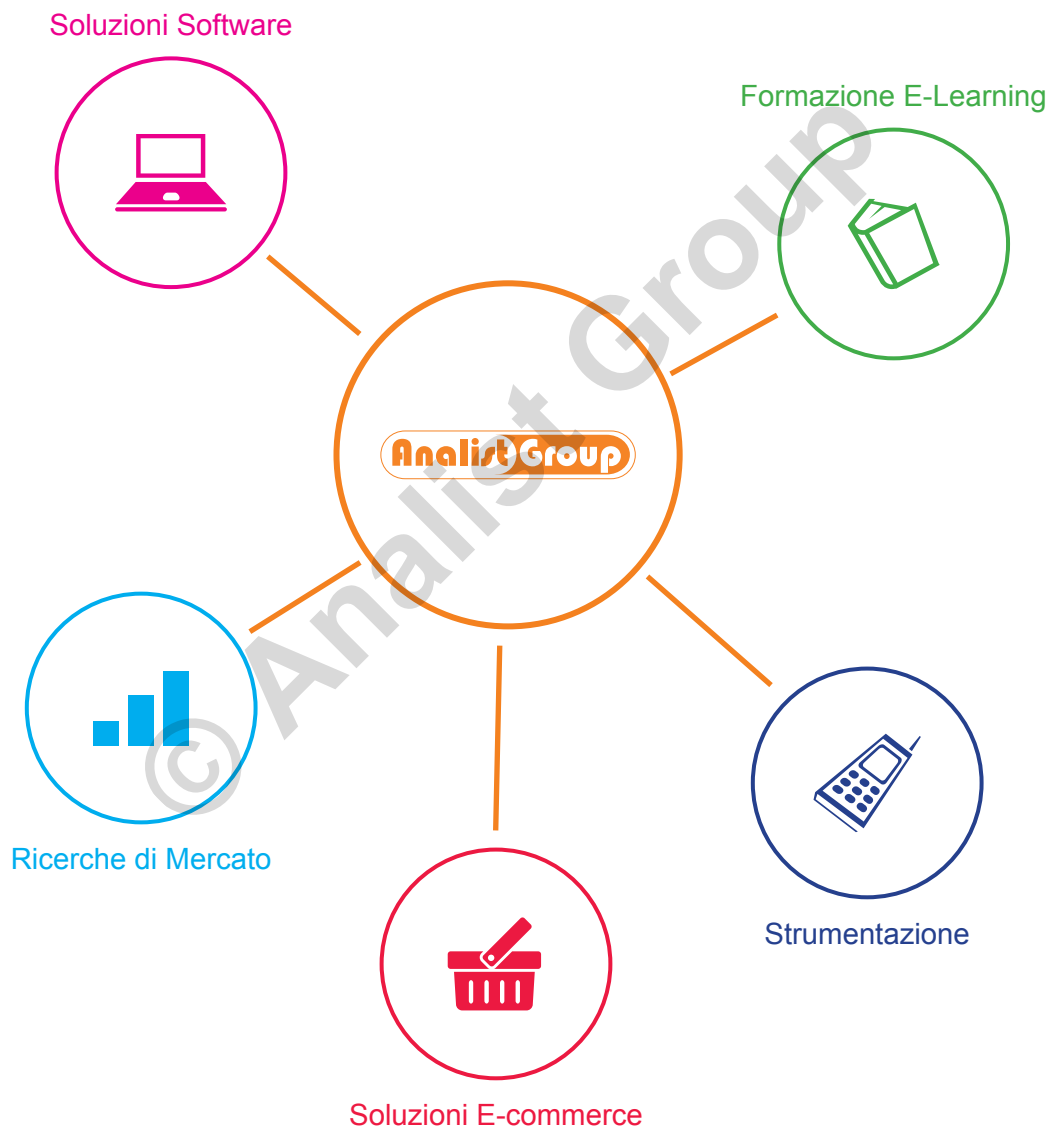
<http://artico.lma.fi.upm.es/numerico/miembros/antonio/async/>

<http://www.dicea.unifi.it>

<http://www.erols.com/dlwilson/gps.htm>

Analist Group

Company Profile



Partnership

I nostri Partner di Prestigio

Partner di Prestigio

La **Partnership** con **Aziende Leader Mondiali** quali **Autodesk®**, **Leica Geosystems®**, **SIEMENS®**, **PREXISO®**, **Rait Group®**, **Cannata & Partners®** e **FLIR®** ci ha resi più forti e completi, arricchendo la nostra gamma di **servizi integrati informazione-formazione-soluzione**.

È per questo che oggi Analist Group ha l'**esperienza**, la **competenza** e la **professionalità** per proporsi ai **Professionisti del Settore delle Costruzioni** come **Partner affidabile** ed **insostituibile**.

© Analist Group

I nostri Partner

Autodesk®
www.archiplug.com

METRI LASER
Leica DISTO™
www.misuratorelaser.it

GPS TOPOGRAFICI
PREXISO
www.prexisogps.it

RAIT GROUP

TERMOCAMERE
FLIR
www.termocam.it

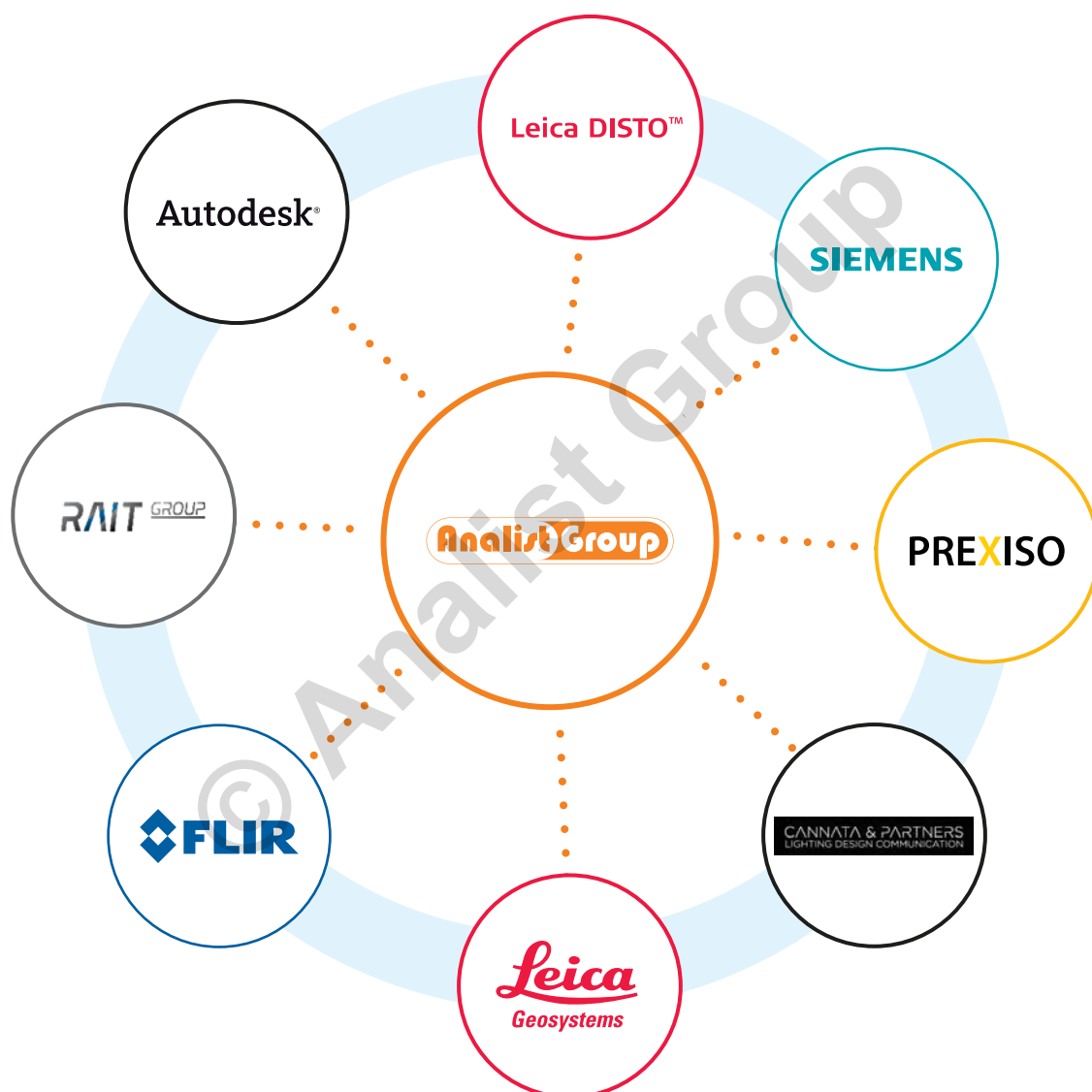
Leica
Geosystems

SIEMENS

CANNATA & PARTNERS
LIGHTING DESIGN COMMUNICATION

Partnership

Partner di Prestigio Internazionali





Analist Group
Via Aldo Pini, 10
83100 Avellino (Av) ITALY - Europe
Tel. +39 0825 68 01 73 - Fax +39 0825 68 53 39
info@analistgroup.com - www.analistgroup.com

I nostri Partner

Autodesk®
www.archiplug.com

METRI LASER
Leica DISTO™
www.misuratorelaser.it

GPS TOPOGRAFICI
PREXISO
www.prexisogps.it

TERMOCAMERE
FLIR
www.termocam.it

Leica
Geosystems

SIEMENS

RAIT GROUP

CANNATA & PARTNERS
LIGHTING DESIGN COMMUNICATION