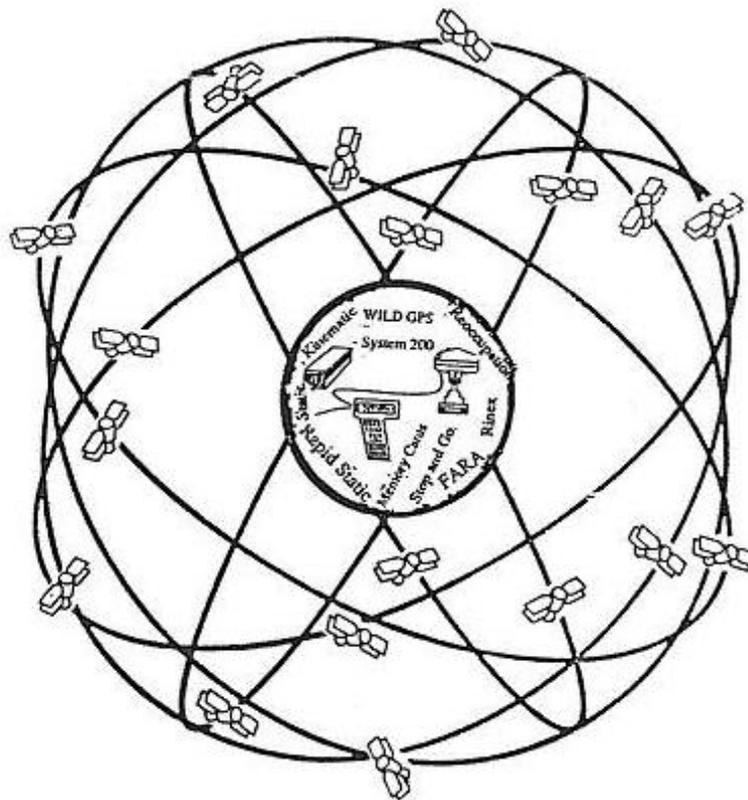


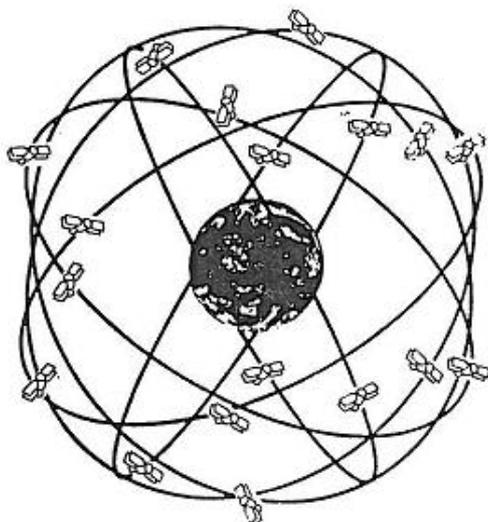
Geom. Vittorio Grassi

## IL G.P.S. IN BREVE



# Leica

## IL SISTEMA GPS IN BREVE



### GENERALITA':

I satelliti al servizio della topografia e della geodesia non sono una novità in quanto fin dai primi lanci dei satelliti artificiali sono iniziati gli esperimenti per verificare tali possibilità dando vita ad una nuova disciplina: la geodesia spaziale.

Compito della geodesia spaziale è quello di determinare le coordinate di un qualsiasi punto della terra e per fare questo si serve sia di tecniche satellitari (GPS, GLONASS, SLR, TRANSIT, LORAN-C, OMEGA, ecc.) che di altre tecniche (VLBI, ISS, ecc.).

Ognuna di queste ha scopi, caratteristiche e precisioni differenti: ad esempio i sistemi LORAN-C ed OMEGA sono destinati esclusivamente alla navigazione (punto nave); VLBI e SLR sono sistemi sostanzialmente "fissi" ma che consentono di determinare lunghissime distanze, a livello intercontinentale, con una eccellente precisione e destinate a misure prevalentemente geodetiche; i sistemi TRANSIT e GPS sono indicati sia per la navigazione sia per l'impiego topografico e geodetico. Nel grafico della fig.1 sono riportate le precisioni ottenibili con i diversi metodi alle varie distanze.

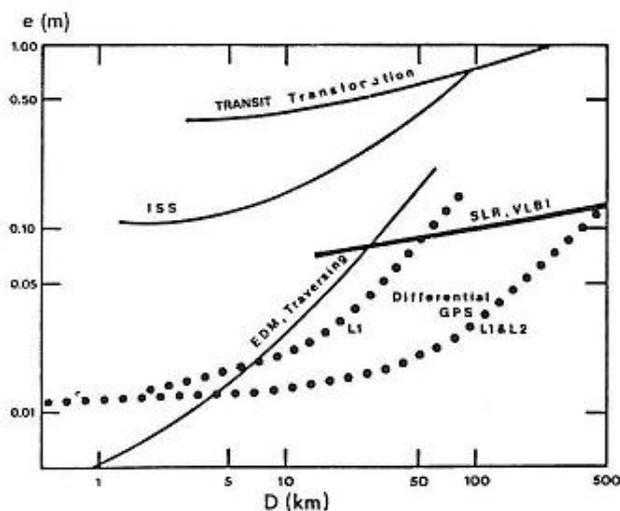


Fig.1

Noi, per brevità di esposizione, accenneremo soltanto agli aspetti più salienti del sistema GPS (Global Positioning System) che usa la rete di satelliti NAVSTAR (Navigation System wait Time And Ranging).

I vantaggi più appariscenti del sistema GPS rispetto ai metodi tradizionali di rilievo possono essere così riassunti:

- 1) non è più necessaria la visibilità tra i due punti da misurare;
- 2) le condizioni atmosferiche non costituiscono più un ostacolo alle misure;
- 3) la precisione è la stessa per tutti i punti determinati;
- 4) la scelta dei punti è semplificata in quanto le misure possono essere eseguite là dove c'è bisogno di materializzare il punto da rilevare. Di conseguenza sparisce la ricerca, faticosa e a volte anche affannosa, di punti dominanti per garantire il collegamento con punti precedenti e successivi o con quelli di dettaglio;
- 5) omogeneità del sistema di riferimento: di ogni punto si hanno sempre le coordinate cartesiane (x,y,z), le coordinate geografiche ellissoidiche WGS 84 (World Geodetic System 1984) e la distanza spaziale tra tutti i punti stazionati con appositi ricevitori;
- 6) indipendenza dalla situazione geodetica preesistente: non serve effettuare lunghe e laboriose ricerche nei vari archivi per individuare i trigonometrici di inquadramento, la verifica della loro esistenza e della loro precisione;
- 7) non servono permessi speciali nè guide locali per individuare la posizione dei punti;
- 8) riduzione dei tempi da dedicare sia alla ricognizione preliminare, che alle varie misure (rete, sottorete, poligonale, livellazione) che si traducono in concreti benefici economici;
- 9) L'operatore dello strumento non deve essere necessariamente un topografo: è sufficiente una persona che effettui il proprio lavoro con coscienza e diligenza; non serve titolo di studio particolare e può essere addestrata con un solo giorno di teoria ed uno di pratica sul terreno;
- 10) Attualmente (Febbraio 1993) la finestra operativa, che cambia in funzione della latitudine, longitudine e quota, è di ventiquattro ore al giorno con quattro satelliti e leggermente meno con cinque satelliti.

Nelle pagine che seguono sono riportate le previsioni del passaggio dei satelliti e l'andamento del grafico del GDOP per Roma con l'almanacco valido a partire dal 3-2-1993.

### 1) - GPS: IL SISTEMA DI POSIZIONAMENTO GLOBALE.

Nella sua configurazione finale, il NAVSTAR, comprenderà 24 satelliti (Fig.2) che saranno sistemati su sei differenti piani orbitali (A,B,C,D,E,F) inclinati di 55 gradi rispetto all'equatore.

Di questi satelliti tre sono di riserva in modo da poter sostituire, in caso di guasti, quelli che risulteranno difettosi. Tutti i satelliti si troveranno ad una distanza di 26000 Km, circa, dalla Terra e il loro periodo di rivoluzione sarà di 23 ore e 56 minuti per cui ogni satellite sorvolerà lo stesso punto ogni giorno. Il completamento del progetto è previsto per il 1994.

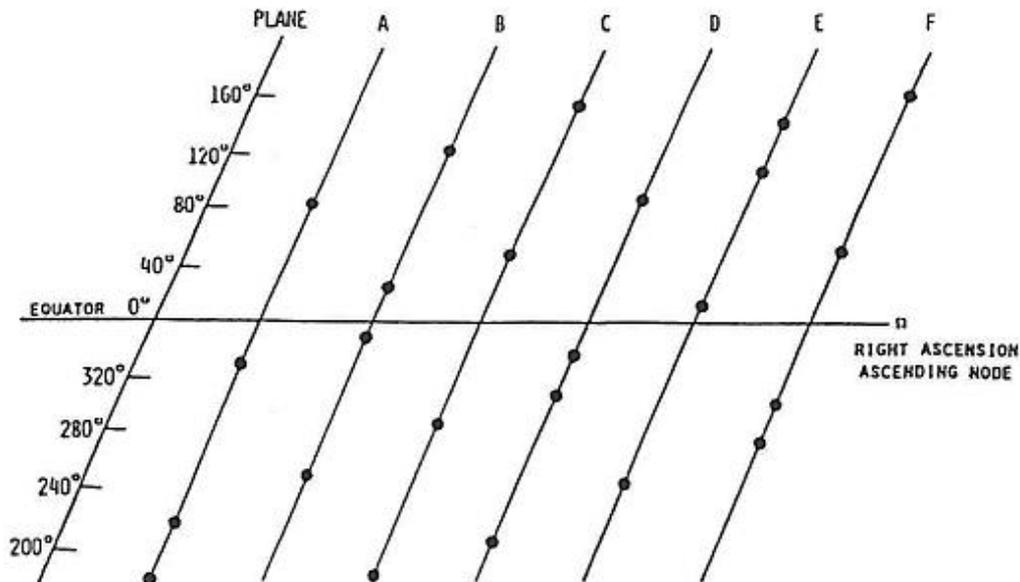


Fig. 2

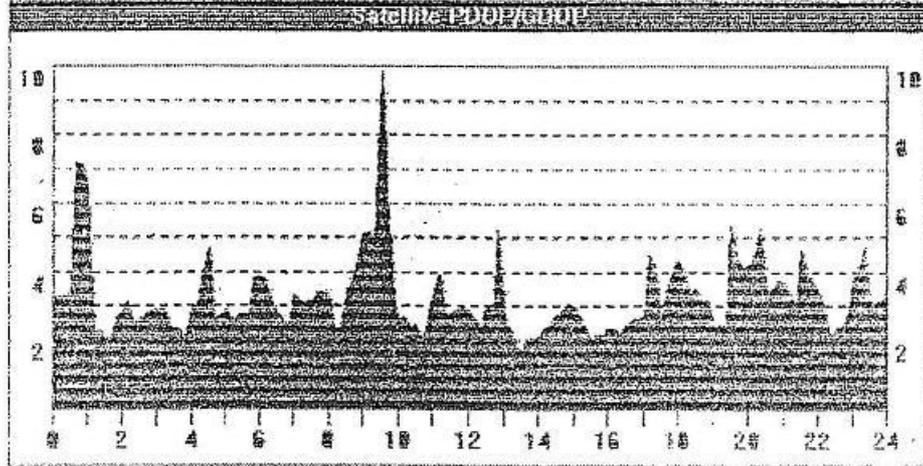
Attualmente (Febbraio 1993) esistono due categorie di satelliti:

- quelli del blocco I: lanciati tra il 1975 ed il 1985 su due piani orbitali inclinati di 63 gradi rispetto all'equatore, distanti dalla terra 20200 Km e dotati di orologio al rubidio (dei quali sono attivi il 3,11,12,13);
- quelli del blocco II: lanciati dal febbraio 1989 ad oggi, con diversi piani orbitali ad una distanza di circa 26000 Km ed equipaggiati con due orologi al cesio e due al rubidio (dei quali sono attivi:1,2,14,15,16,17,18,19,20,21,23,24,25,26,27,28,29).

A partire dal 1995 saranno messi in orbita nuovi satelliti, quelli del blocco IIR, che avranno caratteristiche ulteriormente migliorate rispetto a quelle attuali. In questo progetto sono previste nuove possibilità di impiego: ulteriore aumento della precisione con cui si otterranno le coordinate finali, un minor tempo di osservazione, maggior numero di satelliti visibili in ogni punto della terra, più un satellite geostazionario a 36000 Km per garantire comunicazioni in tempo reale sullo stato del sistema.

Alla data odierna (Febbraio 199 ) sono operativi ventuno satelliti (4 del blocco I più 17 del blocco II) ed i loro piani orbitali non corrispondono ancora a quelli definitivi. Per il momento gli Stati Uniti sono il solo Paese ad avere una copertura ottimale. Nelle altre nazioni la visibilità dei satelliti dipende dalle tre coordinate (latitudine, longitudine e quota) e dall'ora.

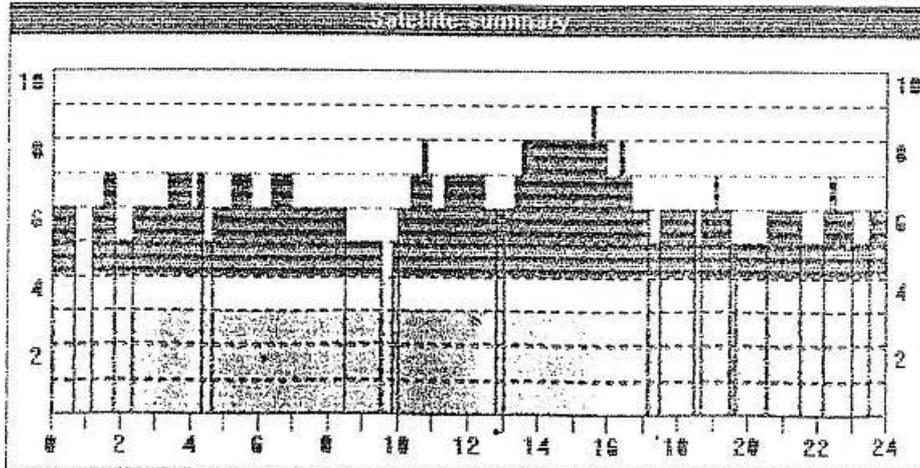
roma 41°55'N 12°34'E 30m Time: GMT+02.00  
Date: 14/04/94 Window: 00.00 - 24.00 Cut-off angle: 15° Almanac from: 11/04/94



01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24

Buttons: Sky, Vis, Sum, PDP, Elev, Tablic

roma 41°55'N 12°34'E 30m Time: GMT+02.00  
Date: 14/04/94 Window: 00.00 - 24.00 Cut-off angle: 15° Almanac from: 11/04/94



01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24

satelliti dichiarati inattivi

Buttons: Sky, Vis, Sum, PDP, Elev, Tablic

## 2)- I SEGNALI DEI SATELLITI E LE STAZIONI A TERRA.

I satelliti emettono in continuazione due frequenze portanti: la frequenza L1 a 1575,42 Mhz (19,05 cm) e la frequenza L2 a 1227,60 Mhz (24,45 cm) che permettono di determinare l'influenza della ionosfera sul tempo di propagazione dei segnali.

Le frequenze portanti sono modulate da un segnale di navigazione che ha in sè varie informazioni tra le quali quella sull'ora precisa rispetto al tempo UTC (Tempo Universale Coordinato). Il segnale di navigazione è un codice binario prodotto da un algoritmo di calcolo. L'utilizzatore non abilitato percepisce questo codice come un pseudo-rumore di fondo: PRN (Pseudo Random Noise).

Esistono due codici, il codice C/A (Coarse acquisition approximativ) e il codice P (Precise). La portante del primo è modulata da una frequenza di 1,023 Mhz (293 m) ed ha un periodo di un millisecondo.

Il secondo, il codice P, è modulato a 10.23 Mhz (29,3 m) ed ha un periodo di 267 giorni, suddiviso in 38 segmenti della durata di 1 settimana ciascuno.

La frequenza dei codici e delle portanti sono multiple della frequenza fondamentale di 10.23 Mhz emessa dal banco degli oscillatori del satellite. Il segnale è accompagnato da un'informazione concernente il satellite e comprende tutti i parametri che permettono di calcolare la posizione del satellite (effemeridi, almanacco, ecc.) con una velocità di trasmissione di 50 bit/s (codice D) ed ha una lunghezza di 1500 bit (vedi fig.3).

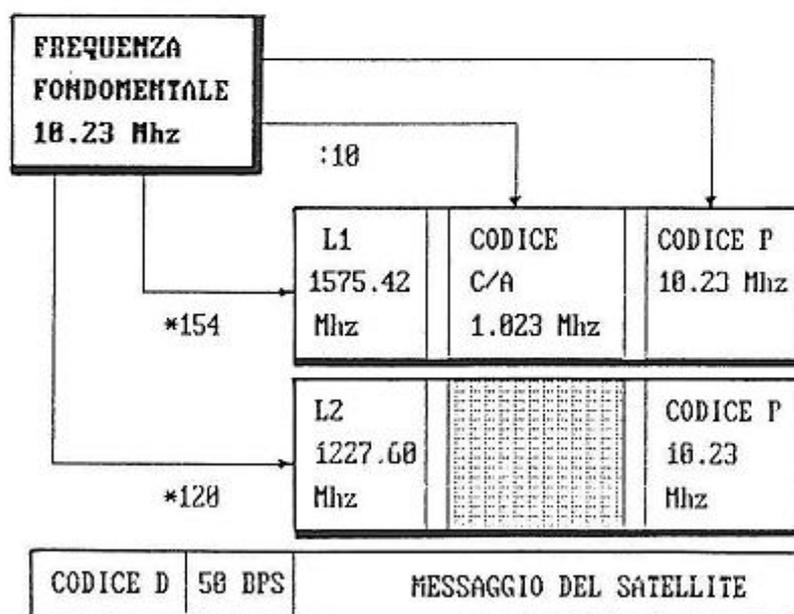


Fig.3

Le orbite dei satelliti sono costantemente seguite a terra da alcune stazioni fisse di controllo poste in varie zone del mondo (Fig. 3a).

L'insieme delle stazioni a terra è chiamato, in letteratura, "Segmento di controllo" che ha come compiti, oltre quello di calcolare le orbite effettivamente percorse da ciascun satellite, anche di:

- determinare il modello stocastico del comportamento degli orologi satellitari;
- sincronizzare il tempo degli orologi su quello UTC;
- immettere nella memoria del satellite i valori dell'orbita effettivamente percorsa nel periodo del rilievo ed il messaggio D che il satellite a sua volta invierà ai ricevitori;
- fornire informazioni di ordine generale sul sistema ed in particolare i coefficienti di un modello mondiale di correzione ionosferica, e troposferica che sono ambienti dispersivi in quanto causano delle "variazioni" (sia pure in maniera differente) ai valori radioelettrici del segnale.

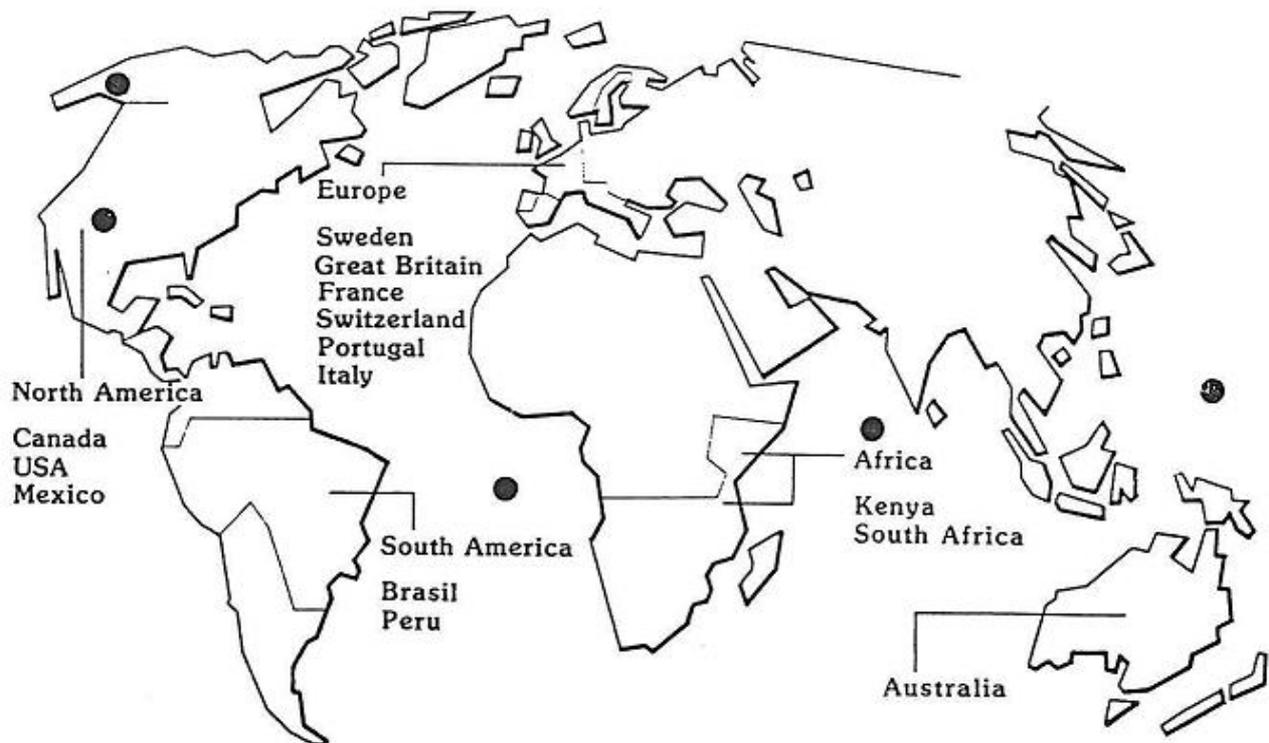


Fig. 3 a

### 3)- METODI DI MISURA.

Il sistema di satelliti Transit impiega un solo metodo di misura: il metodo Doppler. L'effetto Doppler è la variazione di frequenza dovuta alla propagazione del segnale nel mezzo che attraversa: nel nostro caso ionosfera e troposfera.

E' chiamata così dal nome del matematico e fisico austriaco che nel 1853 prevede l'esistenza di tale fenomeno nella propagazione delle onde emesse da una sorgente in movimento veloce rispetto ad un osservatore fermo.

Per l'effetto Doppler, quindi, la frequenza ricevuta è diversa da quella trasmessa e cambia in maniera costante a causa della velocità relativa tra satellite e ricevitore.

Il calcolo integrato Doppler consente di eliminare tale effetto e di eseguire una vera e propria misura: la variazione di distanza che si ottiene integrando l'intervallo di tempo impiegato a percorrere un tratto di orbita (vedi fig. 4).

Il sistema GPS, invece, impiega oltre a questo metodo di misura anche altri che possono essere classificati in queste grandi categorie:

- osservazioni di tipo geometrico;
- osservazioni di tipo dinamico;
- osservazioni semplificate.

Per brevità di esposizione esamineremo soltanto le osservazioni di tipo geometrico che consistono essenzialmente nella determinazione della:

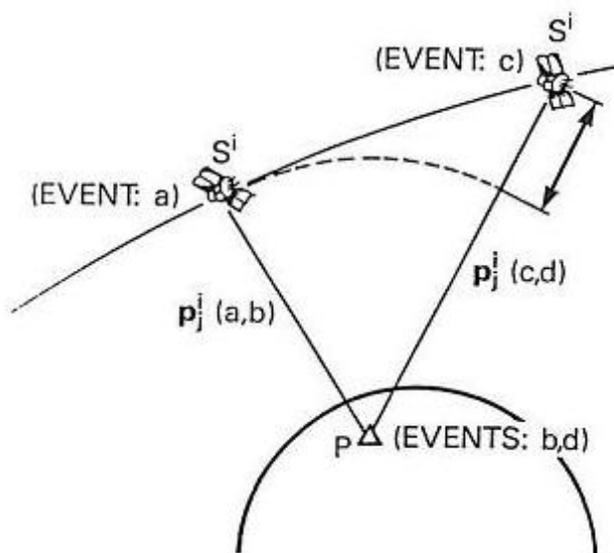


Fig.4

- 1)- distanza tra il satellite ed il ricevitore comunemente detta in letteratura pseudo-distanza o pseudo-range;
- 2)- della misura della fase;
- 3)- della differenza di distanza o della differenza di fase tra due o più ricevitori che osservino contemporaneamente gli stessi satelliti (questa tecnica in letteratura è chiamata "interferometrica").

La decisione per l'uno o l'altro metodo va presa in funzione dello scopo e delle precisioni da raggiungere.

Esistono due principi: il posizionamento dinamico (comunemente detto "cinematico") e quello statico ed ognuno di essi può essere applicato con diverse tecniche (vedi fig.5).

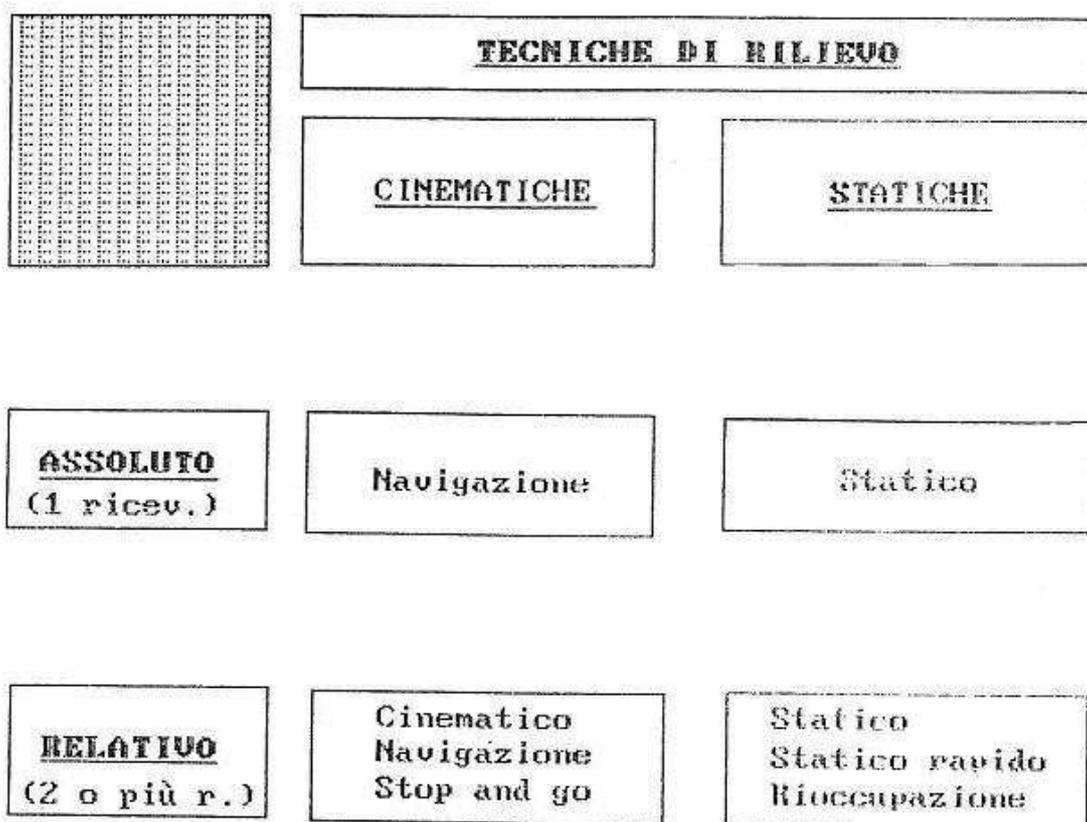


Fig.5

Una tipica applicazione del sistema dinamico (o cinematico) è la navigazione: la posizione deve essere calcolata in tempo reale e in un sistema assoluto. Questo si ottiene misurando le pseudo-distanze tra il ricevitore e quattro satelliti.

La navigazione relativa si ottiene, invece, determinando la posizione di un ricevitore rispetto a quella di un ricevitore fisso. Due applicazioni tipiche di questo tipo sono il posizionamento di piattaforme di perforazione presso le coste e dei battelli draganti nei porti.

Il posizionamento statico è utilizzato in topografia e in geodesia dove determinare un punto significa calcolare le coordinate assolute in un sistema di riferimento globale. Occorre quindi stabilire la precisione richiesta e di conseguenza il tipo di ricevitore. Il geometra ha generalmente bisogno della precisione relativa di un punto rispetto ad altri punti, questo presuppone che i segnali vengano captati da almeno due ricevitori. Per cui uno dei ricevitori è collocato su un punto di coordinate note e l'altro si sposta sui punti da determinare ex novo.

Più avanti vedremo le diverse tecniche per la determinazione dei punti secondo i due principi di posizionamento (statico e cinematico) e le precisioni ottenibili.

### 3.1)- La misura delle pseudo distanze.

Il GPS ha la caratteristica di misurare la distanza tra il satellite e il centro dell'antenna ricevente. Tre distanze di questo tipo sarebbero sufficienti per una soluzione geometrica del problema (fig.6)

Infatti la posizione dell'antenna può essere ottenuta dalla intersezione di tre sfere i cui raggi corrispondono alle tre distanze misurate con l'aiuto del codice C/A o P. Quando la misura della distanza si effettua con il codice C/A l'incertezza è di circa 30 m, se si effettua con il codice P allora l'incertezza è di circa 3 m.

Per semplificare il discorso si può dire che il satellite emette un impulso (il codice) che invia un'informazione supplementare: il momento della emissione (a). Il ricevitore la registra e segna il momento del suo arrivo (b) (fig.7). La differenza b-a moltiplicata della velocità di propagazione del segnale fornisce la distanza a condizione che il cronometro del satellite e quello del ricevitore siano sincronizzati.

In realtà gli orologi non sono sincronizzati e quindi la distanza ottenuta è una pseudo distanza perchè questa differisce dalla distanza reale proporzionalmente allo spostamento dei due cronometri.

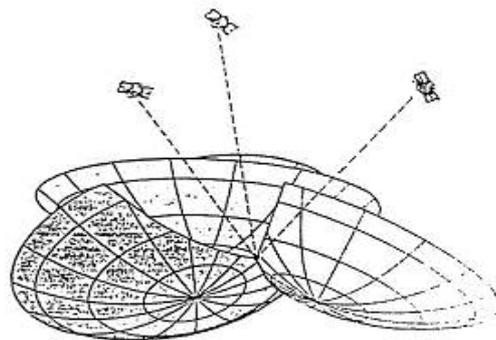
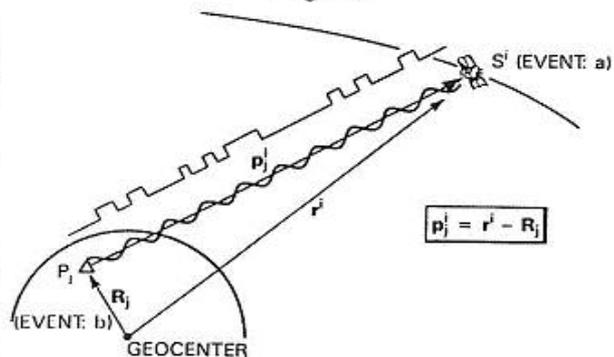


Fig. 6



$$p_j^i = r^i - R_j$$

**PSEUDORANGE**

$$| r^i - R_j | = p_j^i - c [\Delta t^i(a) - \Delta T_j(b)]$$

Fig. 7

### 3.3)- Principio per la determinazione relativa di un punto. (tecnica interferometrica)

Con l'uso di due ricevitori che captano simultaneamente i segnali dei satelliti è possibile neutralizzare, fino ad un certo punto, gli errori dovuti alla mancanza di precisione delle orbite, alle perturbazioni della ionosfera e troposfera nonché agli offset degli orologi dei satelliti e del ricevitore, ecc. ecc.

In questo caso si ricorre alla misura della differenza di pseudo-distanze o alla differenza di fase che consentono una migliore precisione.

Il metodo che usa la differenza di fase è quello che viene impiegato in topografia e geodesia in quanto garantisce le migliori precisioni possibili (vedere il grafico della figura 1).

La tecnica interferometrica si ottiene con l'aiuto di un idoneo programma che confronta, a posteriori, con il metodo delle "singole differenze" i dati registrati simultaneamente con le due stazioni (vedi fig.9).

La risoluzione che si ottiene con questo metodo, utilizzando anche le "doppie e triple differenze", è dell'ordine di pochi millimetri fino a qualche decina di chilometri e dell'ordine di 3/5 cm per distanze fino a 300 Km.

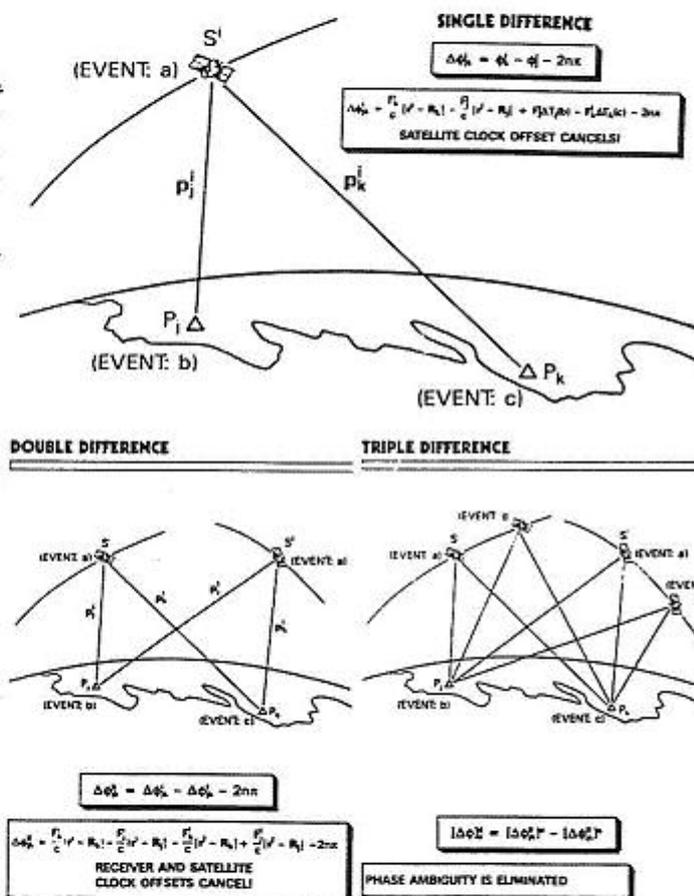


Fig.9

### 4)- TECNICHE DI RILIEVO G.P.S.

Il sistema G.P.S. è estremamente flessibile ed offre molte tecniche di rilievo ognuna delle quali è più indicata per un certo tipo di rilievo in quanto ottimizza il rapporto-costo/prestazioni per cui vale la pena esaminarle nel dettaglio.

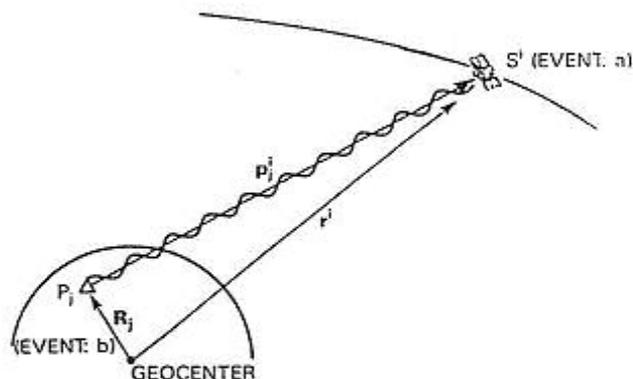
In effetti tale spostamento è incognito perchè il segnale viene trasmesso in un solo verso (non c'è il ritorno come avviene nei distanziometri), per cui c'è una incognita in più nel problema e questo fatto esige la presenza di quattro satelliti in modo da poter scrivere un sistema in quattro equazioni e quattro incognite (le tre coordinate del punto di stazione e l'offset dell'orologio del ricevitore rispetto a quello del satellite).

Il vantaggio di lavorare con i codici è costituito dal fatto che si ha la possibilità di calcolare le coordinate di un punto in tempo reale cioè mentre si eseguono le misure. Lo svantaggio è costituito, invece, dal fatto che si ottengono basse precisioni.

### 3.2)- La misura della fase.

Contrariamente alla pseudo-distanza dove la durata del percorso è misurata con l'aiuto del codice C/A o P modulato sulla frequenza portante, la misura della fase consiste nel determinare lo spostamento che subisce l'onda portante una volta che siano eliminati i codici (Fig.8).

Al suo arrivo la fase del segnale emesso dal satellite è confrontata con un segnale di riferimento generato dal ricevitore. Lo spostamento permette di ottenere una parte della distanza come parte della lunghezza d'onda. Quando la misura si effettua a partire dalla frequenza L1, questa distanza è calcolata con una incertezza pari o inferiore a 1,9 mm oppure a 2,4 mm sulla frequenza L2.



PHASE
$\phi_i^j = F_j [T_j(b) - t^i(a)] = \frac{F_j}{c}  r^i - R_j  + F_j [\Delta t^i(a) - \Delta T_j(b)]$

Fig. 8

In un primo tempo il numero delle lunghezze d'onda comprese nella distanza satellite ricevitore rimane sconosciuto e il programma di trattamento dei dati deve determinare questo numero (chiamato ambiguità) al fine di poter calcolare le coordinate della stazione, per cui anche in questo caso occorrono sempre 4 satelliti.

Il vantaggio che offre questo metodo è un'alta precisione mentre lo svantaggio è rappresentato dal fatto che per ottenere le coordinate di un punto occorre procedere alla post-elaborazione dei dati acquisiti dai satelliti.

E' ovvio che tutte le precisioni, menzionate con i metodi anzidetti, sono precisioni strumentali o teoriche alle quali vanno aggiunti una serie di errori dovuti a varie cause quali ad esempio ionosfera, troposfera, imprecisioni delle orbite trasmesse, disponibilità selettiva, ecc. ecc..

#### 4.1)- Il metodo statico e quello statico rapido.

La tecnica di rilievo con il metodo statico è la più conosciuta e diffusa gli utilizzatori del sistema G.P.S..

Il termine statico significa che i ricevitori utilizzati per il rilievo sono fermi sui punti da rilevare per tutta la durata della sessione di misura. Questo vale anche quando, usando la tecnica differenziale, si posiziona un ricevitore su un punto di coordinate note e l'altro (o gli altri ricevitori) sui punti da rilevare. In base al numero dei punti da rilevare e al numero dei ricevitori disponibili può essere studiato quale ricevitore conviene mantenere fermo e quale spostare (traslocare) sugli altri punti da determinare. Durante lo spostamento i ricevitori che sono traslocati vengono spenti e sono riaccesi una volta raggiunti i nuovi punti da rilevare.

Se la durata della sessione durante la quale i ricevitori sono mantenuti fermi è molto breve (ordine di grandezza alcuni minuti e fino ad una trentina) il metodo si chiama STATICO RAPIDO.

La scelta dell'uno o dell'altro metodo dipende dalla lunghezza della linea di base (intendendo per linea di base quella linea che unisce due punti che hanno osservazioni contemporanee) e dalla precisione che si deve ottenere nel rilievo. Per linee di base di qualsiasi lunghezza da rilevare con una precisione di  $5\text{mm} + 1\text{ppm}$  si usa il metodo statico, registrando dati, generalmente, tanto più a lungo quanto maggiore è la lunghezza della linea di base. Le seguenti tabelle orientative danno un ordine di grandezza sulla durata delle osservazioni con un GDOP < 8:

#### METODO STATICO

Linee di base in km	N° min. sat.	Durata delle osservazioni	
		di giorno h	di notte h
da 15 a 30	5	1	<1
	4	2	1
da 30 a 50	5	2	1
	4	3	1.5

oltre i 50 km occorre riferirsi ad appositi manuali e all'esperienza di tecnici specializzati.

Invece, per linee di base che non superano i 15/20 Km e per precisioni di  $\pm(10\text{mm} + 1\text{ppm})$  si usa il metodo statico rapido che offre molti vantaggi tra cui: risparmio di tempo, maggior produzione, minor costo, maggiore durata della batteria e quindi maggior numero di punti rilevabili, ecc. ecc.

### METODO STATICO RAPIDO

linea di base in km	N° sat.	durata minima delle osservazioni	periodo di osservazione
< 5	5	5 minuti	giorno
< 5	4	10 minuti	giorno
da 5 a 10	5	10 minuti	giorno
da 5 a 10	4	20 minuti	giorno
da 10 a 15	5	20 minuti	giorno
da 10 a 15	4	40 minuti	giorno
da 10 a 15	5	10 minuti	notte
da 10 a 15	4	20 minuti	notte

Ma torniamo al classico metodo STATICO. Il periodo di tempo durante il quale i ricevitori restano fermi ed acquisiscono i dati provenienti dai satelliti si chiama SESSIONE. Il numero delle sessioni che si possono fare nell'arco di una giornata dipende dalla lunghezza della finestra operativa (cioè dalla disponibilità dei satelliti), dalla geometria della costellazione visibile (GDOP), dalla precisione richiesta per le tre coordinate da calcolare, dalla distanza tra i ricevitori.

Se, per esempio, la finestra operativa fosse di 4 ore (tutte con un GDOP inferiore a 8) ed occorresse 1 ora di osservazione e 1/2 ora, per lo spostamento dei ricevitori, si potrebbero eseguire soltanto 3 sessioni.

Infatti posizionando i ricevitori sui punti prima dell'inizio della prima sessione si può sfruttare per intero la prima ora di registrazione dei dati. Poi mentre il ricevitore fisso rimane acceso, quelli mobili possono spostarsi durante la mezz'ora successiva. Quindi registreranno un'altra ora e poi si sposteranno nella mezz'ora successiva e via dicendo.

Nel caso in esame avremmo: 1 ora di registrazione nella prima sessione, 1/2 ora di spostamento, 1 ora nella seconda sessione, ancora 1/2 ora di spostamento e quindi un'altra ora per la terza sessione.

Così facendo abbiamo utilizzato tutto il tempo della finestra operativa.

Se, invece, la finestra fosse leggermente maggiore, sempre con un buon GDOP e analoghi tempi di spostamento, allora occorrerebbe prendere in considerazione la possibilità di effettuare una quarta sessione, purché ci sia il tempo necessario (nell'esempio fatto un'ora), altrimenti è più conveniente distribuire in maniera uguale il maggior tempo disponibile dandolo alle varie sessioni (nell'ipotesi che le distanze siano tutte dello stesso ordine di grandezza) o agli spostamenti.

La scelta dipende da numerosi fattori (tra i quali la lunghezza delle linee di base, l'abilità degli operatori a rispettare i tempi programmati ecc) che vanno valutati al momento della progettazione dell'esecuzione dei rilievi. (Per esempio il tempo di spostamento è un po' "stretto" oppure l'abilità degli operatori è diversa per cui si teme che qualcuno non parta, con la registrazione, contemporaneamente ad altri).

L'importante, però, è di evitare sessioni con tempi di osservazione notevolmente diversi tra loro o sotto il tempo minimo di osservazione stabilito da chi ha progettato l'esecuzione della campagna di misure.

Se, invece, durante la finestra operativa si avesse qualche periodo nel quale il GDOP sale oltre i valori ammissibili, allora sarebbe opportuno valutare se fosse più conveniente eseguire gli spostamenti durante il periodo in cui si ha un GDOP sfavorevole oppure, se non fosse possibile, aumentare la durata delle osservazioni della sessione che ricade nel periodo in cui c'è un alto GDOP in modo tale da "compensare", con una maggior quantità di dati, la loro scarsa qualità.

Tuttavia questa idea, anche se spesso viene usata da diversi operatori, non sempre fornisce risultati accettabili.

Il metodo statico viene utilizzato, generalmente, per rilievi:

- che richiedono il massimo della precisione: reti di inquadramento e poligonali principali
- rilievi geodetici di grandi dimensioni
- rilievo di movimenti tettonici

Il metodo statico rapido si usa per rilievi:

- di triangolazioni e poligonali secondarie
- di punti di raffittimento, di punti fotografici
- di delimitazioni di aree particolari
- di dettaglio

e in tutte quelle applicazioni nelle quali il numero dei punti da rilevare sono numerosi e poco distanti tra loro

#### 4.2)- Il metodo cinematico.

Con il metodo cinematico "puro" il ricevitore che si sposta è sempre acceso, cioè è sempre in acquisizione. Questo metodo ha dato origine, secondo le tecniche utilizzate, a vari altri metodi: navigazione, stop and go.

Nella NAVIGAZIONE è classico, anche se non esclusivo, l'uso di un solo strumento in quanto la precisione che si richiede è bassa. Infatti, non ha senso in navigazione avere coordinate, in tempo reale, molto precise quando la barca sulla quale si trova il ricevitore è soggetta al moto ondoso. Tuttavia, in particolari circostanze, può essere utile ricorrere al posizionamento differenziale anche in navigazione (per es. come già detto, per il posizionamento di piattaforme di perforazione o di battelli draganti).

La precisione raggiungibile con questo metodo, utilizzando soltanto il codice (e quindi le pseudodistanze) in differenziale e l'elaborazione dei dati in tempo reale, è di 2-5 m; usando, invece, la fase (e con l'elaborazione effettuata in differita) si può ottenere una precisione di 5-10 mm+ 1-2 ppm.

Il metodo CINEMATICO (o cinematico puro) è analogo alla navigazione, ma viene eseguito su terra ferma. Spesso questo metodo viene eseguito in differenziale per aumentarne la precisione e consiste in una stazione posta su un punto di riferimento in acquisizione continua e nell'altra itinerante, anch'essa in acquisizione continua, che viene posta sui punti dei quali occorre calcolare le coordinate.

L'antenna del ricevitore può essere montata anche su di un veicolo che ne consenta un facile e veloce spostamento oppure può essere spostata da una persona che va a piedi, in bicicletta o su un motociclo.

Per utilizzare questo metodo occorrono i classici 4 satelliti e durante gli spostamenti non deve essere perso il contatto con i satelliti. Qualora questo si verificasse occorrerà tornare su un punto già determinato in precedenza.

Quindi per il fatto che non bisogna perdere il contatto con i satelliti il metodo cinematico non è applicabile quando esistono ostacoli che possano interrompere il segnale es. fabbricati, alberi, gallerie, ecc.

La precisione che si ottiene con il metodo cinematico in differenziale dipende da numerosi fattori quali, per esempio la geometria dei satelliti, se si usano le pseudodistanze o la fase, ecc.

I vantaggi che il metodo cinematico offre possono riassumersi nella possibilità di usare il sistema GPS per lavori più disparati e nell'effettuare misure continue rapide ed economiche.

Le applicazioni più indicate per questo metodo sono:

- la determinazione della traiettoria di qualsiasi oggetto in movimento;
- i rilievi idrografici;
- il rilievo speditivo di strade, autostrade, ferrovie, ecc.

Inoltre, comune a tutte le altre tecniche cinematiche, occorre determinare la lunghezza di una base di partenza, con uno dei tre metodi che seguono, in modo tale da risolvere su questa tutte le ambiguità:

1)- Cambio antenna o "antenna swap": consiste nel disporre due ricevitori agli estremi della base da misurare e registrare dati simultaneamente per pochi minuti. Quindi si scambiano le antenne e si torna a registrare per altrettanti minuti. Il cambio delle antenne rovesciando la geometria dei satelliti permette, nonostante i pochi dati registrati, di risolvere le ambiguità sulla linea di base che, per realizzare velocemente questa tecnica, deve essere necessariamente di modeste dimensioni;

2)- osservazione degli estremi della base di partenza con il metodo statico o meglio, perchè più veloce, con quello statico rapido anche considerando che la base è sempre di lunghezza molto contenuta;

3)- misurare la base di partenza con altri strumenti purchè sia garantito il millimetro.

I restanti due metodi sono spesso chiamati anche pseudocinematici e talvolta anche pseudostatici.

Il metodo "STOP AND GO" consiste in una stazione posta su un punto di riferimento in acquisizione continua ed un'altra itinerante che dopo aver acquisito dati per una decina di minuti sull'altro estremo di una linea di base di partenza, con uno dei metodi già visti, si sposta sui punti da rilevare acquisendo i dati per pochi secondi. Anche con questo metodo, durante lo spostamento tra i vari punti, non bisogna perdere il contatto con i satelliti e la precisione che si ottiene è di 2 o 3 cm.

Le possibili applicazioni di questo metodo sono:

- il rilievo di dettaglio di zone scomode o disagiati;
- il rilievo di numerosi punti quando sono molto vicini tra loro.

I vantaggi che si ottengono consistono, essenzialmente, in:

- rilievi rapidi e molto economici;
- maggior produzione e minor costo rispetto a qualsiasi altro metodo di lavoro.

Il metodo della "RIOCUPAZIONE", che è essenzialmente un metodo statico di misura, è un modo di lavorare da tenere di riserva.

Come al solito una stazione è posizionata su di un punto di riferimento ed acquisisce dati in maniera continua mentre l'altra è itinerante e si sposta sui punti da rilevare stando sugli stessi per pochi minuti. Occorre tornare a rilevare dati sugli stessi punti quando almeno un satellite sia cambiato oppure, come dicono molti (personalmente non l'ho mai verificato) sia trascorsa almeno un'ora dall'osservazione precedente.

La precisione ottenibile con questa tecnica è di 5 mm+1 ppm sulla linea di base.

Il vantaggio è che il numero dei satelliti visibili è meno importante rispetto al metodo statico rapido, a cui somiglia moltissimo. Infatti sono sufficienti 3 satelliti durante la rioccupazione dello stesso punto purchè, durante la seconda rioccupazione, sia cambiato un satellite.

Il metodo della rioccupazione è inoltre molto utile quando si vogliono sfruttare brevi finestre che da sole, per la loro limitata durata, non garantirebbero un sufficiente numero di dati occorrenti per la risoluzione delle ambiguità.

Per esempio se il tempo di osservazione, per una certa linea di base, fosse di 20 minuti ma si dispone (o si vogliono sfruttare) tre finestre della durata di 5, 5 e 10 minuti, rioccupando lo stesso sito tre volte si ha la possibilità, con questa tecnica, di disporre della somma dei tre tempi e cioè i venti minuti ipotizzati.

E' chiaro che volendo utilizzare la tecnica della rioccupazione in questo modo, nelle tre finestre si debbono avere sempre un minimo di quattro satelliti.

Questo metodo è ideale quando non può essere usato il metodo statico rapido.

#### 4.3)- Metodi combinati.

Tutti i metodi descritti sono combinabili tra loro al fine di rendere più veloci ed economiche le operazioni di rilievo, senza compromettere la precisione richiesta.

Non si raccomanderà mai abbastanza che ogni campagna vada adeguatamente progettata sia per ottimizzare gli spostamenti che per sfruttare al massimo le finestre operative.

Soltanto dopo una idonea progettazione si può dare corso ai rilievi veri e propri se si vogliono ottenere gli ottimi risultati che il sistema G.P.S. propone.

Spetta al topografo, specialista dei rilievi GPS, e soltanto a lui decidere in fase di progettazione le scelte e stabilire dove, come e quando applicare i diversi metodi di rilievo.

La tabella riportata alla pagina che segue riassume velocemente le caratteristiche delle diverse tecniche di rilievo e può essere di aiuto nella progettazione di una campagna.

TIPO DI OPERAZIONI	N° MINIMO DI SATELLITI	DISTANZA DA MISURARE	PRESENZA DI OSTACOLI	PRECISIONE
STATICO	4	qualsiasi	NO/SI	5+ 1ppm
STATICO RAPIDO	4	< 20 Km	NO/SI	10+ 1ppm
RIOCUPAZIONE	3 (4)	< 20 Km	NO/SI	5/10+ 1ppm
STOP & GO	4	< 20 Km	NO	2-3 cm
CINEMATICO	4	< 20 Km	NO	20+2 ppm* 2-5 m **
NAVIGAZIONE	4	qualsiasi	NO/SI	

\* in differenziale con misure di fase

\*\* in differenziale con il codice P

(4) utilizzato come somma dei periodi di osservazione

## 5)- TIPI DI RICEVITORI.

Esistono diversi tipi di ricevitori che possono essere classificati con differenti criteri es. in base al numero dei canali (uno o più canali), al loro modo di funzionare (sequenziali o simultanei), con i codici o senza codici, con una frequenza (L1) o con due frequenze (L1+L2), e in quest'ultimo caso secondo come lavorano con le frequenze ecc.ecc.

In base al modo di funzionamento i ricevitori possono essere raggruppati fondamentalmente in due gruppi: **CONTINUI** e **SEQUENZIALI**. I primi seguono la traccia di 4 o più satelliti simultaneamente, i secondi, invece, accedono casualmente ai satelliti ma uno per volta, cioè sequenzialmente e in ogni categoria ci sono una grande varietà di tipi.

Com'è noto, ormai, tutti i ricevitori GPS, per essere in grado di calcolare la propria posizione con esattezza, devono ricevere informazioni da 4 satelliti. I **RICEVITORI SEQUENZIALI** ad un singolo canale lo usano per ricevere i dati commutandolo da un satellite all'altro con il rischio di interrompere la sequenza dei dati e quindi in calcolo della posizione e per questo motivo sono meno precisi. Normalmente hanno circuiti più semplici, consumano meno e costano poco. All'interno di questo gruppo ci sono i "starved-power", i ricevitori ad 1 canale, quelli a 2 canali ed i vecchi "multiplexing": veloci ricevitori ad un canale.

I ricevitori "STARVED-POWER" sono progettati per essere piccoli, leggeri e quindi facilmente trasportabili. Usano piccole batterie e possono ricevere i dati con un intervallo di uno o due minuti. Vanno bene per conoscere la posizione sommaria sia se utilizzato su terra che in mare (dove raggiungono una precisione migliore del multi-Loran), ma non possono calcolare la velocità di spostamento del veicolo che li trasporta. Il loro maggiore svantaggio è la scarsa precisione e la mancanza di interfaccia per eventuali collegamenti esterni.

I ricevitori standard A **SINGOLO CANALE** non sono limitati nell'alimentazione. Sono più precisi e possono anche calcolare la velocità se le accelerazioni sono insignificanti.

Avendo un solo canale per ricevere i messaggi del satellite e per il calcolo della distanza non possono essere usati per il posizionamento continuo. Alcuni ricevitori di questo tipo a basso costo usano orologi economici ed il risultato è che il calcolo della velocità di spostamento del ricevitore non è precisa.

Il ricevitore **MULTIPLEXING** è molto simile a quello a singolo canale ed ha soltanto il vantaggio di potersi spostare molto velocemente da un satellite all'altro e di poter fare misure di distanza anche mentre sta inseguendo un satellite. Questa scelta progettuale consente il funzionamento in continuo ed è anche meno sensibile alle imperfezioni dell'orologio ma ha lo svantaggio di richiedere complessi circuiti per cui il costo è come quello di un ricevitore sequenziale a due canali e rispetto a quest'ultimo molto meno flessibile e preciso.

Il ricevitore A **DUE CANALI** può captare un segnale anche sotto avverse condizioni ed è capace di seguire la traccia dei satelliti bassi rispetto all'orizzonte. Inoltre con due canali è possibile inseguire i satelliti mentre si effettua la misura di distanza senza interrompere la funzione di navigazione. Le misure di velocità possono essere molto più precise in quanto può essere dotato di un metodo di calcolo che attenua molto ogni tipo di imprecisione.

Lo svantaggio è che normalmente è più complesso e richiede una maggiore potenza di alimentazione per cui costa di più anche perchè gli utenti chiedono che, questo tipo di ricevitore, sia dotato di funzioni più sofisticate.

I ricevitori **CONTINUI** sono quelli che possono ricevere 4 o più satelliti simultaneamente e possono dare istantaneamente la posizione e la velocità. Si possono usare per applicazioni che richiedono buone precisioni come quelle per rilievi topografici speditivi. Hanno in genere molti canali che consentono anche di diminuire il problema del DOP. Già con 4 canali un ricevitore può raddoppiare il rapporto segnale/rumore e quadruplicarlo rispetto al ricevitore ad un solo canale, figuriamoci un ricevitore a 9 canali!

Naturalmente gli svantaggi di questi ricevitori sono: l'ingombro, il consumo e di conseguenza il costo. Per fortuna il costante sviluppo della miniaturizzazione dei circuiti integrati ed il loro massiccio impiego in questi ricevitori renderanno possibile eliminare gli svantaggi anzidetti.

I ricevitori **SENZA CODICE C/A** nè quello **P** misurano unicamente lo sfasamento dell'onda portante.

Questi ricevitori non permettono di captare le informazioni relative all'ora e alle posizioni del satellite, quindi non è possibile eseguire la determinazione del punto in tempo reale. Si può solo calcolare la posizione relativa ricorrendo al programma di post-elaborazione dei dati, cioè in un momento successivo alla loro ricezione.

Questo tipo di ricevitori usano la tecnica "Squaring", hanno un grado di precisione inferiore, e logicamente non sono adatti alla navigazione in quanto per questa occorre il calcolo della posizione del punto nave in tempo reale.

I ricevitori **CON IL CODICE** possono essere utilizzati sia per la navigazione che per la topografia.

Il ricevitore in grado di decifrare i codici **C/A** e **P** confronta il codice trasmesso dal satellite con quello generato internamente dal ricevitore stesso, al fine di decodificare l'onda portante dal codice e le altre informazioni che provengono dal satellite.

Il rapporto segnale-rumore risulta così notevolmente migliorato.

Oltre alla possibilità di misurare la fase a partire dall'onda portante si può misurare la pseudo-distanza a partire dal codice. L'informazione decodificata contiene ugualmente i parametri necessari al calcolo della posizione dei satelliti.

I ricevitori ad **UNA FREQUENZA** sono relativamente più semplici, costano meno, hanno un raggio di azione limitato a pochi chilometri e non sono affidabili soprattutto per la quota in quanto non sono in grado di effettuare con precisione le correzioni necessarie per l'effetto della ionosfera (vedi paragrafo 3).

Quelli a **DUE FREQUENZE**, specialmente se abilitati a ricevere anche i codici **C/A** e **P**, sono attualmente i ricevitori più affidabili e possono essere usati con la massima tranquillità a qualsiasi distanza.

## 5.1)- IL SISTEMA TOPOGRAFICO GPS WILD SYSTEM 200

Il sistema Wild 200 costituisce un nuovo modo di lavorare e di utilizzare il GPS ed è composto, essenzialmente, da:

-una antenna (Sensor SR 299) a doppia frequenza di alta precisione e di ridotte dimensioni (Fig 10);



Fig. 10

-una unità di controllo (CR 233) portatile, estremamente compatta e leggera, dotata di un alto grado di automatismi e di un processore 80386, molto semplice nell'uso (Fig. 11);

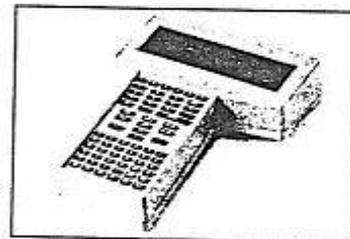


Fig. 11

L'antenna e l'unità di controllo sono elementi modulari di piccole dimensioni, di uso molto semplice, leggeri nel trasporto e consentono una acquisizione dei dati rapida e sicura.

In particolare l'unità di controllo CR 233 verifica le misure, dirige le operazioni, memorizza i dati che provengono dall'antenna su memoria interna o su memory card (Fig.12), scarica i dati su PC.

I dati contenuti nelle memory card possono essere scaricati nel PC sia dall'unità di controllo che da un apposito lettore (Fig.13).

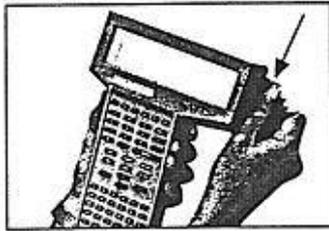
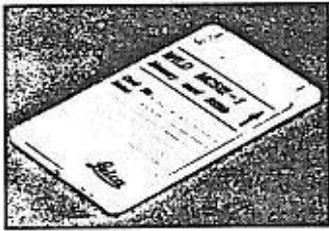


Fig.12

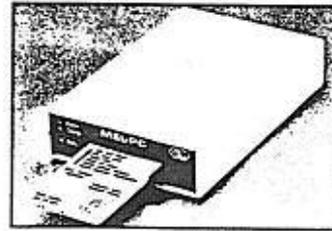


Fig.13

L'alimentazione del System 200 avviene con batteria GEB 70 o GEB71 al iCd, già note ed apprezzate dai possessori di strumentazione Wild, o con alimentazione esterna (es. batteria auto) tramite idoneo cavo di collegamento.

Il sistema completo, con l'antenna montata su treppiede (adatto per rilievi da eseguire con le tecniche di tipo statico), si presenta come nella fig.14

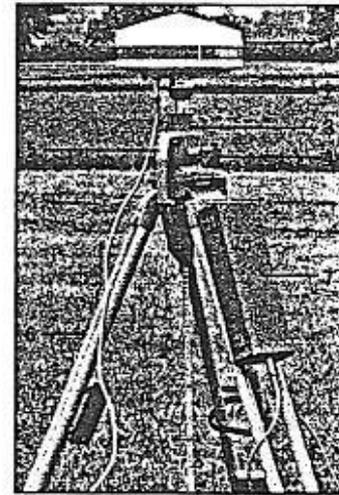
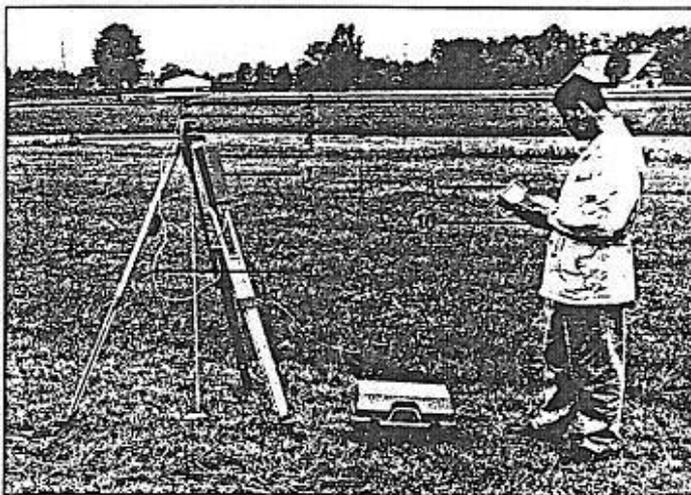


Fig. 14

Mentre, montato su treppiede metallico telescopico (adatto per rilievi da eseguire con le tecniche di tipo cinematico) si presenta come nella fig.15.

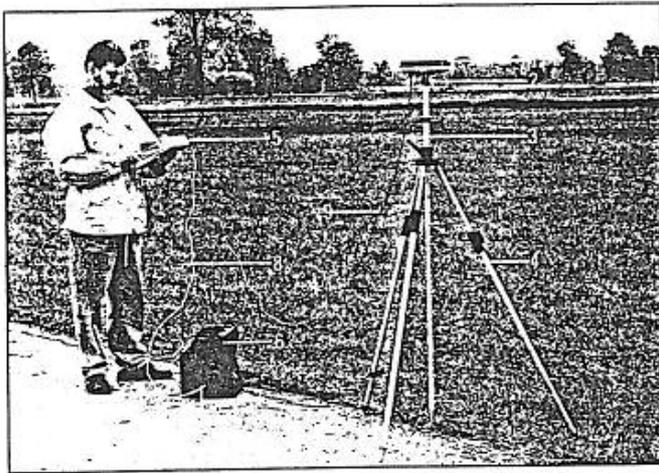


Fig.15

Con il sistema Wild 200 si possono:

- \* rilevare molti più punti in minor tempo;
- \* misurare distanze di qualsiasi lunghezza;
- \* usare tutte le tecniche di misura:statico,statico rapido,cinematico continuo, stop and go,rioccupazione,navigazione,anche mescolandole tra loro.

#### CARATTERISTICHE GENERALI DEL SISTEMA WILD 200

- # due frequenze,codice C/A e P
- # e.q.m. sulle linee di base  $5\text{mm}+1 \text{ p.m.m.}$  della distanza
- # peso complessivo molto contenuto:meno di 10 Kg!
- # una sola custodia,di volume molto modesto,consente il trasporto di un System 200 pronto per qualsiasi tipo di lavoro (statico e cinematico)
- # basso consumo
- # robusto
- # tempi di misura ridottissimi
- # funzionamento semplice
- # indicatore,sul display,del modo di utilizzo e della memoria disponibile
- # ricarica della batteria molto veloce
- # integrazione con i sistemi topografici Wild
- # progettazione e costruzione Wild
- # assistenza e manutenzione LEICA

## TIPO DI APPLICAZIONI

Il sistema topografico GPS Wild 200 non teme rivali per:

- rilievi geodetici e/o topografici
- appoggi fotogrammetrici
- tettonica
- controllo frane e strutture
- esecuzione di grandi lavori (autostrade, ferrovie, ecc.)
- rilievi di dettaglio
- catasto
- rilievi diversi (canalizzazioni, lottizzazioni, ecc.)
- banche dati geografiche, territoriali, ecc.
- inventari di aree particolari quali ed es. parchi naturali, aree sottoposte a vincoli urbanistici, ecc.
- rilievi per esplorazioni petrolifere
- rilievi sismici
- rilievi idrografici, correnti marine, ecc.

In particolare, il sistema Wild 200:

- E' combinabile con l'uso di stazioni totali Wild consentendo l'utilizzo del GPS nei rilievi quotidiani;
- Costituisce un nuovo e più moderno metodo di lavoro;
- Consente di produrre di più e a costi più bassi;
- Visione su un display a cristalli liquidi della posizione del punto, la velocità di spostamento, ecc. ecc.;
- Per tempi di registrazione molto lunghi o per memorizzare grosse quantità di dati (per es. sistemi di sorveglianza in continuo, ecc.) l'antenna può essere collegata direttamente ad un PC dotato di software SPCS che controlla automaticamente e totalmente l'antenna stessa, le misure e la registrazione dei dati;
- Per rilievi eseguiti con le tecniche cinematiche dove occorre spostare frequentemente l'antenna è stato realizzato un nuovo e più leggero treppiede metallico con bolla sferica e gambe telescopiche;
- Permette una navigazione in tempo reale di grande qualità e della massima affidabilità grazie alle misure di differenza di fase di alta precisione (opzionale);
- Esistono due tipi di custodie per il trasporto: una in plastica dura antiurto per la spedizione del sistema o il trasporto in auto su terreni estremamente accidentati ed un'altra, in robusta stoffa impermeabile opportunamente imbottita di un particolare tipo di gomma piuma, adatta per un trasporto veloce (per es. quando si usano le tecniche cinematiche).

## 5.2)- CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'ANTENNA.

L'antenna SR 299 ha le seguenti principali caratteristiche:

- è unica sia per rilievi statici che cinematici;
- 9 canali con la frequenza L1.Consente l'uso del codice C/A e le misure di fase;
- 9 canali con la frequenza L2.Consente l'uso del codice P e della tecnica "squaring";
- insegue costantemente tutti i satelliti disponibili;
- è di concezione simmetrica,ha il trattamento numerico del segnale per ottenere un'alta precisione ed un'ottima "performance";
- il codice P per la frequenza L2 è regolare,forte ed insensibile alle interferenze;
- è del tipo "microstrip";
- può essere montata su treppiede tradizionale o su treppiede metallico telescopico;
- si collega all'unità di controllo CR 233 o direttamente ad un PC;
- può essere dotata,opzionalmente,di sincronizzazione oraria (PPS);
- temperatura di funzionamento da -40° a +70°;
- umidità da 0 al 100 %;
- pesa soltanto 2.2 Kg

## 5.3)- CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'UNITA' DI CONTROLLO CR 233.

- è realizzata in plastica speciale antiurto ed è robusta,leggera,portatile;
- ha un grande schermo a cristalli liquidi (lcd) alfanumerico di ottima visibilità con 8 righe di 40 caratteri ciascuna;
- lo schermo lcd è protetto da uno speciale cristallo antiriflesso ed antiurto;
- la tastiera alfanumerica ha sei tasti funzione;
- l'unità incorpora un processore 80386 che consente una grande potenza di calcolo e nel suo interno ci sono ampi spazi per l'alloggiamento di idonee schede per eventuali future applicazioni e per il coprocessore matematico 80387 (opzionale);
- ha una EPROM di 128 Kb,una memoria per il programma di 512 Kb ed una per i dati di 256 Kb.La memoria interna,riservata ai dati,può essere portata,opzionalmente,ad 1 Mb;
- la memorizzazione dei dati può avvenire anche su memory card della capacità di 512 Kb,sostituibili con estrema facilità.L'autonomia della memory card è riportata nella seguente tabella:

int.registr.	NUMERO DEI SATELLITI			
	4	5	6	9
1"	43'	36'	30'	20'
5"	3 h 20'	3 h	2 h 20'	1 h 40'
15"	10 h	9 h	7 h	5 h
30"	21 h	18 h	15 h	10 h
60"	43 h	36 h	31 h	21 h

- è possibile avere, opzionalmente, memory-card da 1 o 2 Mb. Naturalmente i tempi, rispetto alla suddetta tabella, saranno doppi e quadrupli;
- i dati contenuti nelle memory card possono essere trasferiti velocemente su PC tramite l'unità di controllo CR 233 o con un apposito lettore di memory-card chiamato MEL-PC;
- sul display appare costantemente la memoria disponibile espressa in Kb;
- è dotata di uscita seriale LINK configurabile GLAN, RS232 o GSI;
- sistema operativo Multitasking;
- non richiede preriscaldamento;
- pilota e controlla tutte le funzioni dell'antenna SR 299;
- può essere usata per altre applicazioni (per es. scarico dei dati);
- consente all'operatore la scelta del metodo di misura (statico, statico rapido, stop and go, rioccupazione, cinematico, navigazione) e lo segnala sul display;
- è programmabile sia per l'accensione e lo spegnimento automatico che per personalizzare le esigenze dell'operatore adattandosi così ai suoi metodi di lavoro;
- numerava automaticamente i punti. Per ciascun punto si possono introdurre: attributi, note, commenti, ecc.;
- temperatura di funzionamento da -40° a + 70°;
- umidità da 0 al 100 %;
- peso 1.1 Kg;

### 5.3) CARATTERISTICHE TECNICHE DEL SOFTWARE SKI

Il software SKY è unico sia per i rilievi statici che cinematici compresa la navigazione. Questa nuova generazione di software è stata progettata per essere modulare, in modo da facilitare l'inserimento di future applicazioni, e di ottimizzare le prestazioni del sistema Wild 200. Il programma occupa, su HD, uno spazio di circa 6 Mb.

Le sue caratteristiche più salienti possono essere così riassunte:

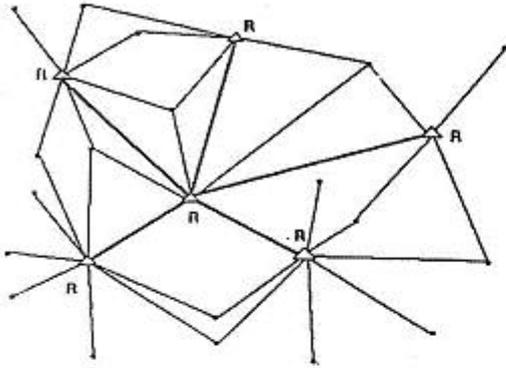
- esegue un logico trattamento dei dati;
- è facile da usare: basta selezionare le linee di base da calcolare ed il resto viene fatto automaticamente;
- è possibile l'intervento manuale;
- ha l'help in linea;

- funziona sotto Windows della Microsoft, gira su PC dotato di processore 80386, coprocessore 80387, sistema operativo MS-DOS ver. 3.3 o successive, 2 Mb ram, 60 Mb hard disk, monitor a colori VGA o EGA, floppy disk 3.25 o 5.5 da 1.44 MB;
- viene dotato di due chiavi di protezione Hardware su porta parallela completamente trasparenti per qualsiasi stampante. Le due chiavi servono per poter usare il software sia in ufficio che in campagna;
- ha una grafica ad alta risoluzione;
- esegue programmi di calcolo, previsioni;
- quando si esegue una previsione è possibile avere a colpo d'occhio tutte le finestre disponibili in una giornata di lavoro. E' inoltre possibile: ingrandire a piacere la finestra prescelta, sovrapporre il grafico del PDOP e GDOP, graficizzare le tracce dei satelliti e visualizzare, sulla stessa finestra anche con l'uso di un mouse, l'azimuth e l'elevazione dei satelliti in un punto della loro traiettoria o su tutta la traiettoria stessa;
- accetta ed elabora tutti i dati provenienti dai diversi metodi di misura anche se mescolati tra loro;
- non c'è limitazione ai numeri di punti elaborabili;
- riduce drasticamente i tempi di elaborazione conservando al precisione: grazie ai nuovi algoritmi di calcolo F.A.R.A. (Fast Ambiguity Resolution Approach) è possibile avere un'e.q.m di 5 mm+1 ppm da osservazioni di qualche decina di minuti su linee di base fino a 20 Km;
- è personalizzabile per quanto riguarda diverse opzioni (per es. l'uso dei colori, le dimensioni e la posizione delle finestre, visibilità dell'orologio, uso del mouse, ecc.);
- disegna la rete rilevata utilizzando simboli differenti per i punti di riferimento e quelli rilevati, scrive il numero e/o il nome delle stazioni, sono previste funzioni di editing;
- è possibile eseguire la trasformazione di coordinate dal sistema WGS 84 a qualsiasi sistema cartografico e/o locale. Per eseguire la trasformazione si può scegliere tra una rototraslazione a sette parametri secondo il modello di Molodenski o quello di Bursa oppure con una trasformazione affine (opzionale);
- accetta in input dati in formato RINEX (opzionale);
- ha l'output dei dati in formato Wild o RINEX (opzionale);
- costituisce un nuovo standard di riferimento per il trattamento dei dati GPS.

#### 5.4)- METODI DI LAVORO CONSENTITI

Il sistema topografico GPS Wild 200 ha ben cinque differenti metodi di rilievo, oltre alla navigazione:

1)-IL CLASSICO METODO STATICO: per la misura di linee di base di qualsiasi lunghezza e con grande precisione. Con un'ora di osservazione si ottiene un'e.q.m. di  $5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$  su linee di base aventi una lunghezza maggiore di 20 Km.



Applicazioni tipiche di questo metodo sono:

- \* rilievi geodetici di grandi dimensioni
- \* rilievi su scala nazionale o intercontinentale
- \* rilievo di movimenti tettonici

I vantaggi che offre questo metodo di lavoro sono:

- # massima precisione
- # più produzione e minor costo rispetto ai metodi geodetici tradizionali

2)-IL METODO STATICO RAPIDO:

consiste nell'installare una stazione di riferimento in acquisizione continua ed un ricevitore itinerante che si sposta sui punti da rilevare.

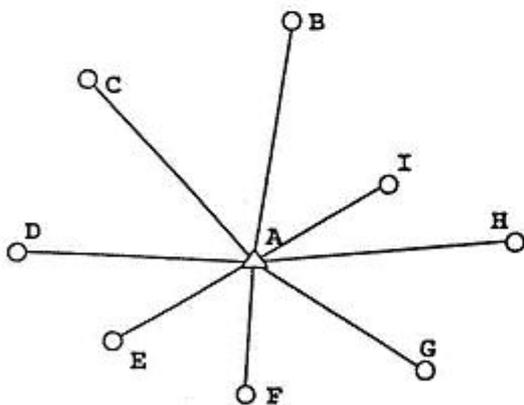
Con osservazioni della durata di pochi minuti e con 5 satelliti si ottengono precisioni da 5 a 10 mm + 1 ppm.

Classiche applicazioni di questo metodo sono:

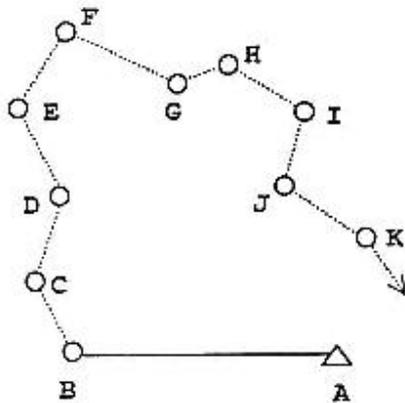
- \* triangolazioni e poligonali secondarie
- \* punti di raffittimento
- \* delimitazioni di aree particolari
- \* rilievi di dettaglio
- \* tutte quelle applicazioni nelle quali il numero dei punti da rilevare sono numerosi e poco distanti tra loro (per es. più di 100 m).

I vantaggi che offre questo metodo sono:

- # rapidità e facilità di uso
- # efficacia ed affidabilità
- # non occorre mantenere il contatto con i satelliti
- # economia della batteria e quindi maggior numero di punti rilevabili
- # uso del sistema GPS nella topografia a grande scala



3)-IL METODO "STOP AND GO" PER IL RILIEVO DI DETTAGLIO:consiste in una stazione posta su un punto di riferimento in acquisizione continua ed un'altra itinerante che, dopo aver acquisito dati per pochi minuti sull'altro estremo di una linea di base di partenza, si sposta sui punti da rilevare acquisendo dati per qualche secondo. L'unità di controllo avvisa l'operatore quando può spostarsi.



Durante lo spostamento tra i vari punti non bisogna perdere in contatto con i satelliti.

La precisione che si ottiene con questo metodo è di 2 o 3 cm.

Applicazioni possibili sono:

- \* rilievo di dettaglio di zone scomode o disagiati

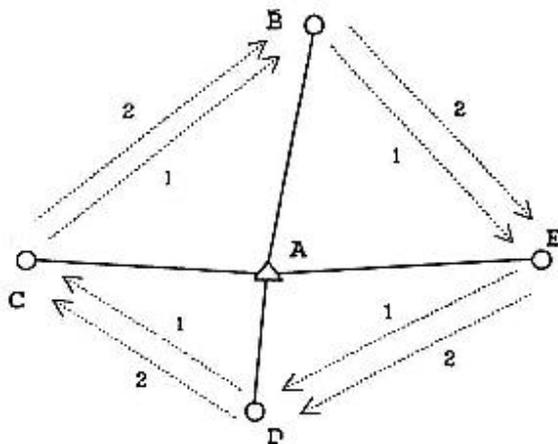
- \* rilievo di punti molto vicini tra loro

I vantaggi che si ottengono consistono, essenzialmente, in:

- # rilievi rapidi e molto economici

- # maggior produzione e minor costo rispetto a qualsiasi altro metodo di lavoro GPS.

4)-IL METODO DELLA "RIOCUPAZIONE": è un modo di lavorare da tenere di riserva. Comunemente è detto anche pseudo-statico o pseudocinematico, ma in effetti è un metodo statico di osservazione. Come al solito una stazione è posizionata su di un punto di riferimento ed acquisisce dati in maniera continua mentre l'altra è itinerante e si sposta sui punti da rilevare stando sugli stessi per pochi minuti.

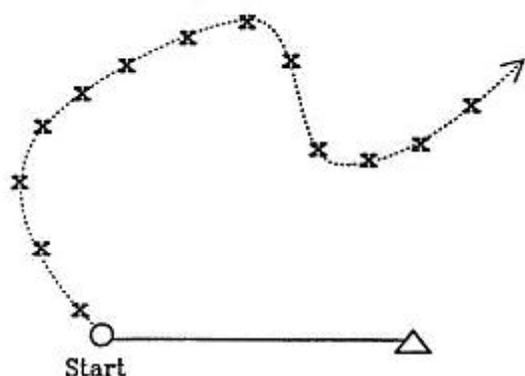


Occorre tornare a rilevare dati sugli stessi punti.

La precisione ottenibile con questa tecnica è di 5 mm+1 ppm sulla linea di base. Il vantaggio è che il numero dei satelliti visibili è meno importante rispetto al metodo statico rapido, a cui somiglia moltissimo. Infatti sono sufficienti da 3 a 4 satelliti durante la rioccupazione dello stesso punto. Il numero dei satelliti dipende da come viene usata la tecnica della rioccupazione (vedi paragrafo 4).

Questo metodo è ideale quando non può essere usato il metodo statico rapido.

5)-IL METODO CINEMATICO e IL METODO DELLA NAVIGAZIONE: normalmente non interessano il topografo a meno che non siano applicati con la tecnica differenziale già vista in precedenza.



I vantaggi che questi due metodi offrono, senza la tecnica differenziale, possono riassumersi in:

# possibilità di usare il sistema GPS per lavori più disparati (es. rilievi speditivi per aggiornamento delle carte a piccola scala, ecc)

# misure continue rapide ed economiche

Le precisioni raggiungibili sono:

-in posizionamento assoluto (con un solo ricevitore) di circa 15/30 m, in funzione della geometria dei satelliti e se non è attivata la S/A.

-in posizionamento relativo (con due ricevitori) da qualche metro a pochi centimetri secondo le tecniche che sono utilizzate (pseudo-distanza o fase).

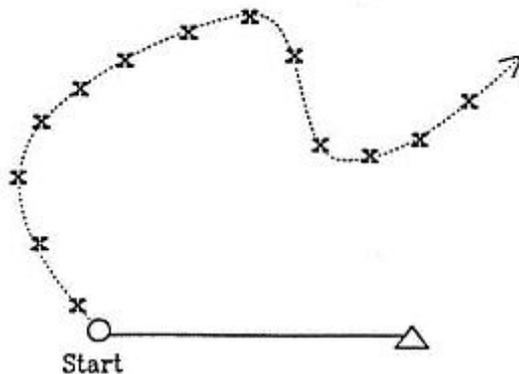
## 6)-I RISULTATI.

Il GPS fornisce le coordinate cartesiane tridimensionali rispetto ad un sistema geocentrico a cui sono riferiti i satelliti (WGS84).

Nella maggioranza dei casi, l'utilizzatore ha invece bisogno di avere le coordinate nel sistema nazionale o in coordinate locali. Per fare questo bisogna effettuare le seguenti conversioni:

- 1)- Dai dati ottenuti dal satellite (sull'ellissoide WGS84) occorre passare all'ellissoide di riferimento (per es. quello di Hayford);
- 2)- Dall'ellissoide di riferimento al sistema di coordinate cartografiche (per es. Gauss-Boaga, UTM, ecc.) o alle coordinate locali (per es. un qualsiasi riferimento arbitrario).

5)-IL METODO CINEMATICO e IL METODO DELLA NAVIGAZIONE: normalmente non interessano il topografo a meno che non siano applicati con la tecnica differenziale già vista in precedenza.



I vantaggi che questi due metodi offrono, senza la tecnica differenziale, possono riassumersi in:

# possibilità di usare il sistema GPS per lavori più disparati (es. rilievi speditivi per aggiornamento delle carte a piccola scala, ecc)

# misure continue rapide ed economiche

Le precisioni raggiungibili sono:

-in posizionamento assoluto (con un solo ricevitore) di circa 15/30 m, in funzione della geometria dei satelliti e se non è attivata la S/A.

-in posizionamento relativo (con due ricevitori) da qualche metro a pochi centimetri secondo le tecniche che sono utilizzate (pseudo-distanza o fase).

## 6)-I RISULTATI.

Il GPS fornisce le coordinate cartesiane tridimensionali rispetto ad un sistema geocentrico a cui sono riferiti i satelliti (WGS84).

Nella maggioranza dei casi, l'utente ha invece bisogno di avere le coordinate nel sistema nazionale o in coordinate locali. Per fare questo bisogna effettuare le seguenti conversioni:

- 1)- Dai dati ottenuti dal satellite (sull'ellissoide WGS84) occorre passare all'ellissoide di riferimento (per es. quello di Hayford);
- 2)- Dall'ellissoide di riferimento al sistema di coordinate cartografiche (per es. Gauss-Boaga, UTM, ecc.) o alle coordinate locali (per es. un qualsiasi riferimento arbitrario).

Per procedere alla prima conversione bisogna conoscere la posizione dell'ellissoide nazionale rispetto a quello geocentrico e se questi parametri non sono conosciuti bisogna calcolarli (fig.16).

Per fare questo bisogna disporre di un certo numero di punti di cui si conoscano entrambi i tipi di coordinate (WGS84 e Nazionali).

Con i due gruppi di dati, si possono ottenere i parametri di conversione ottenendo, latitudine, longitudine e quota ellissoidica del punto rispetto all'ellissoide di riferimento.

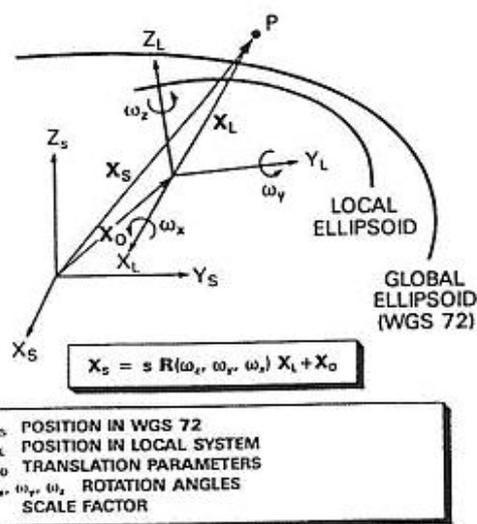


Fig. 16

Poichè nella pratica operativa non si utilizza la quota ellissoidica ma quella ortometrica (cioè la quota riferita al livello del mare), occorre correggere le quote ellissoidiche dello scostamento esistente tra ellissoide e geode (fig. 17 e 18), chiamato anche "ondulazione del geode".

### ELLIPSOIDAL HEIGHT

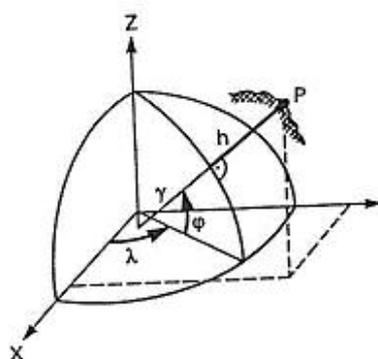


Fig. 17

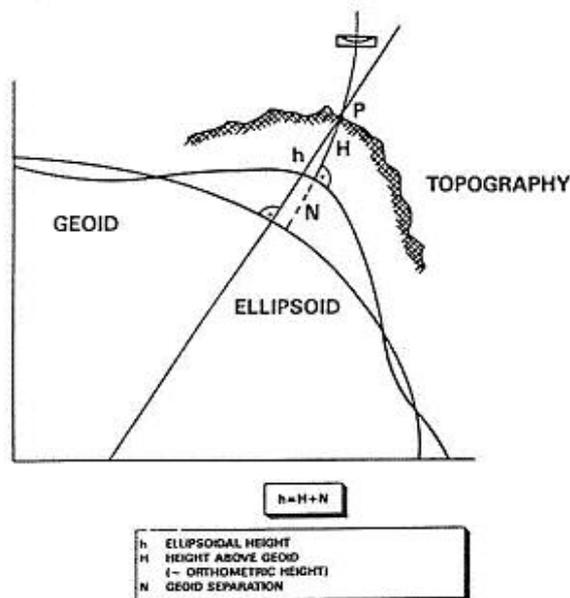


Fig. 18

Mentre la trasformazione di coordinate (fig. 16) viene effettuata dal programma di elaborazione in maniera abbastanza facile usando l'algoritmo di Helmert a sette parametri (3 rotazioni 3 traslazioni e un fattore di scala) e con due diversi modelli: Bursa e Molodenski, a scelta dell'operatore, la determinazione della N (cioè lo scostamento geode-ellissoide) resta ancora un problema di ordine pratico.

Infatti bisognerebbe conoscere il valore di N con lo stesso grado di precisione con il quale si ottengono le quote ellissoidiche (pochi centimetri) e con una notevole densità, cioè tra punti molto vicini tra loro, mentre attualmente la conoscenza della N in Italia è circa di un punto ogni sette primi sessagesimali.

Sembra, comunque, che qualcosa in tal senso si stia muovendo e per ora (specialmente se i punti del rilievo sono in un intorno modesto e senza grosse anomalie di gravità) non resta fare altro che determinare sperimentalmente la N facendo stazione con il SYSTEM 200 su alcuni punti di quota nota, es. caposaldi di livellazione oppure con altre tecniche (es. gravimetria, stazioni astronomiche, ecc.).

Determinata la N di almeno tre punti si è individuata la posizione del piano passante per i tre punti suddetti per cui è possibile calcolare le correzioni da effettuare a tutte le restanti quote ellissoidiche rilevate per avere quelle ortometriche.

Tutto questo se occorrono per forza le quote geoidiche, ma se interessano soltanto le variazioni di quota (es. controllo frane, deformazioni, ecc. ecc.) allora è sufficiente fare semplicemente il confronto tra le quote ellissoidiche ottenute dalla elaborazione dei dati GPS registrati nei vari periodi di misura.

#### 6)- CONCLUSIONI.

Il sistema GPS è uno strumento efficace per i geometri, competitivo con le misurazioni convenzionali, soprattutto quando con queste ultime non è possibile raggiungere le precisioni richieste dal committente, ma anche economicamente vantaggioso grazie alla maggiore e costante produttività che consente di raggiungere.

Già alcuni Enti Pubblici prevedono, nei loro capitolati, la possibilità di impiego di questa nuova tecnica di rilievo che sarà destinata in un futuro molto prossimo a rivoluzionare il modo stesso di concepire ed eseguire il rilievo.

Certamente restano alcune problematiche da risolvere quali ad esempio:

- pianificazione della campagna di misure;
- ottimizzazione degli spostamenti e conseguente riduzione dei tempi "morti";
- diversa e migliore distribuzione dei compiti tra personale di campagna e addetto alla elaborazione dei dati;
- stabilire il protocollo degli elaborati che vanno consegnati al committente;
- necessità che le case costruttrici raggiungano un accordo su un unico tipo di file d'uscita dei dati (anche se molto è stato già fatto con la conversione dei dati in formato RINEX).

In altre parole occorre una NORMATIVA che disciplini le tecniche di rilievo, la durata delle osservazioni, le modalità di calcolo, i parametri di giudizio della bontà del lavoro eseguito.....ecc, ecc.

Su questa strada si stanno muovendo, grazie all'esperienza maturata in questi ultimi anni, varie Università, Enti Pubblici e privati.

Secondo il mio parere, oggi siamo nella stessa fase che si è verificata in passato sia quando uscirono le prime calcolatrici portatili, che andarono in pensione le vecchie pesanti tavole dei logaritmi, sia quando uscirono i primi distanziometri che altrettanto velocemente sostituirono le faticose tecniche di misura fatte con la stadia orizzontale.

Oggi come allora, però, occorre che la mentalità del geometra sia aperta a recepire la nuova tecnologia e che sia disponibile a mettere a disposizione la sua preziosa esperienza nel campo del rilevamento alle ditte costruttrici degli strumenti per suggerire quelle modifiche o quelle applicazioni che potrebbero essere sfuggite al progettista.

Ritengo comunque inutile insistere su questi discorsi proprio perchè voi oggi, con la semplice lettura di questo documento, avete mostrato:

- sensibilità verso la novità;
- lungimiranza in quanto soltanto mantenendosi aggiornati sulla nuova tecnologia si può essere più competitivi con se stessi e con gli altri;
- professionalità perchè in sintonia con i tempi che cambiano vi presenterete all'appuntamento Europeo aggiornati e documentati nei confronti dei colleghi stranieri.

geom. Vittorio Grassi

## BIBLIOGRAFIA

- PARKINSON B.W - The Global Positioning System (NAVSTAR)  
Bulletin geodesique vol. 53 n° 2 1979
- SCHERRER R. - The WM GPS Premier Wild 1980
- FELL J.P. - Geodetic Positioning Using A Global  
Positioning System of Satellites  
OSU Columbus Ohio 1980
- SCHERRER - FRICKER - GPS il sistema topografico dell'av-  
venire Wild Reporter n°24 1982
- WELLS D.E. - Recommended GPS Terminology  
Univ. Brunswich Canada esb 5a3 1982
- MONTI-SANSO' - Tecniche e metodi avanzati per il  
posizionamento dei punti  
Atti 28° Convegno SIFET 1983
- GOAD-REMONDI - Initial Relative Positioning Result  
Using the GPS  
Bull. Geodesique n° 58 1984
- REMONDI B.W. - Global Positioning System Carrier  
Phase Bulletin Geodesique n° 59 1985
- FANGI G. - Boom! E' scoppiato il GPS  
Bollettino SIFET N°3/4 1987
- WELLS D.E. - GUIDE to GPS Positioning  
Canadian GPS Associates 1987
- LANDAU H. - On the use the GPS  
Univ. PFAFF Monaco 1988
- GERVAISE J. - NAVSTAR GPS  
géométre n°3 1989
- SANTAMARIA R. - Il sistema Satellitare GPS-NAVSTAR  
Atti del Convegno IIN 1989
- PIEROZZI M. - Alcune considerazioni sulla trasforma-  
zione dal sistema WGS84 ad altro siste-  
ma geodetico locale  
IGM Boll. Geod. n° 1 1989
- BIRARDI G. - Il GPS metodologie ed applicazioni  
Atti del Convegno CISM DESEG 1990
- HOFMAN-WELLENHOF - Stato dell'arte nel posizionamento  
satellitare statico e cinematico  
Atti del Convegno CISM DESEG 1990
- MANZONI G. - Il sistema di posizionamento  
globale satellitare GPS  
Atti del Convegno CISM DESEG 1990
- BETTI B. - Una introduzione al GPS  
Bollettino SIFET n° 3 1991