



POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Appunti di topografia

Original

Appunti di topografia / C. Sena. - ELETTRONICO. - (2013).

Availability:

This version is available at: 11583/2518647 since:

Publisher:

Published

DOI:

Terms of use:

openAccess

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

4-Topografia Operativa

Strumenti e metodologie di rilevamento

Premessa

- Ricordiamo che in un passato recente il corso era chiamato “**Geometria Pratica**” mentre adesso, specialmente nei paesi anglosassoni, ha preso il nome di “**Geomatica**” (come unione di Geodesia e Informatica ?). Noi continueremo a chiamarlo **Topografia**, con radici nelle operazioni di misure fatte nell’antica Mesopotamia e nell’ Egitto (ad esempio, per il confinamento dei terreni vicini al Nilo), dai romani (nelle costruzioni di strade e città), con sempre più stretti collegamenti con l’Astronomia, la Geodesia , la Geometria, ecc.
- Era materia importante e delicata esclusiva persino, per un certo periodo, della classe sacerdotale o di chi gestiva il potere sul territorio.
- Oggi è materia essenzialmente tecnica utilizzata da chi deve lavorare sul territorio, creare infrastrutture, costruire case, strade, ponti, nello sfruttamento di miniere, per la manutenzione e la protezione dei Beni Culturali e Ambientali, ecc.
- Un grande sviluppo è avvenuto in particolare nelle *strumentazioni*, nel periodo della crescita della meccanica di precisione (secolo XIX) e poi con l’avvento dell’elettronica e dell’informatica, con una profonda rivoluzione strutturale che ha permesso la realizzazione di strumentazioni per le misure fondamentali (angoli, distanze e dislivelli) sempre più complete e raffinate. Questo sviluppo ha avuto anche evidenti effetti e ripercussioni sulle *procedure operative*.
- Grande novità si è avuta con la nascita dei **sistemi satellitari** G. P. S. in America, in Russia (con il sistema GLONASS) e recentemente in Europa con il sistema GALILEO (ma anche in altri Paesi sono nati o si sviluppano sistemi analoghi).

In questa 2° parte, per quanto riguarda le strumentazioni topografiche, ci si è limitati a pochi esempi: non si è ritenuto infatti opportuno dare una documentazione per attestare il grande impegno di Ditte, in particolare europee, che oggi purtroppo hanno cambiato attività o non esistono più (ad esempio le italiane Salmoiraghi, Officine Galileo e OMI, le svizzere Wild e Kern, le tedesche Zeiss, ecc., sia costruttrici di strumentazioni topografiche che fotogrammetriche); parecchie sono nate invece in Paesi dell'Oriente (Giappone, Cina, Corea, ecc.). Bisogna inoltre tenere conto del cambio di mentalità avvenuto (anche nei Topografi), con richieste di utilizzo di strumenti sempre più automatizzati (utili anche per l'eliminazione di alcuni errori) e di programmi di compensazione e di calcolo, sofisticati e difficili, che richiedono una certa capacità di comprensione ed attenzione nel loro utilizzo.

Indice: **TOPOGRAFIA OPERATIVA**

Definizioni grandezze geometriche	6
4. 1- Misure ANGOLI	8
teodoliti	9
cenni di ottica geometrica (microscopio semplice e composto, cannocchiali, canalizzazione raggi luminosi, fibre ottiche...)	11
canalizzazione raggi luminosi, fibre ottiche...)	14
unità di misure angolari	16
livella torica: verifica	17
sistemi di lettura ai cerchi	18
errori di costruzione e di rettifica (angoli azimutali e zenitali)	19
teodoliti elettronici: esempi	28
4. 2- Misure DISTANZE	
vari metodi	35
riduzione distanze al geoide o alla superficie di riferimento	37
metodi diretti	40
metodi indiretti ad angolo parallattico variabile e costante	41
onde elettromagnetiche e distanziometri a misura di fase e ad impulsi	44
4. 3 – Misure DISLIVELLI	
vari tipi di livellazioni	55
rete mareografica italiana	56
rete di livellazione di alta precisione	58
capisaldi di livellazione	
livellazioni cartografiche (errori di sfericità e rifrazione)	59
livellazione geometrica e livelli	62
precisione di una battuta di livellazione (errore medio chilometrico)	68
livelli digitali e a laser	72

segue indice

• 4-Generalità sulle RETI	82
schemi generali	83
progettazione di reti	84
Compensazione di una rete di triangolazione	87
Compensazione di una rete di trilaterazione	93
• 5- Trasformazioni piane elementari	95
• 6- Matrici di rotazione	102
Cenni ai controlli e collaudi di operazioni.	108
• 7- Metodi moderni di posizionamento	110
Cenni a tecniche di geodesia spaziale	
Sistema G. P. S. : principi e strutture –segnali e procedure operative	112
Cenni al sistema GALILEO	146

DEFINIZIONE DELLE GRANDEZZE GEOMETRICHE

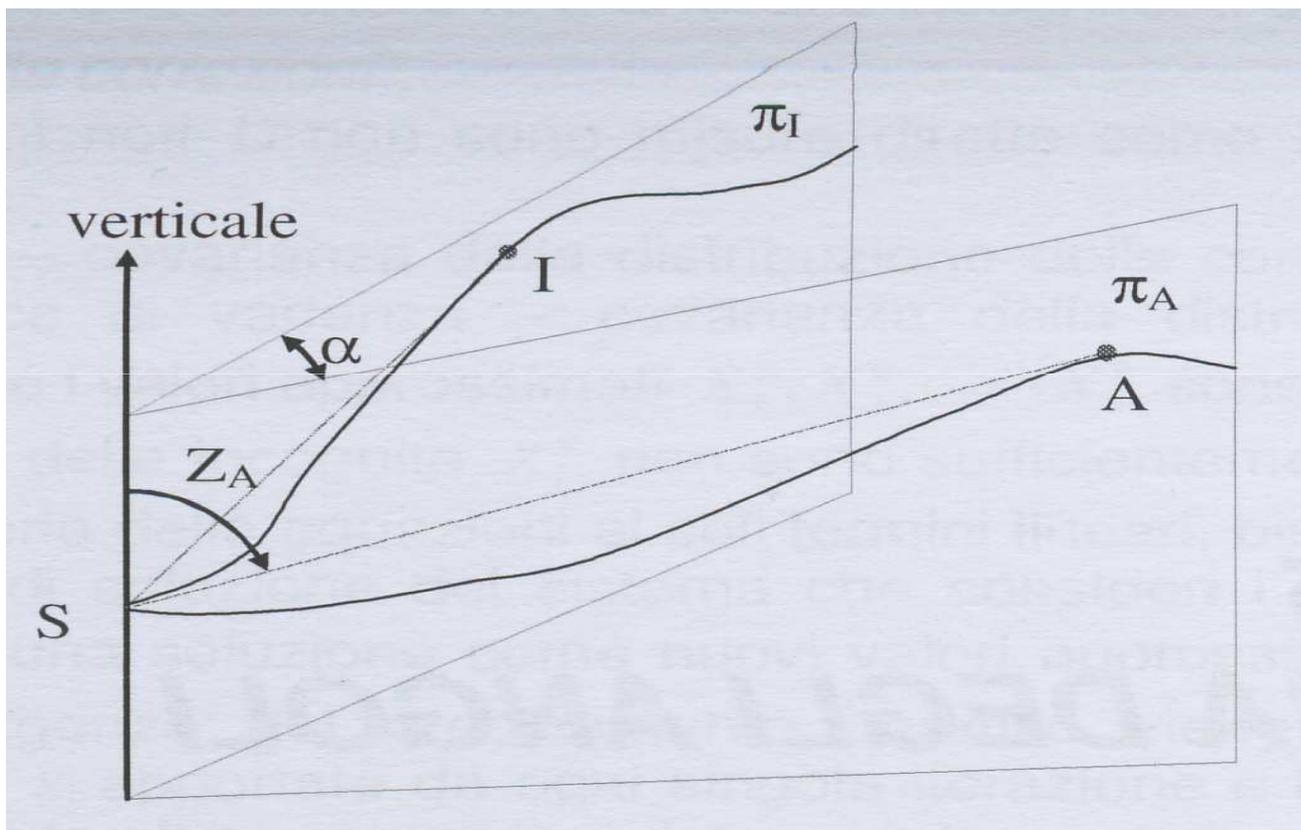


FIG.1

descrizione grafica : punti sul terreno

ANGOLO AZIMUTALE α :

l'angolo diedro formato dai due piani π_1 e π_A appartenenti al fascio di piani che ha per generatrice la verticale passante per il punto di stazione S e passanti rispettivamente per il punto I (punto indietro) e per il punto A (punto avanti) .

ANGOLO ZENITALE:

l'angolo Z_A appartenente al piano π_A definito tra la verticale passante per S e la retta congiungente il punto S con il punto A.

DISLIVELLO ΔSA :

differenza di quota tra il punto A (Q_A) ed il punto S (Q_S) intendendo come quota (quota ortometrica), l'altezza del punto sul geoide.

DISTANZA MISURATA:

lunghezza del segmento di retta congiungente ad esempio i due punti S ed A.

Ovviamente per poter effettuare delle misurazioni con certe precisioni avremo bisogno di strumenti adeguatamente precisi e sofisticati al fine di avere un' esatta correlazione tra i dati raccolti e le distanze e gli angoli reali.

All'inizio della trattazione è necessario quindi fare una breve descrizione degli *strumenti* che si utilizzano.

1- MISURA di ANGOLI

SCHEMA DI UN GONIOMETRO

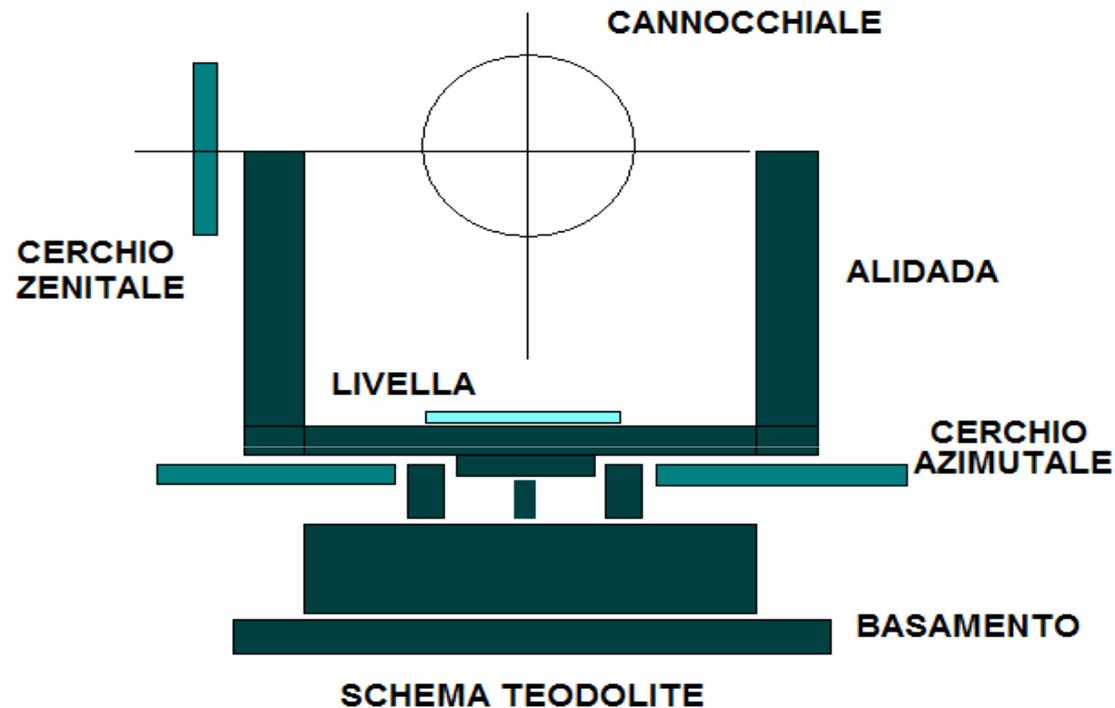


FIG.2

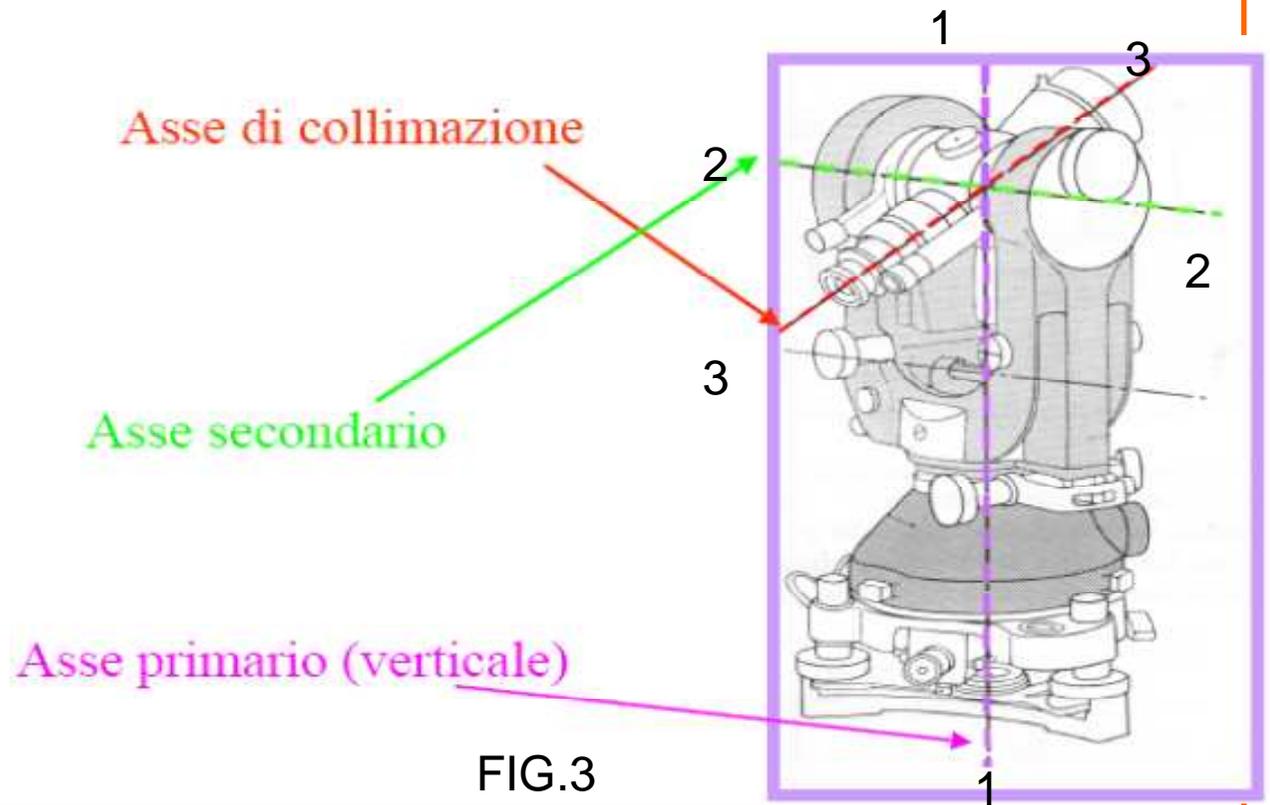
Strumento costruito con materiali diversi, con meccaniche di precisione e notevole varietà di accessori.

Questo strumento può misurare solo angoli **azimutali** ed angoli **zenitali**; ma dati tre punti nello spazio si formano, tra le loro rette congiungenti, angoli che noi **non** possiamo misurare (angoli obliqui): questi angoli non interessano la Topografi ma altre discipline.

E' essenziale che il teodolite (goniometro) risulti perfettamente posizionato al fine di ottenere misure accurate ed essendo poggiato sopra il treppiede (di solito utilizzato), anche quest'ultimo deve essere *messo in stazione* correttamente.

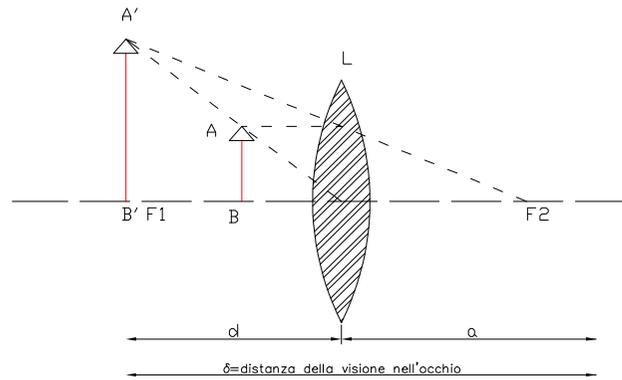
Nel teodolite si possono individuare i seguenti tre assi fondamentali:

- asse primario o principale o di rotazione dell'alidada 1-1;
- asse secondario o di rotazione del cannocchiale 2-2;
- asse terziario o di collimazione del cannocchiale 3-3. (FIG.3)



Si introducono alcuni concetti di **Ottica Geometrica** elementare per la comprensione dei vari componenti utilizzati.

MICROSCOPIO SEMPLICE

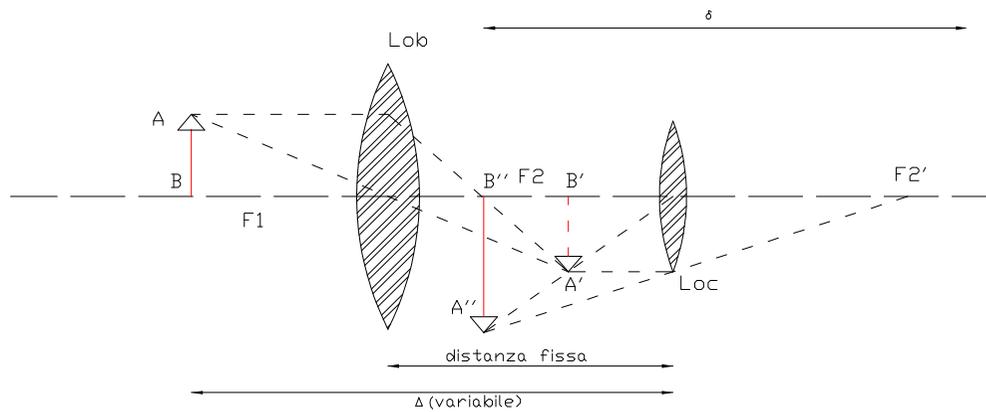


$$\frac{1}{D} - \frac{1}{|d|} = \frac{1}{f}$$

$$I = \frac{A'B'}{AB} = \frac{|d|}{D} = 1 + \frac{|d|}{f} = 1 + \frac{\delta}{f} - \frac{a}{f}$$

$$I = \frac{\delta}{f} = I_n$$

MICROSCOPIO COMPOSTO



$$I = \frac{A''B''}{AB} = \frac{A''B''}{A'B'} \cdot \frac{A'B'}{AB} =$$

= ingrandimento oculare x ingrandimento obiettivo

FIG.4

CANNOCCHIALE ASTRONOMICO O DI KEPLERO

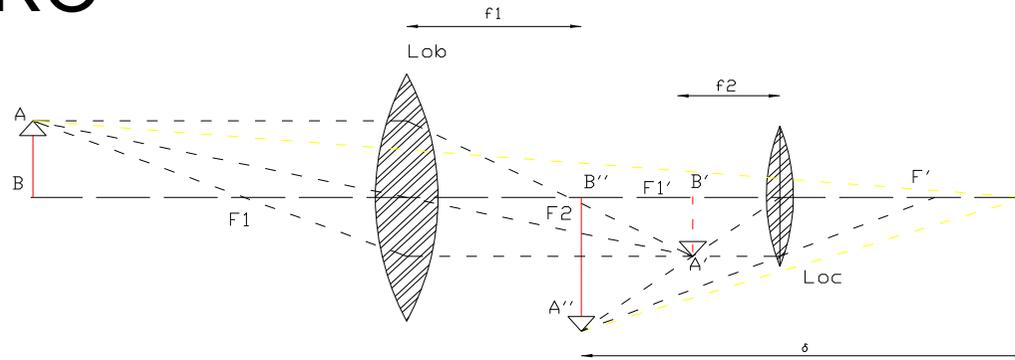


FIG. 5

$$I = \frac{\text{tg} \alpha''}{\alpha} = \frac{\text{tg} \widehat{A''OB''}}{\text{tg} \widehat{AOB}}$$

Condizione telescopica = l'oggetto AB è all'infinito, l'occhio dell'osservatore è normale :

l'immagine A''B'' si forma sul piano focale F₂=F₁'.

Ingrandimento normale $I_n = \frac{f_1}{f_2} = \frac{f_{ob}}{f_{oc}}$

I_n varia da 10 a 60 circa

ADATTAMENTO :
 - alla distanza
 - alla vista

CANNOCCHIALE A LUNGHEZZA COSTANTE

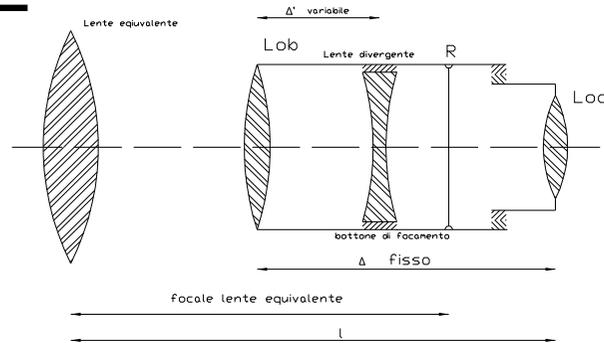


FIG.6

Si aggiunge una lente divergente, mobile tramite un bottone di focamento. Il movimento Δ' di questa lente interna, permette di fare l'adattamento alla distanza (il complesso $L_{ob} + L_{div}$ è equivalente ad un'unica lente)

PREGI: - La L_{eq} viene a trovarsi prima della L_{ob} (verso l'oggetto), quindi a parità di lunghezza "l" con il cannocchiale a lunghezza variabile e con lo stesso numero di ingrandimenti, il cannocchiale a lunghezza costante ha minore lunghezza;

- Molto più compatto, non entra polvere, umidità ecc.;

L'asse di collimazione, a parità di disassamento del reticolo, bolla di meno.

(Un cannocchiale 16x30 indica che fornisce 16 ingrandimenti, che la pupilla di entrata è di 30mm e che quindi il valore crepuscolare è $\sqrt{16 \cdot 30} = 21.9$)

FIBRE OTTICHE

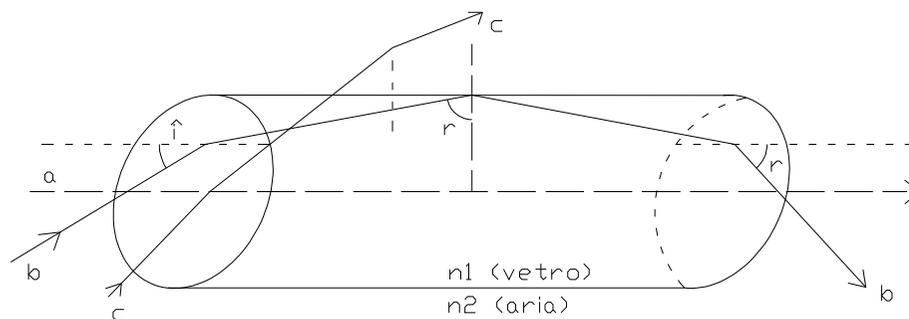


FIG: 7

In una barretta di vetro, un raggio di luce può passare direttamente da un'estremità all'altra (raggio a), può essere trasmesso per riflessione interna totale (raggio b), oppure può essere rifratto ed espulso (raggio c). Quindi una barretta di vetro è in grado di trasmettere a distanza la luce incidente su una sua estremità. Si possono usare "fibre" di vetro, flessibili, con diametro di circa $70 \mu\text{m}$, raccolte in un fascio, ad esempio di 2.5mm (un migliaio di singole fibre) = la sagoma della sezione può variare da un'estremità all'altra. Le fibre devono essere rivestite da una guaina (materiale ad indice di rifrazione più basso): si ottiene così un fascio "amalgamato", con possibilità di rendere "corrente" il fascio di fibre (per la trasmissione di immagini vere e proprie è necessario che la posizione di ogni fibra rispetto alle altre, sia fissa e costante, da un'estremità all'altra: si conservano così le reciproche relazioni spaziali).

La lunghezza di un fascio di fibre è limitato dall'assorbimento della luce e dagli effetti di trasmissione selettiva delle differenti lunghezze d'onda (vengono assorbite le radiazioni infrarosse).

ESEMPIO di FIBROSCOPIO:

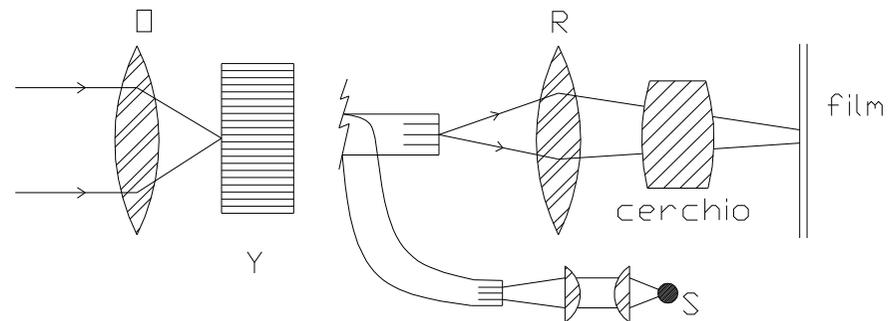


FIG. 8

L'obiettivo O può essere messo a fuoco e orientato. L'immagine viene trasferita lungo il fascio coerente X, mentre il soggetto è illuminato dalla sorgente S con fascio esterno incoerente Y. La lente R invia l'immagine all'obiettivo di ripresa L.

Con l'uso delle fibre si può manipolare in vari modi (raddrizzare, ruotare, ecc.) l'immagine prodotta da un obiettivo.

UNITA' DI MISURA ANGOLARE

GRD = Sistema centesimale
 DEG = Sistema sessadecimale
 DMS = Sistema sessagesimale
 RAD = sistema radianti

$$\frac{\alpha^{rad}}{\pi} = \frac{\alpha^g}{200} = \frac{\alpha^\circ}{180}$$

$$1 \text{ rad} = 57,2958 = 57^\circ 206.265''$$

$$63_{\text{gon}},6620 = 63_{\text{gon}} 636.620_{\text{cc}} \qquad 1'' \sim 3_{\text{cc}}$$

26°, 5498

26 gradi centesimali = gon

5 decine di primi centesimali = decimi di gon

4 primi centesimali = centigon

9 decine di secondi centesimali = milligon

8 secondi centesimali = decimi di milligon = decimillesimi di gon

$$10^{-1} \text{ rad} = \frac{1}{10} \text{ rad} \cong 6 \text{ gon}$$

$$10^{-2} \text{ rad} = \frac{1}{100} \text{ rad} \cong 6 \text{ dgon}$$

$$10^{-3} \text{ rad} = \frac{1}{1000} \text{ rad} \cong 6 \text{ centigon}$$

$$10^{-4} \text{ rad} = \frac{1}{10000} \text{ rad} \cong 6 \text{ milligon}$$

$$10^{-5} \text{ rad} = \frac{1}{100000} \text{ rad} \cong 6 \text{ dmgon}$$

VERIFICA e RETTIFICA nella LIVELLA

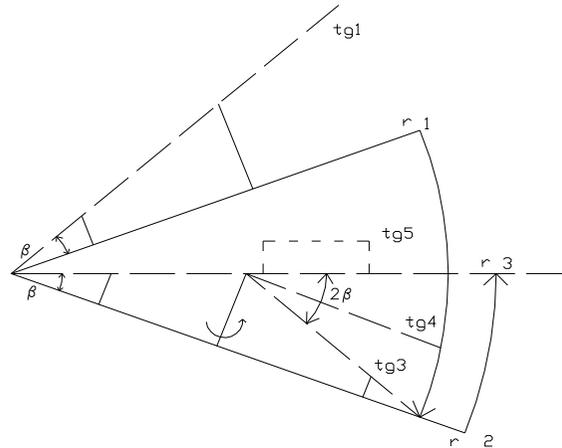


FIG. 9

Errore di centramento di una livella

V' = sensibilità della livella =

$$\frac{s}{R} = \frac{1 \text{ mm}}{r}$$

R = raggio di curvatura

$K = 0,2$ per livelle normali / $0,1$ per livelle a coincidenza

(Perché una livella abbia una sensibilità di $1''$ dovrebbe avere un raggio di curvatura $R = 206$ m: elevatissimo!)

SISTEMI DI LETTURA AI CERCHI

PER LA VALUTAZIONE DELLE FRAZIONI DI INTERVALLO

1o GRUPPO = la valutazione è effettuata con un semplice conteggio a stima.

- IL MICROSCOPIO A NOMIO

- IL MICROSCOPIO A STIMA

- IL MICROSCOPIO A SCALA

Limite max di precisione di lettura sui 15-30''

2o GRUPPO = la valutazione ricorre ad un sistema micrometro.

Si scende così a precisioni di lettura dell'ordine del 1'' e meno.

3° GRUPPO = lettura con sistemi digitali

ERRORI di LETTURA ai CERCHI

1) ERRORI DI COSTRUZIONE:

- Errore di lettura (cioè di stima o coincidenza)
- Errore di tracciamento della graduazione
- Errore d'eccentricità del cerchio

2) ERRORI DI RETTIFICA:

- AL CERCHIO AZIMUTALE:
- Errore di verticalità
 - Errore di inclinazione
 - Errore di collimazione

- AL CERCHIO ZENITALE:
- Errore di verticalità

ERRORE di ECCENTRICITA' dell'ALIDADA

Il centro del cerchio (cerchio di graduazione) è O; il centro dello strumento (punto d'incontro tra l'asse principale dell'alidada ed il cerchio) è invece O': si ha l'eccentricità "e".

L'angolo azimutale che si deve misurare è con i punti A e B: collimiamo quindi ad A (per semplicità di trattazione è posto nel prosieguo di OO') e quindi a B. L'angolo di cui ruota l'alidada (e che si vuole misurare) è α' ; l'angolo che invece leggiamo sul cerchio è α

Si potrebbe calcolare ε : $\text{sen} \varepsilon \cong \varepsilon = \frac{e}{r} \text{sen} \alpha$ $\alpha = L_B - L_A \neq \alpha'$ $\alpha' = \alpha + \varepsilon$

Si opera invece così: si fanno le letture diametralmente opposte e si fa la media.

$$\begin{aligned} \frac{L_B + L'_B}{2} - \frac{L_A + L'_A}{2} &= \frac{L_B + L'_B - L_A - L'_A}{2} = \frac{(L_B - L_A) + (L'_B - L'_A)}{2} = \\ &= \frac{\alpha + (\alpha + \pi + 2\varepsilon) - \pi}{2} = \frac{(\alpha' - \varepsilon) + (\alpha' - \varepsilon + \pi + 2\varepsilon)}{2} = \alpha' \end{aligned}$$

Come si vede, si è così eliminata l'influenza dell'errore ε .

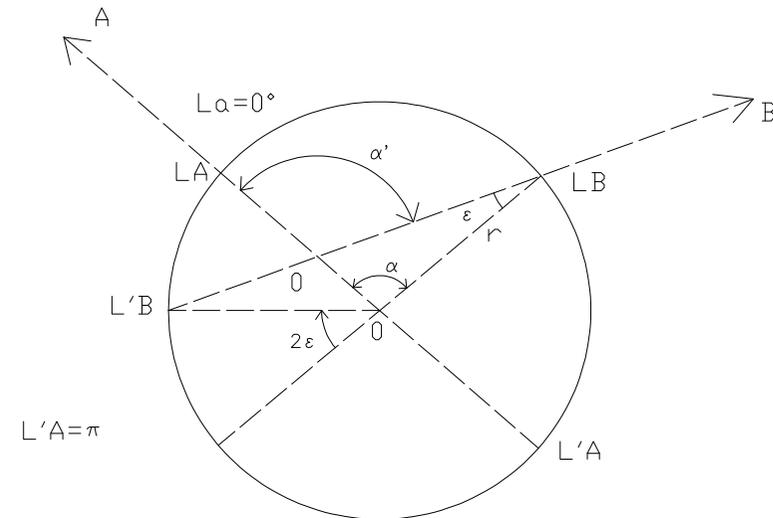


FIG.10

INFLUENZA degli ERRORI RESIDUI di RETTIFICA nelle MISURE di ANGOLI AZIMUTALI

In generale nelle misure di angoli si possono commettere **errori** di lettura, di trascrizione e di individuazione dei punti collimati. Alcuni di questi errori (lettura e trascrizione) si presentano più raramente da quando sono stati introdotti i sistemi automatici di registrazione delle letture

Si possono avere nello strumento “**errori di costruzione**” (ad esempio errore di tracciamento della graduazione del cerchio, errore di eccentricità del cerchio) .

Solo se il teodolite fosse perfettamente funzionante la misura dell'angolo azimutale consisterebbe nell' esecuzione di due letture sul cerchio orizzontale (punti avanti e indietro): questo semplice procedimento è adottato nei casi di misura di bassa precisione.

Ma in generale occorre tenere conto che in uno strumento messo in stazione sono presenti, oltre ad eventuali *errori di costruzione*, i **tre errori residui di rettifica**. Occorre quindi operare in maniera opportuna , per tenere conto di molti fattori.

Questi errori sono dovuti al non soddisfacimento delle condizioni a cui devono sottostare i tre assi fondamentali tra loro e in senso assoluto, nella messa in stazione: l'asse 1-1 deve essere verticale; l'asse 2-2 orizzontale e quindi normale a 1.1; l'asse 3-3 deve giacere su un piano normale all'asse 2-2. Esaminiamo i 3 errori, nel caso di loro indipendenza (piccoli errori).

Si ricorda che il cerchio azimutale è libero di ruotare, rispetto all'alidada; può però essere vincolato per alcune operazioni.

v = errore di verticalità, è l'angolo che l'asse *a1* forma con la verticale *v* nel punto di stazione *O*. Si trova che l'errore di lettura al cerchio che ne deriva vale:

$$\varepsilon_v = v \operatorname{tg} \alpha \operatorname{sen} A$$

A=angolo azimutale

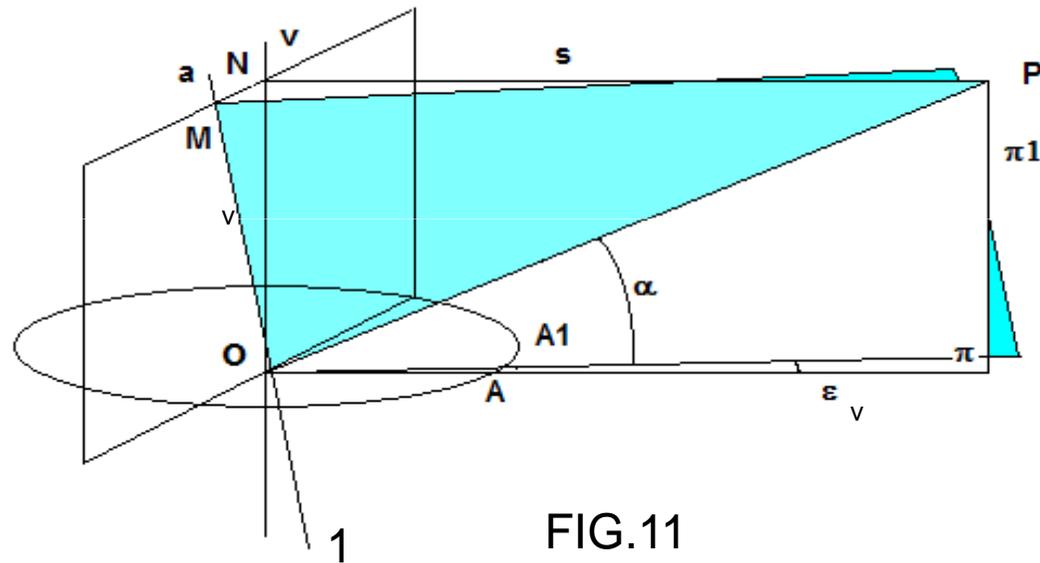


FIG.11

i = errore di inclinazione, è l'angolo che l'asse 2-2 forma con la normale all'asse a_1 :

Si ha un errore di lettura

$$\varepsilon_i = i \operatorname{tg} \alpha$$

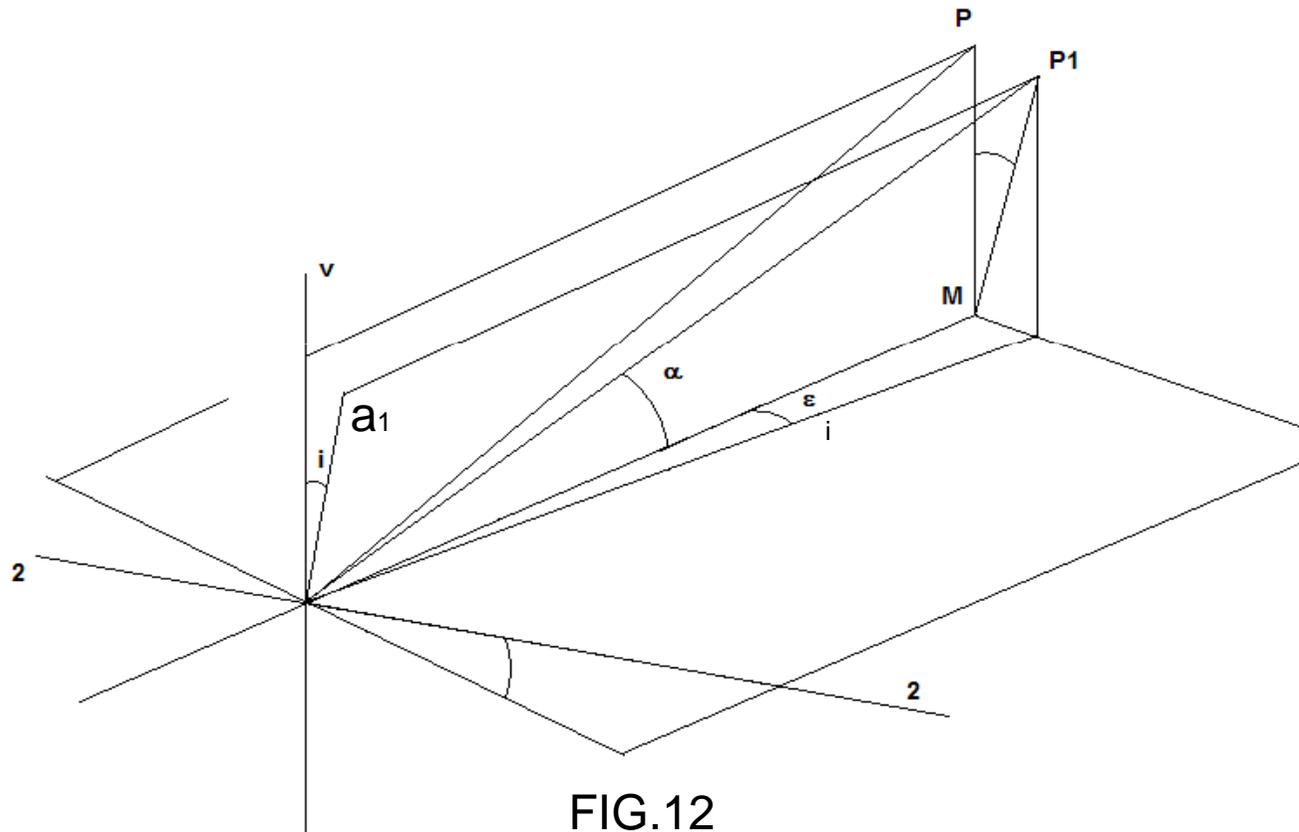


FIG.12

c = errore di collimazione, è l'angolo che l'asse 3-3 forma con il piano normale Π all'asse 2-2.

Si ha un errore di lettura

$$\varepsilon_c = c \sec \alpha$$

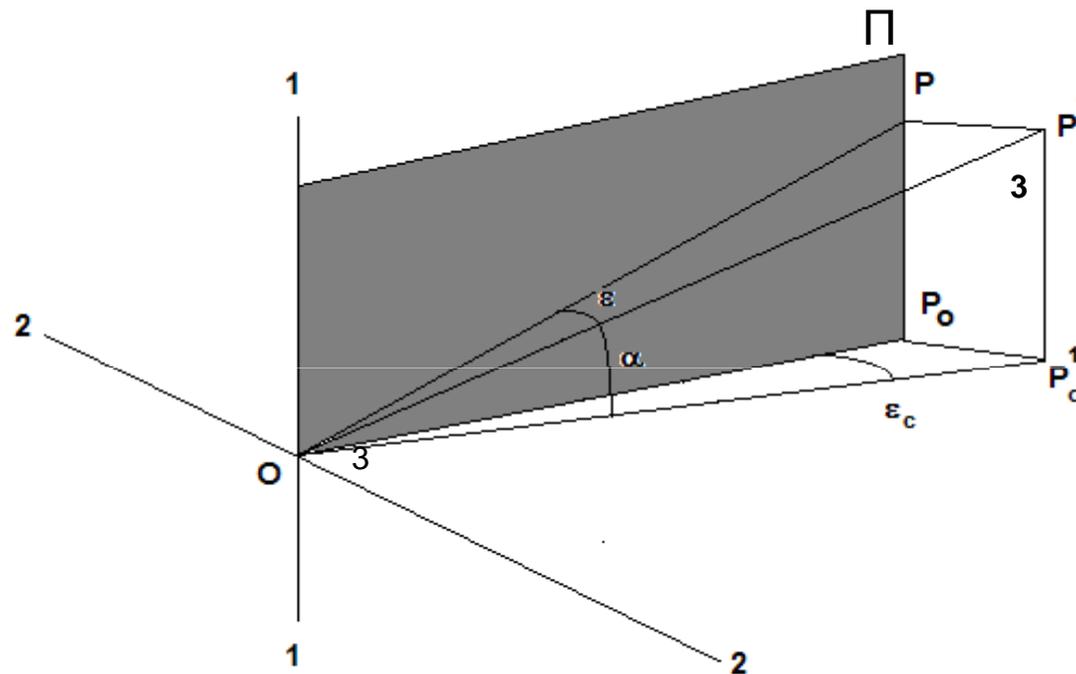


FIG.13

MISURE di DISTANZA ZENITALE

Si definisce distanza zenitale l'**angolo** formato tra l'asse verticale a-a e l'asse di collimazione del cannocchiale al punto A osservato (*angolo zenitale Z*)

Si ottiene utilizzando la formula sotto scritta:

Essendo :

S lettura, collimando A , con cerchio verticale a sinistra del cannocchiale

D lettura, collimando A , con cerchio verticale a destra del cannocchiale

Si ricorda che il cannocchiale è solidale con il cerchio zenitale

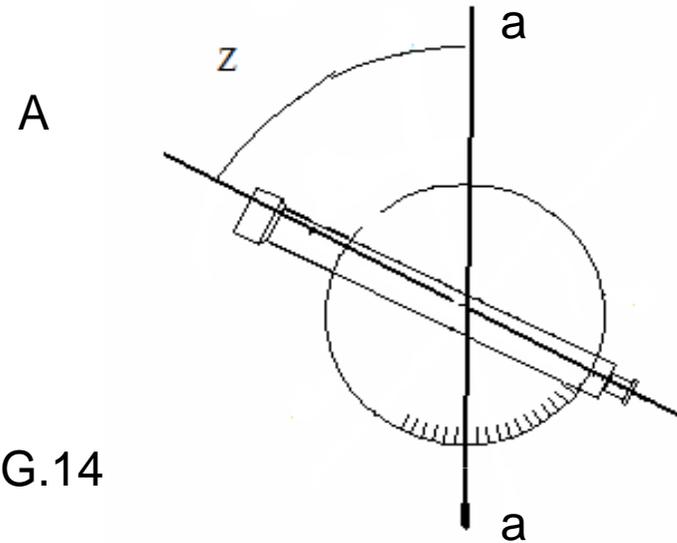


FIG.14

$$Z = \frac{400^{\circ} + S - D}{2}$$

La misura dell' angolo zenitale viene cioè ricavata utilizzando la formula :

$$Z = [(2\pi + Ls) - Ld] / 2$$

dove Z è l'angolo zenitale mentre S è l'angolo letto con il cerchio a sinistra (Ls) e D' l'angolo letto con il cerchio a destra dopo la rotazione dell'alidada di π e la ricollimazione ad A. (Ld) (fig.15)

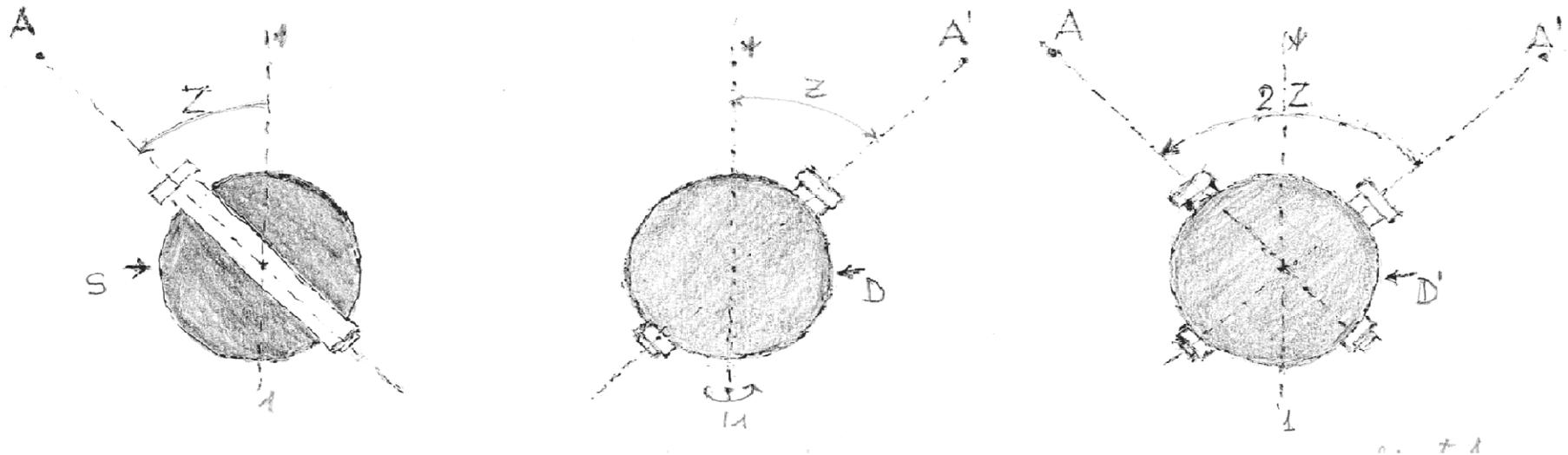


FIG. 15

ERRORI DI VERTICALITA'

Le letture fatte al cerchio a sinistra e al cerchio a destra non eliminano l'errore di verticalità v (nell'ipotesi che ci sia - fig.16 ; gli altri errori di rettifica hanno effetti trascurabili, nella misura di **angoli zenitali**).

Infatti in presenza di questo errore si ha:

$$S-D=2(z-v)$$

Per eliminare v si ricorre all'uso della *livella zenitale* o al *sistema di correzione a pendolo*, cercando cioè di disporre l'asse 1-1 lungo la verticale nelle due letture.

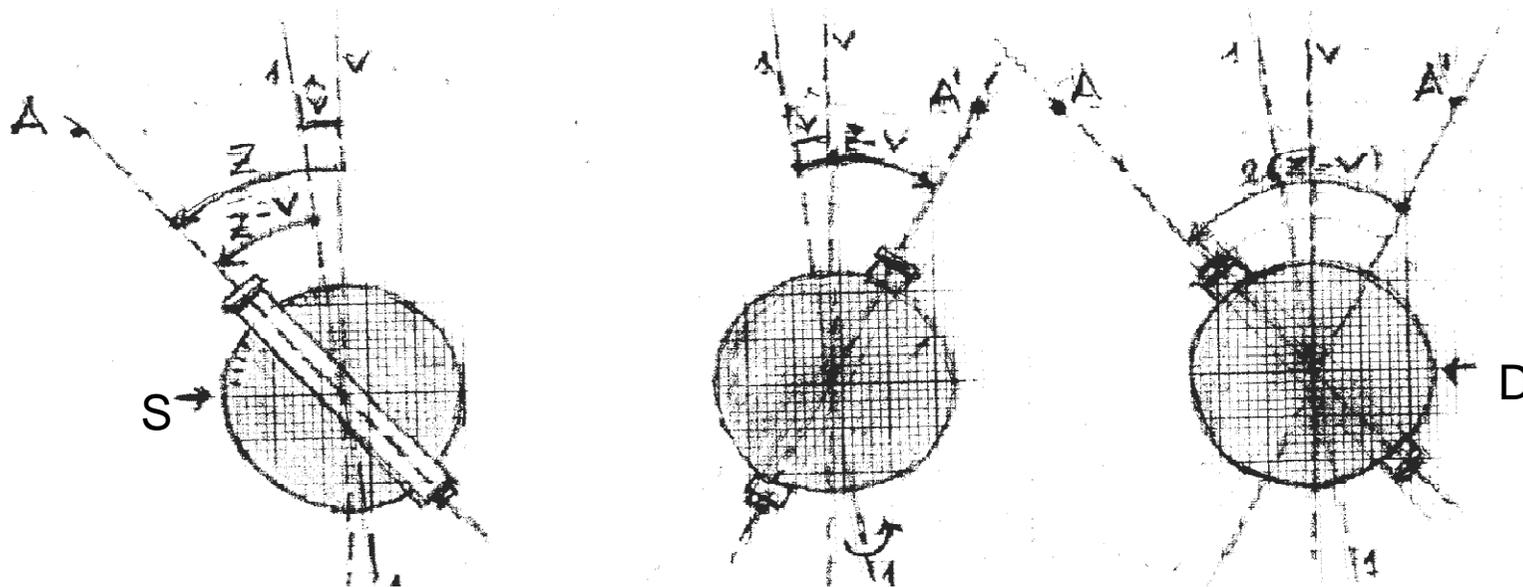


FIG.16

TEODOLITI ELETTRONICI

Si distinguono essenzialmente per il sistema di lettura usato:

1) SISTEMA DI LETTURA AI CERCHI :

- codificato;
- a lettura incrementale;
- altri criteri.

2) SISTEMI DI SENSORI ELETTRONICI DI INCLINAZIONE

- per l' eliminazione di errori residui di rettifica.

CERCHIO CODIFICATO

- Sul tratto del cerchio vengono riportati tratti complessi che esplorati ad es. da un diodo luminescente e da un fotodiodo, erogano un segnale binario ben preciso per ogni posizione. Ad una direzione corrisponde una lettura e l'angolo viene misurato per differenza di due letture successive.(fig.17).
- Esiste un problema nell'interpolazione delle letture: ad esempio, il lembo del cerchio può essere a doppia graduazione, sfalsata di metà intervallo.

Una lastra pian parallela, mossa da un piccolo servomotore, ruota sino a far sì che un tratto della graduazione esterna ne bisechi due della graduazione del lato opposto del cerchio: la rotazione conta le parti frazionarie dell'intervallo che sommate alla lettura intera in codice e trasformata in decimale, viene poi visualizzata.

Un micrometro comandato dalla lastra pian-parallela è diviso in un certo numero di parti, ad es. 1.250. Il cerchio sia invece diviso ad es. in 0,5 gradi : la risoluzione è quindi di circa 2 decimillesimi di grado (qualche secondo).

CERCHIO A LETTURA INCREMENTALE

- Sul lembo del cerchio sono riportati con metodi fotolitografici alternativamente tratti trasparenti e tratti opachi, senza l'aggiunta di alcuna indicazione numerica. Sopra di essi si trova un diodo luminescente e sotto nello stesso asse, un sensore (fotodiodo), che genera o meno un segnale elettrico a seconda che la luce passi o meno attraverso i campi trasparenti e opachi. Il fotodiodo ha larghezza equivalente al campo ed è usato come indice.
Ruotando il cerchio si genera una successione di segnali che permette il conteggio degli intervalli tra direzione di partenza e di arrivo (angolo di rotazione) (fig.10).
- Interpolazione: siano stati riportati sul cerchio ad es. 12.500 tratti, l'intervallo vale quindi $4.000.000:12.500 = 320^{\text{cc}}$. Facendo le letture diametrali si ha un intervallo $320:2 = 160^{\text{cc}}$. Si può sovrapporre alla graduazione del cerchio un'altra graduazione, detta di lettura. Le due immagini ingrandite, danno luogo ad una serie di "righe moirè" per cui trasformando i segnali ottici in elettrici si ottiene un'ulteriore riduzione a 80^{cc} e con altro circuito ripartitore si può giungere ad es. a risoluzioni di 10^{cc} , ecc.
- Si richiedono sempre più soluzioni tecnologiche avanzate.

ALTRE SOLUZIONI di LETTURA ELETTRONICA

- Si trasforma ad esempio la successione di 10.000 segnali duali in segnali elettrici sinusoidali; si proiettano sulla parte opposta del lembo del cerchio, sfalsati di un mezzo intervallo, ottenendo perciò 20.000 periodi, con lunghezze ciascuno di 200^{cc}.
Combinando due segnali *seno-coseno* si ottengono 4 intervalli di 200:4=50^{cc}.
Con un particolare circuito si trasformano le sinusoidali in segnali triangolari con vertici distanti 25^{cc}.
Si possono ripartire i segnali triangolari in 5 impulsi, ognuno dei quali vale quindi 5^{cc} e li si fanno conteggiare da un adatto circuito di lettura.
- Esistono e vengono via via sviluppati altri sistemi con risoluzione sempre più elevata, tale da soddisfare anche le più raffinate moderne esigenze (sia nei cerchi azimutali che zenitali) .

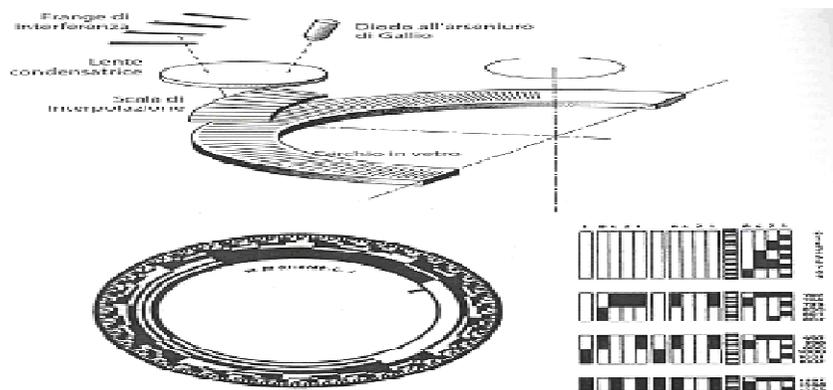
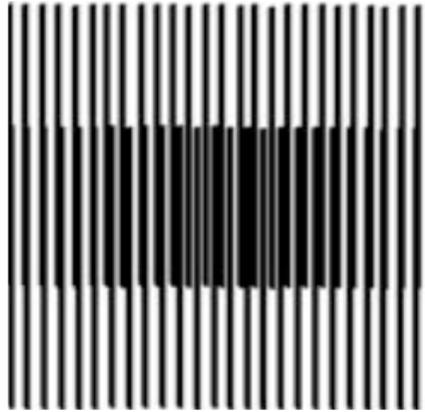


Figura 4.37 In alto: cerchio incrementale (WIKI); sotto, cerchio codificato (Hewlett-Packard)

Schema di un cerchio a lettura incrementale.

FIG. 17

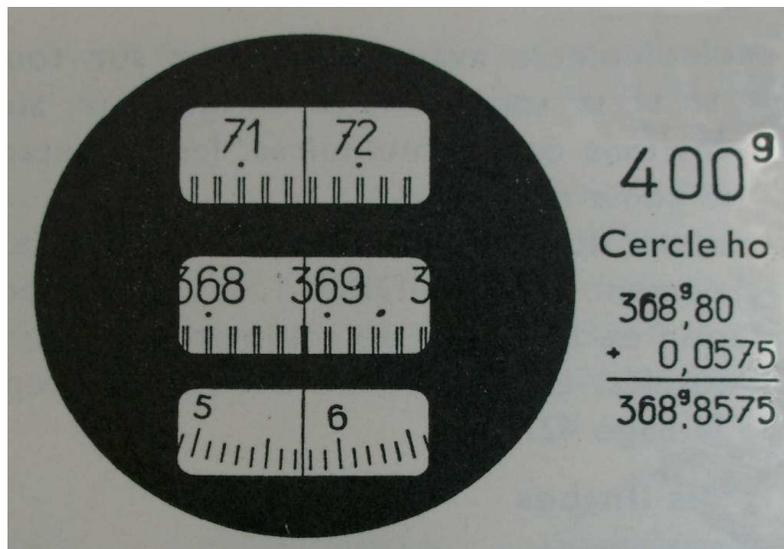
Cerchio codificato



Righe di moirè.

Metodo di interpolazione per sovrapposizione di una immagine “di lettura” alla graduazione del cerchio.

FIG.18



Sistema di lettura tradizionale con **microscopio a scala**; la lettura è la somma del valore della scala principale più quello del reticolo.

FIG.19

Lecture tradizionali

IMMAGINI di un TEODOLITE ELETTRONICO (fig.20) e di una STAZIONE TOTALE (fig. 21)



FIG.20

Stazione totale:
è un teodolite elettronico che comprende all'interno del sistema, un distanziometro (cioè misuratore di distanze).



FIG. 21

FIG.22

LEICA TPS1200
Prestazioni straordinarie ed eccezionali caratteristiche

- **EDM rapido, preciso, con lunga portata**
 EDM coassiale di elevata precisione con varie modalità di misura. Portata di 3 km con un solo prisma.
- **Pin Point – EDM senza riflettore**
 Uno spot realizzato con laser rosso visibile coassiale, molto piccolo e con una sensazionale portata (fino a 500m). Sono eseguibili misure di spigoli di fabbricati e oggetti inaccessibili. Sono disponibili opzionalmente due portate: R100 e R300.
- **Batteria plug-in agli ioni di Litio**
 Una batteria plug-in agli ioni di Litio, leggera, piccola e ad alta capacità alimenta il TPS1200 per ore e ore.

LEICA SYSTEM 1200

- **Misure angolari con alta tecnologia**
 Un sistema di misura angolare assoluto di alta precisione. La precisione può essere scelta da 1 a 5 secondi.
- **Viti micrometriche senza fine**
 Per una confortevole, rapida funzionalità e un puntamento preciso.
- **Piombino laser**
 Per centrare il TPS1200 con facilità, rapidità e precisione.
- **Radio modem**
 Trasferisce i dati in tempo reale e con affidabilità fra il TPS1200 e l'unità di controllo remoto.



Leica SmartStation
Stazione Totale con GPS integrato

Nuovo e rivoluzionario sistema di misurazione.
 Per la prima volta al mondo, TPS e GPS perfettamente integrati. Elevate prestazioni della Stazione Totale con potente ricevitore GPS.

Non necessita di punti di controllo, poligonali o intersezioni.
 È sufficiente avviare SmartStation e lasciare che il GPS determini la posizione. Quindi misurare e tracciare con la Stazione Totale.

Il rilievo si realizza semplicemente, velocemente e con pochi passaggi.
 È possibile utilizzare il TPS e il GPS separatamente.

Si posiziona la SmartAntenna sulla palaia come un normale rover RTK.
 Si utilizza il TPS come una normale Stazione Totale. Il design modulare della SmartStation permette ogni tipo di opzione.

Si può intraprendere qualsiasi tipologia di lavoro.
 Si risparmiano tempo e denaro. Aumentano i profitti e la produttività. Tutte le Stazioni Totali TPS1200 possono essere upgradeate a SmartStation.

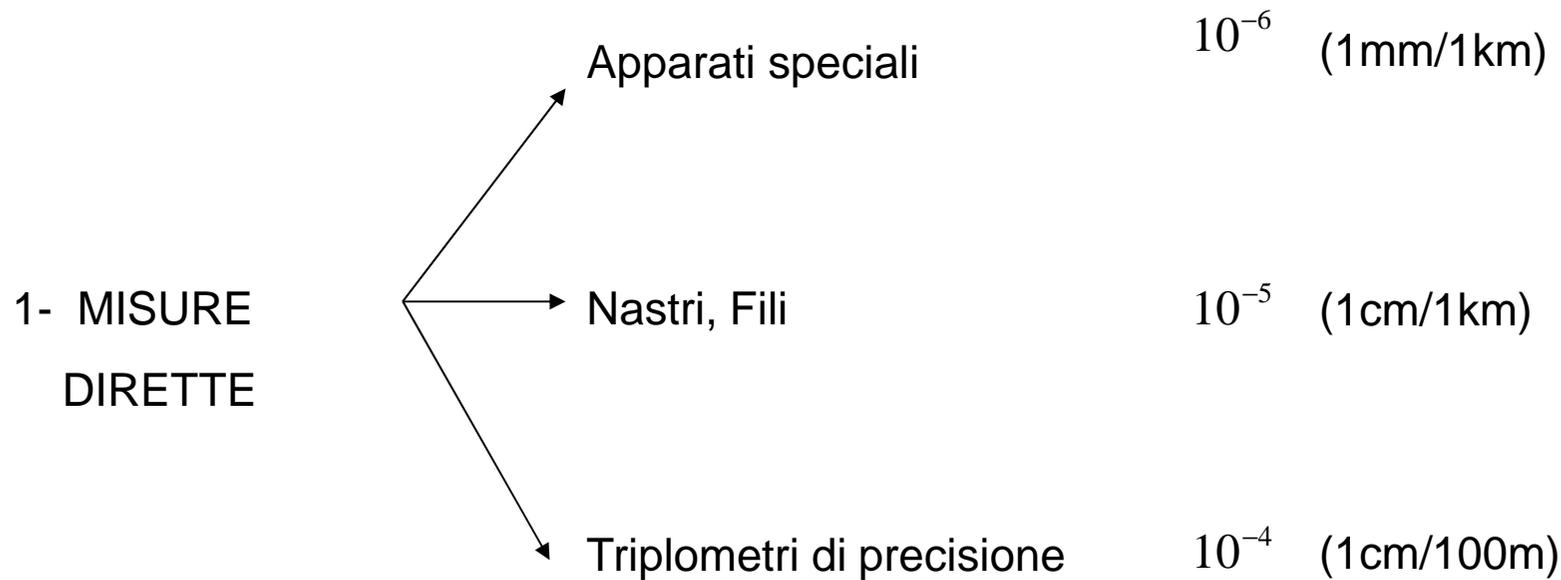
WORKING TOGETHER
FUNCTION
LEICA SYSTEM 1200



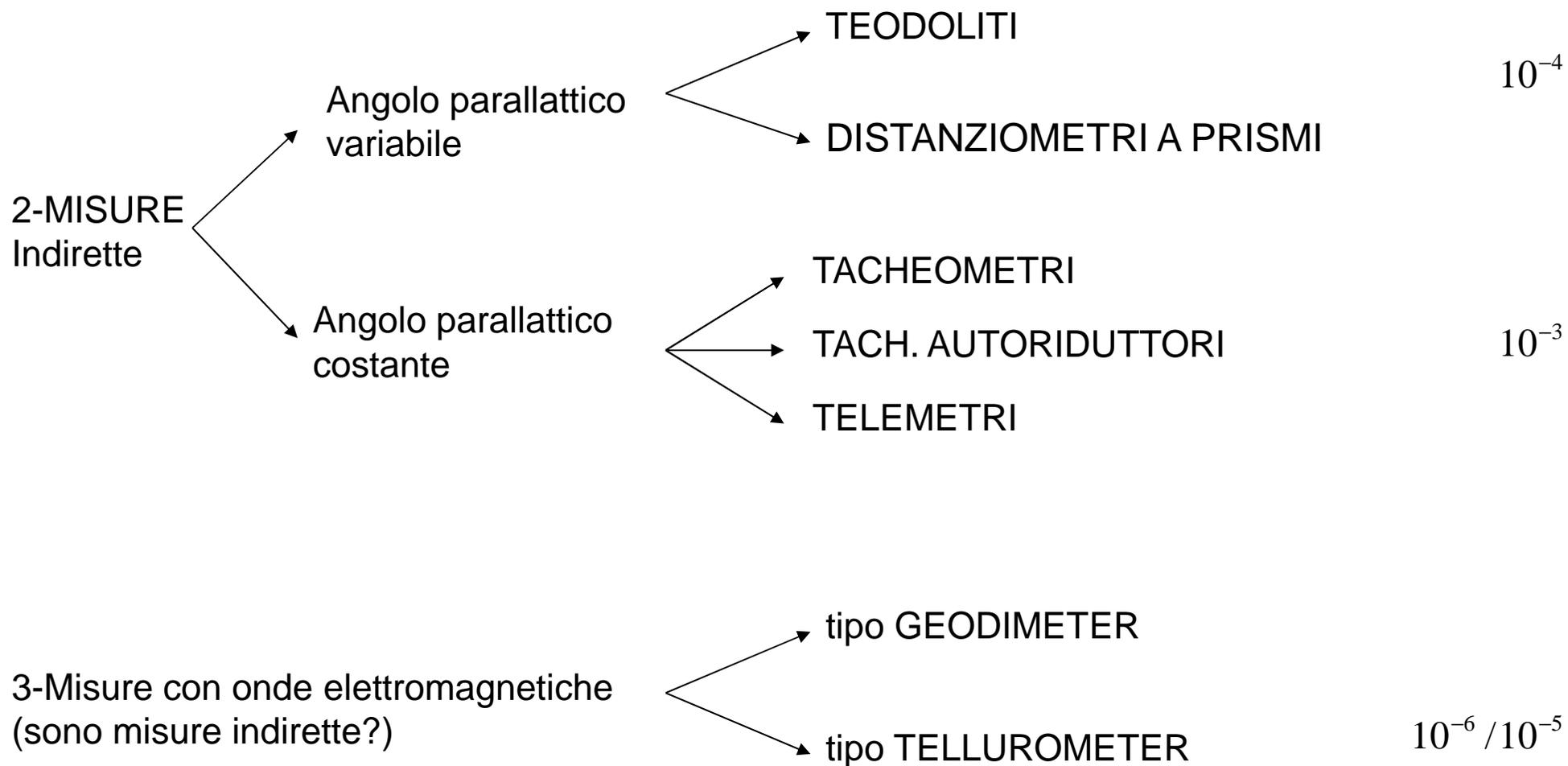
Esempio di Stazione totale , distanziometro e G. P. S. integrati

Cenno ai giroscopi geodetici . Si tratta di un corpo che viene fatto ruotare attorno ad un asse, con altissima velocità angolare, asse che viene costretto a rimanere in un piano orizzontale. Per effetto del vincolo e della rotazione terrestre, l'asse è sollecitato da un momento che si annulla solamente se l'asse è diretto nella direzione del meridiano. Ciò permette, dopo alcune oscillazioni, la individuazione della direzione del Nord geografico e se lo strumento è collegato ad un teodolite, questo può permettere la determinazione dell'azimut geografico di punti (ricordiamo che si definiscono anche l'azimut astronomico e magnetico).

2-MISURA delle DISTANZE



(Vengono indicate le precisioni relative)



Per le **distanze** si nota che misuriamo porzioni di rette che uniscono 2 punti. Ma se i punti sono su una superficie, l'unione dei punti sulla superficie è una *curva*. **Noi non misuriamo** linee curve: si parla però di misure di *distanze geodetiche* e di *archi di sezioni normali*, ma sono sempre quantità non misurate ma **calcolate**.(vedi teoremi di Geodesia operativa).

RIDUZIONE DISTANZE OBLIQUE al GEOIDE

Si pone:

$$K = R \sqrt{\frac{[L - (Q_b - Q_a)][L + (Q_b - Q_a)]}{(R + Q_a)(R + Q_b)}}$$

K = corda

Essendo :

$$1/R = (\cos^2\alpha)/\rho + (\sin^2\alpha)/N$$

Si ottiene:

$$s = K \left[1 + \frac{K^2}{24R} + \frac{3K^4}{640R^4} + \dots \right]$$

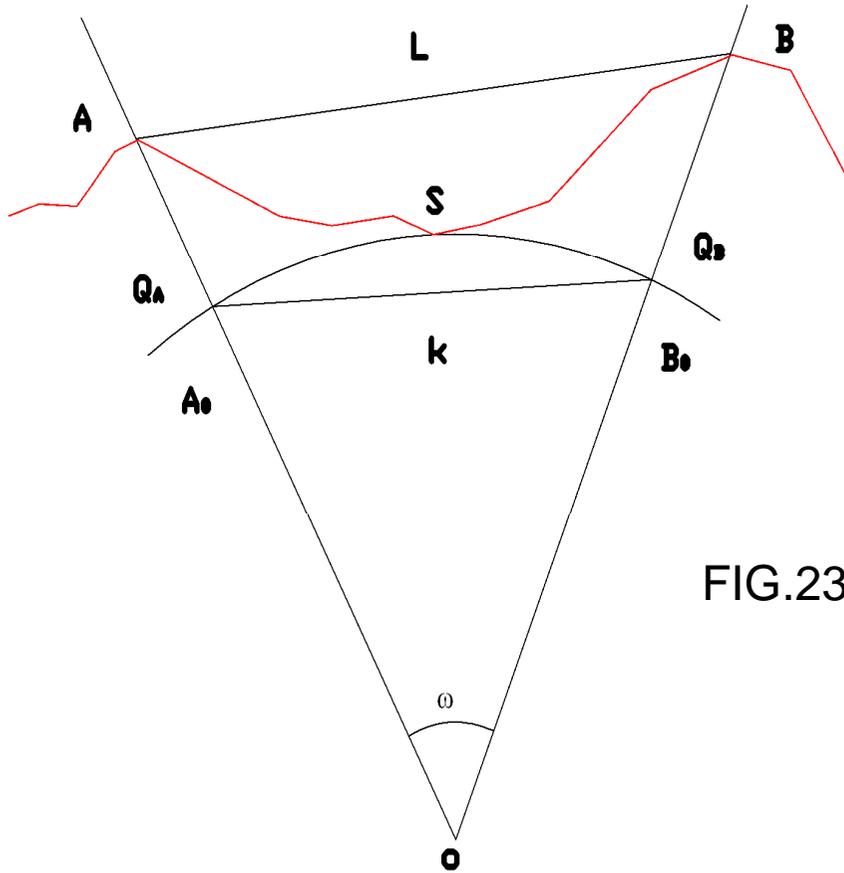


FIG.23

La riduzione delle distanze alla superficie di riferimento è essenzialmente eseguita nei rilievi a scopo cartografico.

RIDUZIONE di DISTANZE alla SUPERFICIE di RIFERIMENTO (ellissoide)

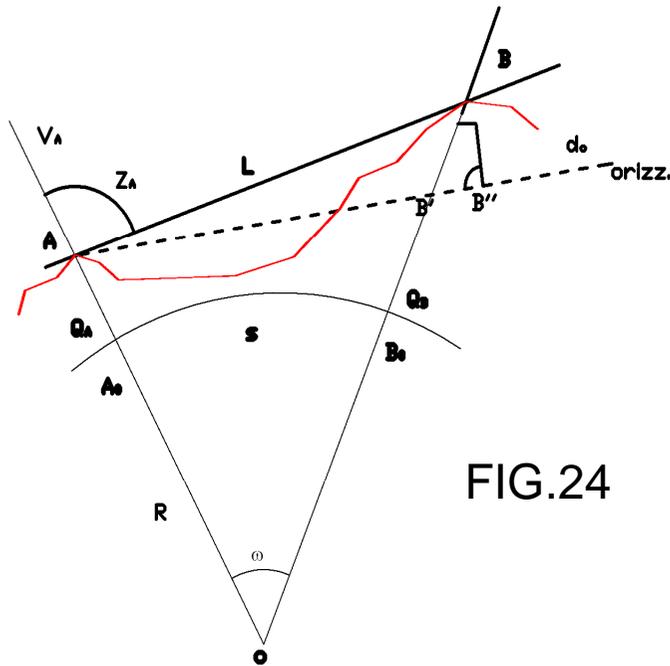


FIG.24

$$AB'' = d_0$$

$$B'B'' = \Delta = \text{correzione di convergenza}$$

$$AB' = d_0 - \Delta \quad d_0 = L \cdot \text{sen} Z_A$$

$$s = R \cdot \omega = R \cdot \text{arctg} \frac{d_0 - \Delta}{Q_A + R}$$

$$\Delta = BB'' \cdot \text{tg} \omega = L \cos Z_A \cdot \text{tg} \omega = L \cos Z_A \frac{d_0 - \Delta}{Q_A + R} = \frac{L \cos Z_A \cdot d_0}{Q_A + L \cos Z_A + R}$$

$$\Delta \cong \frac{d_0^2 \cdot \cot g Z_A}{R}$$

Se:

$d_0 \leq 30m$ e la precisione relativa è di 10^{-6} , anche con forti dislivelli, Δ è trascurabile.

$d_0 \leq 300m$ e la precisione relativa è di 10^{-5} , Δ è trascurabile.

Se:

$d_0 \leq 3km$ e la precisione relativa è di 10^{-4} , Δ è trascurabile.

$$s \cong R \cdot \frac{d_0 - \Delta}{Q_A + R} = \frac{d_0 - \Delta}{1 + \frac{Q_A}{R}} = (d_0 - \Delta) \left(1 - \frac{Q_A}{R} \right)$$

$$s \cong (d_0 - \Delta) - (d_0 - \Delta) \frac{Q_A}{R} = (d_0 - \Delta) \left(1 - \frac{Q_A}{R} \right)$$

Da ciò possiamo capire che, ad esempio, per $d_0 \cong 1km$

e con precisione relativa di 10^{-6}

(ad esempio usando per le misurazioni strumenti ad onde) Δ vale circa 3 cm :
questo è un valore non trascurabile ed occorre tenerne conto.

Metodi diretti: un tipo di basimetro



FIG.25

-INFLUENZA TEMPERATURA:

acciaio:coeff. di dilatazione: 1/100 mm/m°C la temperatura deve essere letta con l'approssimazione di 0,1°C;

invar: coeff. di dilatazione: 1/1000 mm/m°C

-VARIAZIONI DI TENSIONE DEL NASTRO:

$\varepsilon = \text{allungamento} = P/EA$

per $E=20.000 \text{ kg/mm}^2$ $A=2\text{mm}^2$ $P=1\text{kg}$

$\varepsilon = 0,25 \times 10^{-4}$ cioè 2,5 centesimi di millimetro per ogni metro di lunghezza e per ogni kg di peso.

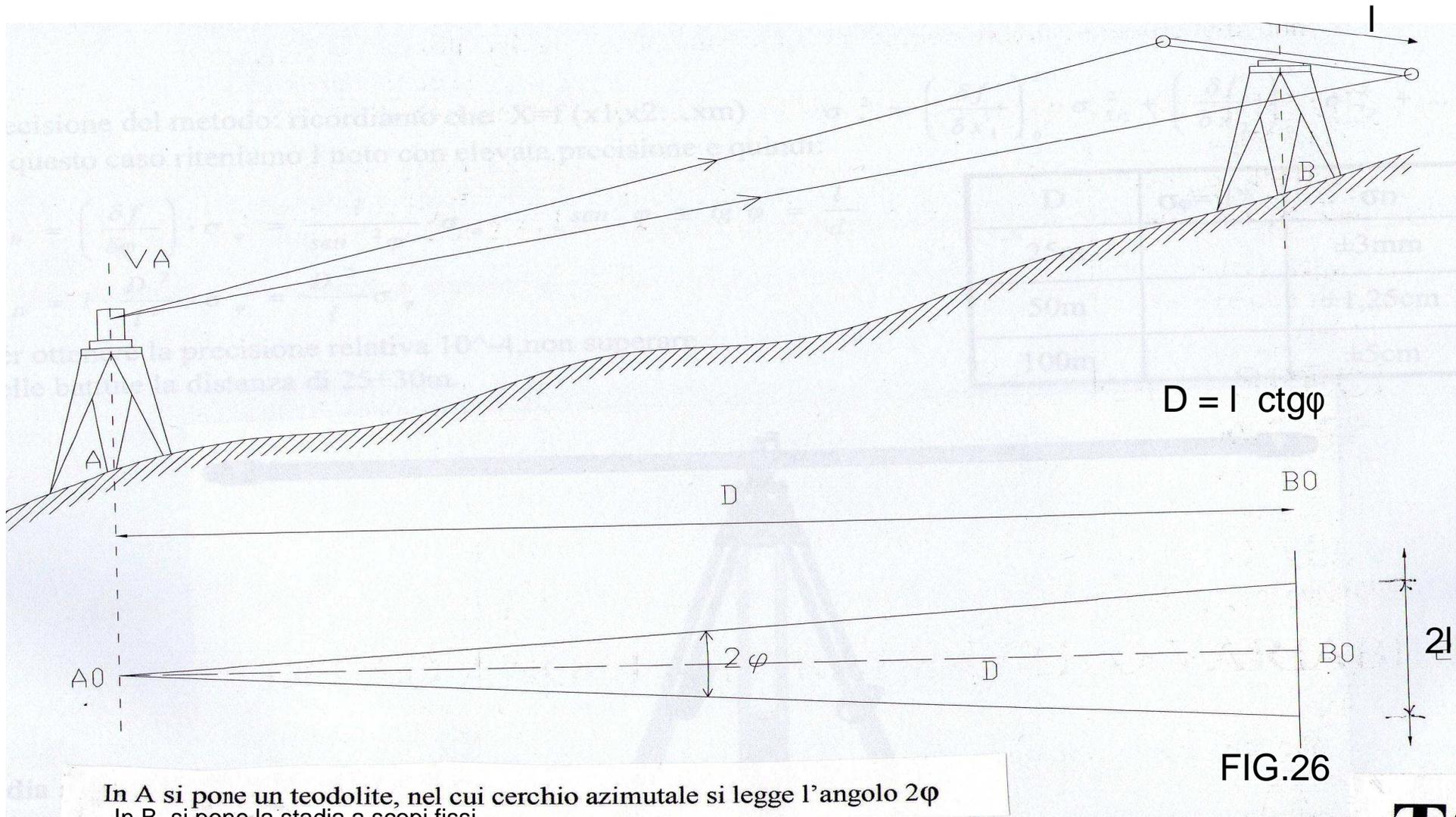
$$C = l - \frac{p^2 l^3}{24p^2} + \frac{lP}{EA}$$

C=corda l =lunghezza del filo

P=peso p =peso del filo per metro

A=area filo E=modulo elastico

Metodi indiretti: ad angolo parallattico variabile



Precisione del metodo: ricordiamo che $X=f(x_1, x_2 \dots x_m)$

$$\sigma_x^2 = \left(\frac{\delta f}{\delta x_1} \right)_0^2 \cdot \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta x_2} \right)_0^2 \cdot \sigma_{x_2}^2 + \dots$$

In questo caso riteniamo l noto con elevata precisione e quindi:

$$\sigma_D = \left(\frac{\delta f}{\delta \varphi} \right) \cdot \sigma_\varphi = \frac{l}{\sin^2 \varphi} \cdot \sigma_\varphi \quad \text{sen } \varphi \cong \text{tg } \varphi = \frac{l}{d}$$

$$\sigma_D = l \cdot \frac{D^2}{l^2} \cdot \sigma_\varphi = \frac{D^2}{l} \sigma_\varphi$$

Per ottenere la precisione relativa 10^{-4} , non superare nelle battute la distanza di 25÷30m.

D	$\sigma_\varphi = 1''$	σ_D
25m		±3mm
50m		±1,25cm
100m		±5cm

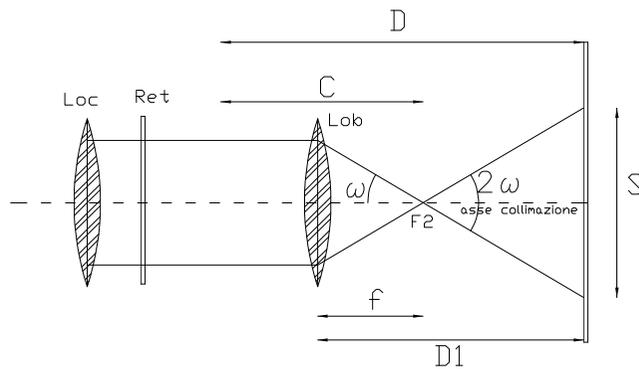


Stadia a scopi fissi in invar da 2 m

FIG.27

ANGOLO PARALLATTICO COSTANTE

a) TACHEOMETRO con asse di collimazione orizzontale e stadia verticale. (Teorema di Reichembac)



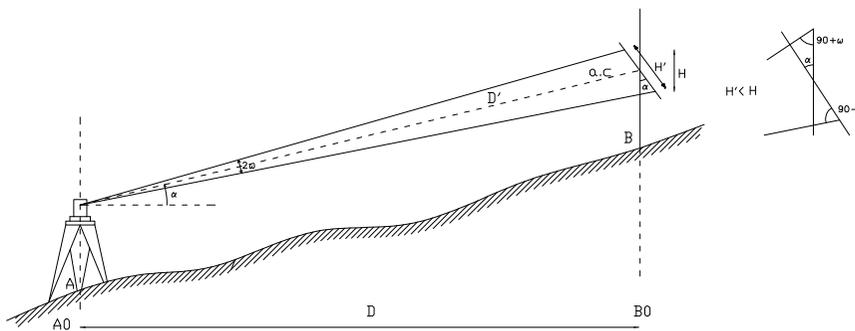
$$D_1 = K \cdot S = \frac{f}{h} S$$

$$D = D_1 + c$$

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{h/2}{f} = \frac{1}{2K}$$

c = distanza centro strumento-fuoco

b) TACHEOMETRO con asse di collimazione inclinato e stadia verticale.



$$D = D' \cdot \cos \alpha$$

$$H' \cong H \cdot \cos \alpha$$

$$D = K \cdot H \cdot \cos^2 \alpha$$

essendo $\frac{\operatorname{sen}^2 \alpha}{4K} \cdot H$ (10 cm)

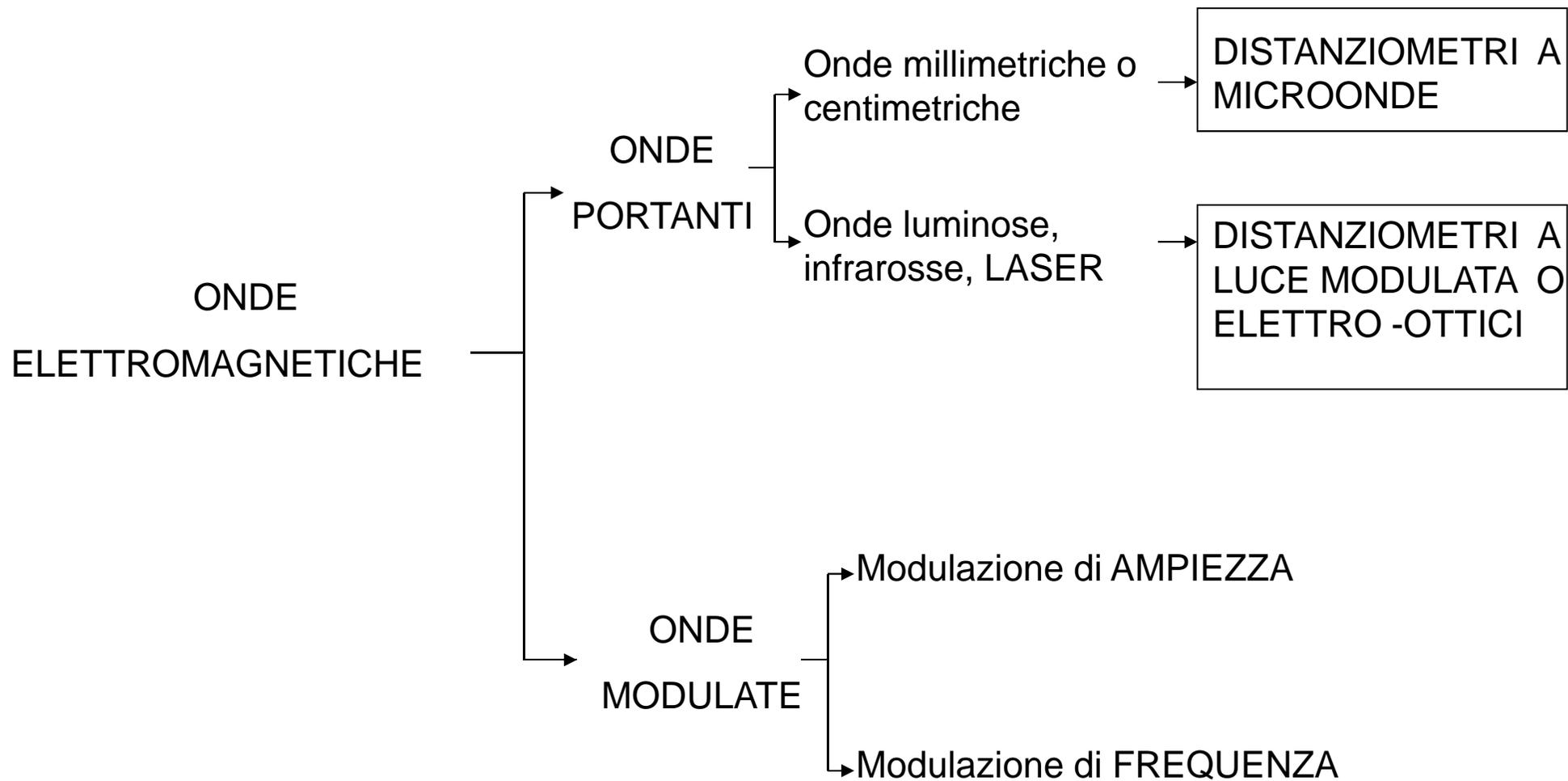
(In questa formula si è trascurato il termine sopra scritto)

FIG. 28

ONDE ELETTROMAGNETICHE

		λ	f
•ONDE LUNGHE:	lunghe	30-2 km	
	lunghe	2000-600 m	
	medie	600-200 m	
•ONDE CORTE:	limite	200-100 m	1500-3000 kHz
	corte	100-10 m	3-30 MHz (H.F.)
•ONDE ULTRACORTE:	metriche	10-1 m	30-300 MHz (V.H.F)
	microonde:	decimetriche	0,3-3 GHz (U.H.F.)
		centimetriche	3-30 GHz (S.H.F.)
		millimetriche	30-300 GHz (E.H.F)
LUCE VISIBILE		$4 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-7}$ cm	$(4 - 7) \cdot 10^{14}$ Hz

Le **onde lunghe** di notte sono assorbite dall'atmosfera e di giorno dallo strato D ; le **onde corte** vengono riflesse sia di giorno che di notte; le **onde ultracorte** attraversano la ionosfera.



EQUAZIONE FONDAMENTALE dei DISTANZIOMETRI a ONDE e.m.

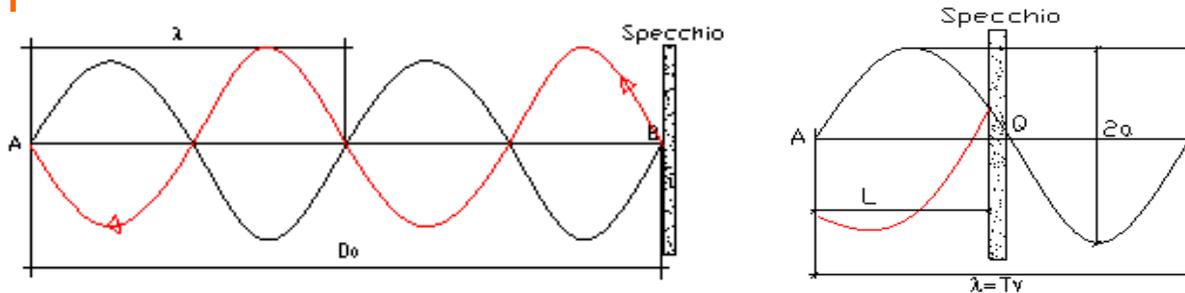
Lo strumento che misura la differenza di fase tra due onde è chiamato *discriminatore* di fase.

$$D = D_0 + L \quad D_0 = n\lambda = n' \frac{\lambda}{2} \quad n' = 2n$$

$$a = \text{ampiezza} \quad L = \overline{AQ} < \frac{\lambda}{2}$$

$$\omega = \text{pulsazione} = \frac{2\pi}{T}$$

$$\varphi_0 = \text{fase iniziale (per } t=0)$$



$$\lambda = v/f \quad f = 1/T$$

FIG.29

$$v = \text{velocità onda} \cong 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1} \quad T = \text{periodo} = 1/f$$

n = numero intero di mezze lunghezze d'onda

$$s_e = a \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi_0) \quad s_r = a \cdot \text{sen}[\omega(t - \Delta t) + \varphi_0] = a \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi_0 - \varphi)$$

$$\text{essendo } \varphi = \text{sfasamento} = \omega \cdot \Delta t = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{2L}{v} \quad \text{da cui } L = \frac{\varphi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Differenza di fase=0 accordo; se=±90° quadratura; se =±180°
in opposizione;
Se = 2 k Π apparente accordo di fase; se >0 c'è anticipo.

$$D = n \frac{\lambda}{2} + \frac{\varphi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} = \left(n + \frac{\varphi}{2\pi} \right) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

DETERMINAZIONE di n

$$D = L_1 + n \frac{\lambda_1}{2}$$

$$D = L_2 + n \frac{\lambda_2}{2}$$

$$\frac{D = L_1 + n \frac{\lambda_1}{2}}{D = L_2 + n \frac{\lambda_2}{2}} \quad \text{da cui} \quad n = \frac{L_1 - L_2}{\lambda_1/2 - \lambda_2/2}$$

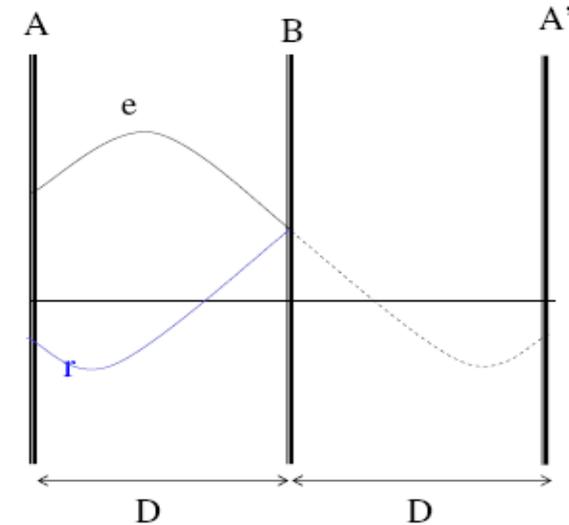


FIG.30

La massima variazione di n è $= \frac{3\sqrt{2} \cdot \sigma_L}{\lambda_{1/2} - \lambda_{2/2}}$ e non deve superare 0,1-0,2

σ_L vale (1/2-2) cm = $\delta L / \delta \varphi \cdot \delta \varphi$ $\delta \varphi = (1/1000 \text{ o } 1/2000) 2\pi = 0,00314 \text{ rad}$

n è ricavato nell'ipotesi che il numero di mezze lunghezze d'onda nella distanza D sia lo stesso per le due onde (λ_1, λ_2)

DETERMINAZIONE DISTANZA LIMITE

Date due onde con lunghezze λ diverse si ricava la distanza limite alla quale il numero intero di mezze lunghezze d'onda rimane uguale, a meno di 1 ,cioè (FIG.31)

$$D_{\text{lim}} = n^* \frac{\lambda_1}{2}$$

$$D_{\text{lim}} = (n^* + 1) \frac{\lambda_2}{2}$$

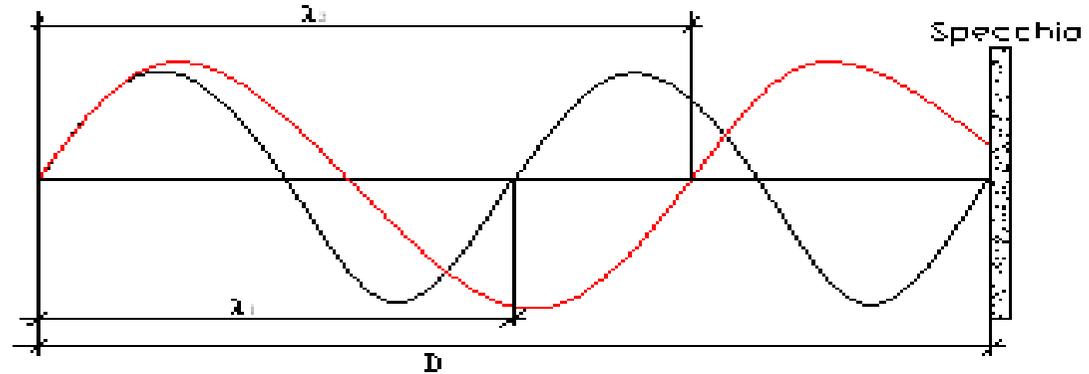


FIG.31

Da cui
$$n^* = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

e quindi

$$D_{\text{lim}} = n^* \frac{\lambda_1}{2} = \frac{\lambda_2 \frac{\lambda_1}{2}}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

Ricordiamo che $\sigma_\varphi = (1/1.000 - 1/2.000)2\pi = 0,00314$ rad

$$\sigma_L = \frac{\partial L}{\partial \varphi} \sigma_\varphi = \left(\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} \right) \sigma_\varphi = (1/1.000 - 1/2.000) \frac{\lambda}{2}$$

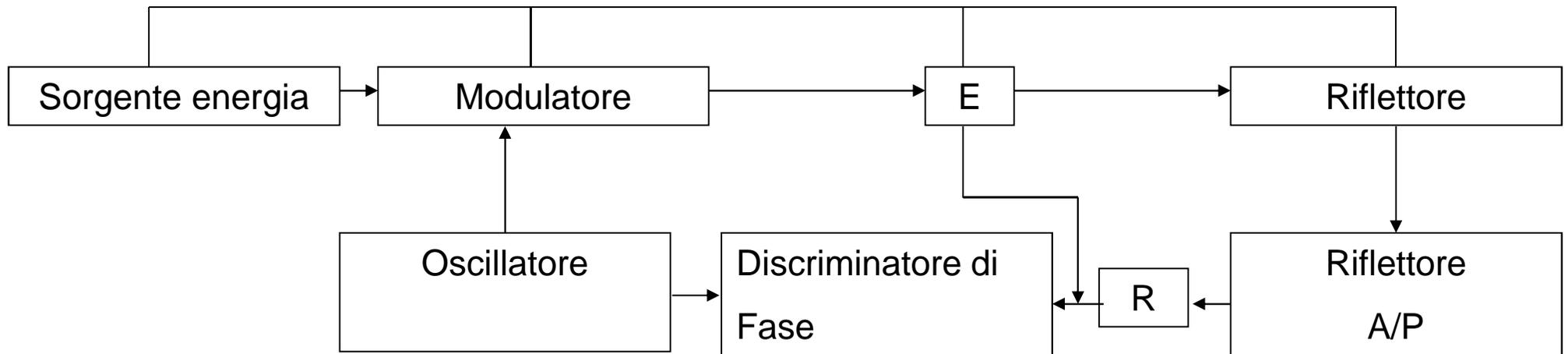
per $\lambda = 10m$
 $= 60 m$

$$\sigma_L = \pm(2,5 - 5)mm$$

$$= \pm (1,5 - 3) cm$$

DISTANZIOMETRI

Schema a blocchi



E = emettitore

R = ricevitore
Rf =riflettore

Rifl. A= attivo (strumenti a microonde)
Rifl.P=passivo (strumenti elettro-ottici)

1-METODO con SISTEMA per DECADI

Viene emessa la radiazione fondamentale generata da un quarzo con frequenza di 15 MHz (corrispondente a $\lambda=20\text{m}$): lo strumento valuta al millesimo la parte della distanza inferiore a 10 m (ad es. 8,37 e cioè sino al cm).

Si invia la *seconda frequenza* (si divide per 100 la precedente e quindi si hanno 150 KHz, corrispondente a $\lambda=2000\text{ m}$) e si misura dal suo sfasamento l'intera distanza (se inferiore ad 1 km, ad es. 879 m).

Uno speciale circuito sommerà la parte **grossa** della distanza (879m) con la parte **fine** (8,37m), visualizzando il valore finale 878,37 m.

Se invece la distanza è più grande (ma inferiore a 10 km), si aggiunge una *terza frequenza* di 15 KHz (corrispondente a $\lambda=20.000\text{ m} = 20\text{ km}$) capace di fornire il valore dei chilometri e degli ettometri.

2-METODI ad IMPULSO

Richiede la misura accurata del tempo t richiesto da un piccolo impulso (ad esempio di radiazione laser) per andare dallo strumento di misura al prisma e quindi tornare indietro. Questo metodo è usato per misurare sia piccole che grandi distanze.

La risoluzione di uno strumento ad impulsi è governata dalla lunghezza dell'impulso emesso e dal grado di determinazione del centro dell'impulso di ritorno (che può risultare abbastanza distorto). La risoluzione di 1 m in una singola misura richiede precisione di misura nel tempo di $3 \cdot 10^{-9}$ sec. La risoluzione per 1 cm in una singola misura richiede precisione di misura nel tempo di $3 \cdot 10^{-11}$ sec. La **risoluzione per 1mm** in una singola misura richiede precisione di misura nel tempo di $3 \cdot 10^{-12}$ sec.

Si richiede un oscillatore al quarzo molto preciso e stabile per controllare la misura del tempo trascorso, che è alla base del metodo.

Il LASER (Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adation) è un apparato che emette una radiazione che è più intensa, monocromatica, coerente e direzionale rispetto alla luce emessa da sorgenti convenzionali (ad esempio lampade ad incandescenza).

Ogni laser consiste di tre parti fondamentali:

- Il materiale attivo che è la sorgente della radiazione;
- la sorgente “pompante” che fa partire ed attiva la radiazione laser;
- due specchi, uno argentato e l'altro parzialmente argentato, che sono parte integrante del laser.

A seconda del materiale attivo usato si hanno i seguenti tipi:

- gas laser (ad esempio He-Ne, CO₂);
- laser a stato solido (ad esempio laser al rubidio Al₂O₃);
- laser a semi-conduttore (ad esempio con diodo all'arseniuro di gallio GaAs);
- laser a liquido (ad esempio con materiale organico colorante).

II PRISMA RIFLETTORE

Il prisma riflettore è uno strumento essenziale nell'utilizzo dei distanziometri con laser ed emettitori ad impulso. La superficie riflettente dell'onda elettromagnetica può essere costituita da uno o più prismi (a seconda della distanza da misurare e dalla potenza dell'emettitore); nel caso di strumenti ad impulsi si possono usare anche speciali catarifrangenti o segnali riflettenti od infine nulla, se non la superficie stessa dell'oggetto.

Il motivo dell'uso dei prismi è semplice: ridirigere la maggior parte del segnale verso l'EDM (ciò avverrebbe solo in piccola parte, utilizzando specchi o altri mezzi).

Il principio di funzionamento del prisma permette infatti di ridirigere un fascio di luce parallelamente alla direzione di incidenza. Il prisma più semplice si ottiene tagliando uno spigolo di un cubo di cristallo con un piano di taglio normale alla diagonale del cubo. Il numero di prismi necessario ad assicurare una buona risposta dipende dal tipo di distanziometro e dalla distanza da misurare.

Si è già detto che le **precisioni relative** di questo metodo valgono $10^{-6} / 10^{-5}$

GEODIMETER SYSTEM



FIG. 32

Esempio di Prisma singolo con
segnale per collimazione angolare



FIG. 33

Esempio di strumentazione complessa
(teodolite + distanziometro)

3-LIVELLAZIONI

	Tipologia	Strumenti	Precisioni relative
	Trigonometrica	Teodoliti > 1 km	Parecchi cm al km
Cartografiche	Ecclimetrica	Ecclimetri < 1 km	Parecchi cm al km
	Tacheometrica	Tacheometri < 300 m	Alcuni cm per 100 m
Tecniche	Geometrica	Livelli	Alcuni mm al km
	Idrostatica	Livelli ad acqua	
	Clisimetrica	Clisimetri	Alcuni cm per 100 m
Speditive	Barometrica	Barometri o Altimetri	0,5 – 1 m

RETE MAREOGRAFICA ITALIANA



La mareografia è uno dei rami più importanti dell' Oceanografia, la scienza che studia i fenomeni fisici del mare. Nei nostri mari, dove le maree raggiungono solo raramente ampiezze notevoli, lo studio delle maree interessa l'Idraulica e l'Idrografia, essendo la buona conservazione delle lagune, degli estuari e dei porti intimamente legata con il fenomeno di marea, il turismo, la nautica, ecc. La carta a fianco (fig .26) mostra il quadro completo delle installazioni mareografiche in Italia prima della istituzione del Servizio mareografico.

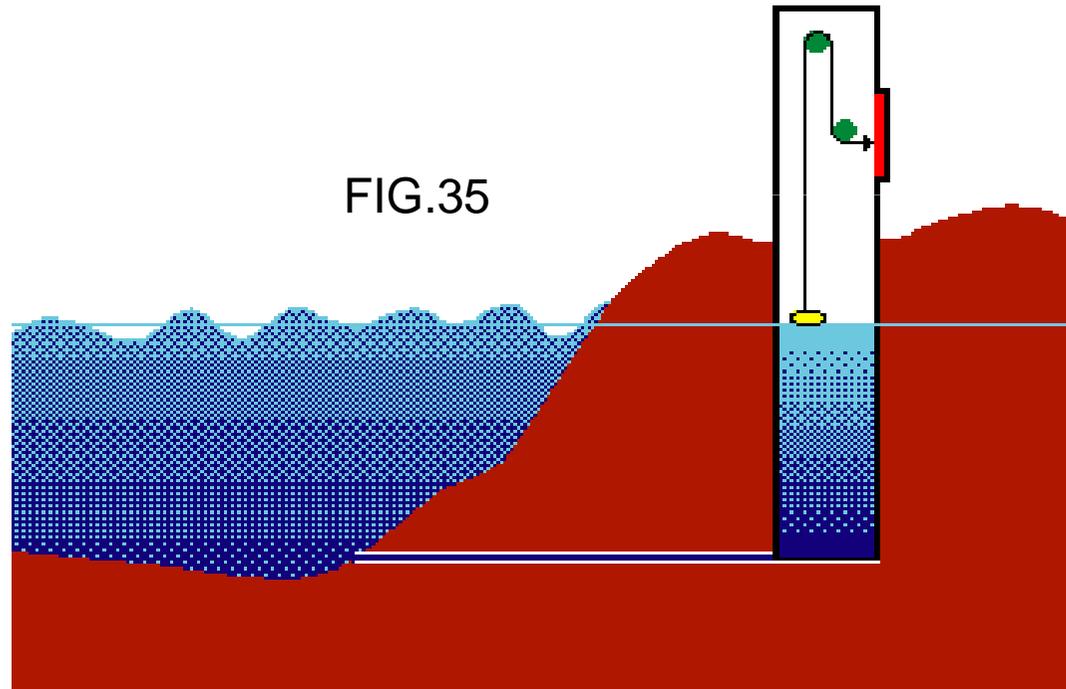
Ci sono oggi mareografi posizionati da tre Enti:
-Istituto Idrografico Marina (I.I.M.);
-Ministero dei Lavori Pubblici (M.LL.PP.);
-Magistrato Venezia.

FIG.34

IL MAREOGRAFO

Il mareografo è lo strumento che registra le variazioni del livello del mare e ne stabilisce il valore medio in un determinato luogo e in un determinato periodo.

Vi sono vari tipi di mareografi: i più moderni sono elettronici, raggiungono una precisione nella misurazione che sfiora il decimo di mm e sono collegati in rete alle capitanerie di porto e ai centri di meteorologia, dove i dati vengono raccolti e studiati dal personale preposto. Il mareografo di Genova definisce convenzionalmente **il punto di quota zero** in Italia.



RETE di LIVELLAZIONE ad ALTA PRECISIONE



FIG.36

La rete di livellazione di alta precisione è stata realizzata negli anni fra il 1950 e il 1971. Era costituita, al momento della sua istituzione, da circa 13.000 capisaldi materializzati lungo altrettanti km della viabilità presente sul territorio nazionale.

E' attualmente in fase di svolgimento un importante progetto di completa rimisura delle linee esistenti e contemporanea istituzione di nuove linee di raffittimento che porteranno ad un complessivo di oltre 20.000 capisaldi.

La densificazione dell'informazione altimetrica è parte essenziale del progetto, messo in atto dal Servizio Geodetico finalizzato a migliorare la conoscenza del Geoide Nazionale.

LIVELLAZIONI CARTOGRAFICHE

Si riportano solamente le formule risolutive:

LIVELLAZIONE TRIGONOMETRICA

$$\Delta = D (1 + Q_m / R) \cotg ZA + D^2 / 2R - k D^2 / 2R + h - L$$

Essendo $k = \text{coeff. rifrazione} = 0,1 - 0,2$

$h = \text{altezza strumentale}$

$L = \text{altezza segnale}$

LIVELLAZIONE ECCLIMETRICA (per $D \leq 1 \text{ km}$)

$$\Delta = D \cotg ZA + h - L$$

LIVELLAZIONE TACHEOMETRICA (per $D \leq 300 \text{ m}$)

$$= K S \cos\alpha \operatorname{sen}\alpha + h - L_m$$

Essendo $K = \text{costante distanziometrica} = 100 (\text{o } 50)$

$L_m = \text{lettura alla stadia al filo medio}$

$\alpha = \text{angolo di elevazione}$

$S = \text{intervallo di stadia}$

Sugli ERRORI di RIFRAZIONE e SFERICITA'

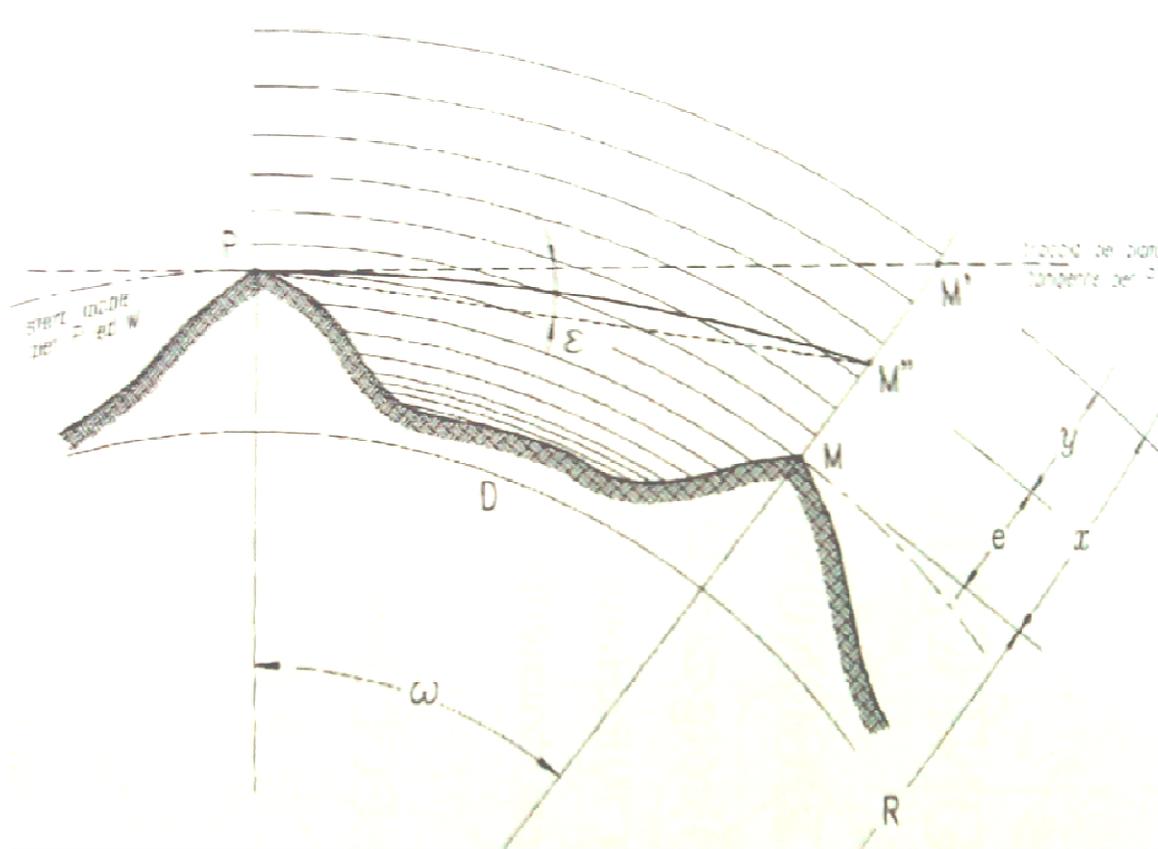


FIG. 38

L'errore di rifrazione atmosferica è difficile da determinare. Il fatto è che l'atmosfera, purtroppo, ha un indice di rifrazione ben diverso da quello del vuoto. Per capire l'entità dell'errore basti pensare che noi vediamo il sole già sorto ben 2 minuti prima che questo effettivamente lo sia: cioè lo vediamo quando è ancora sotto l'orizzonte.

Per distanze dell'ordine del km la superficie di riferimento può essere considerata la sfera locale di raggio R :
 Errore di sfericità = $D^2/2R$ Errore di rifrazione = $k D^2/2R$ $k = \text{coefficiente di rifrazione} \sim 0,10 - 0,15$

LIVELLAZIONE GEOMETRICA

La livellazione geometrica permette di determinare il dislivello tra punti mediante i **livelli** senza la conoscenza delle distanze (le "battute" devono risultare modeste < di 100m). Nel caso di una livellazione geometrica dal mezzo la misura del dislivello è pari alla differenza delle letture alla stadia nei due punti (in figura è stato evidenziato un errore di lettura x , dovuto all'asse di collimazione non orizzontale).

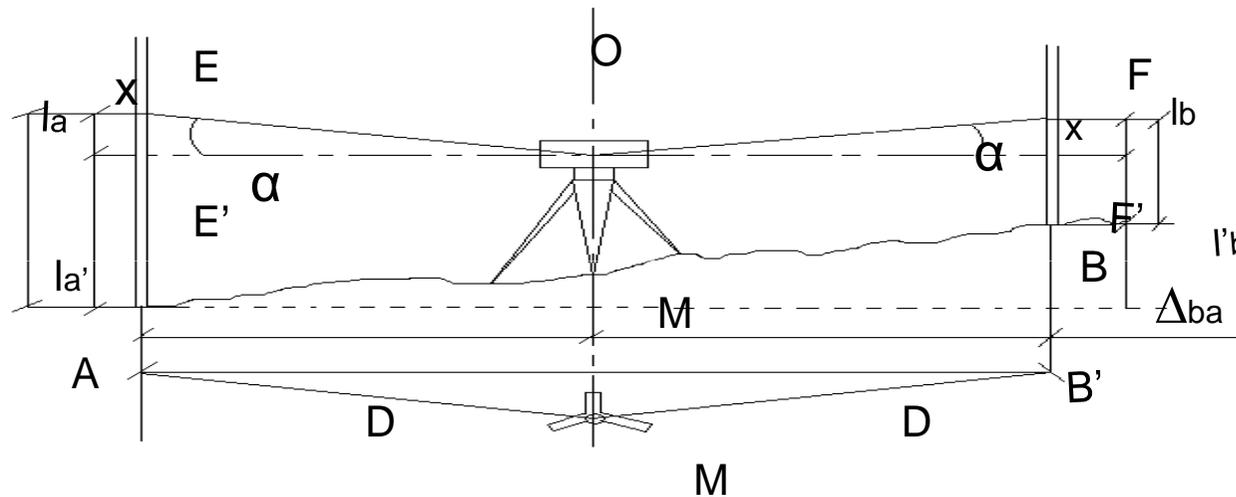
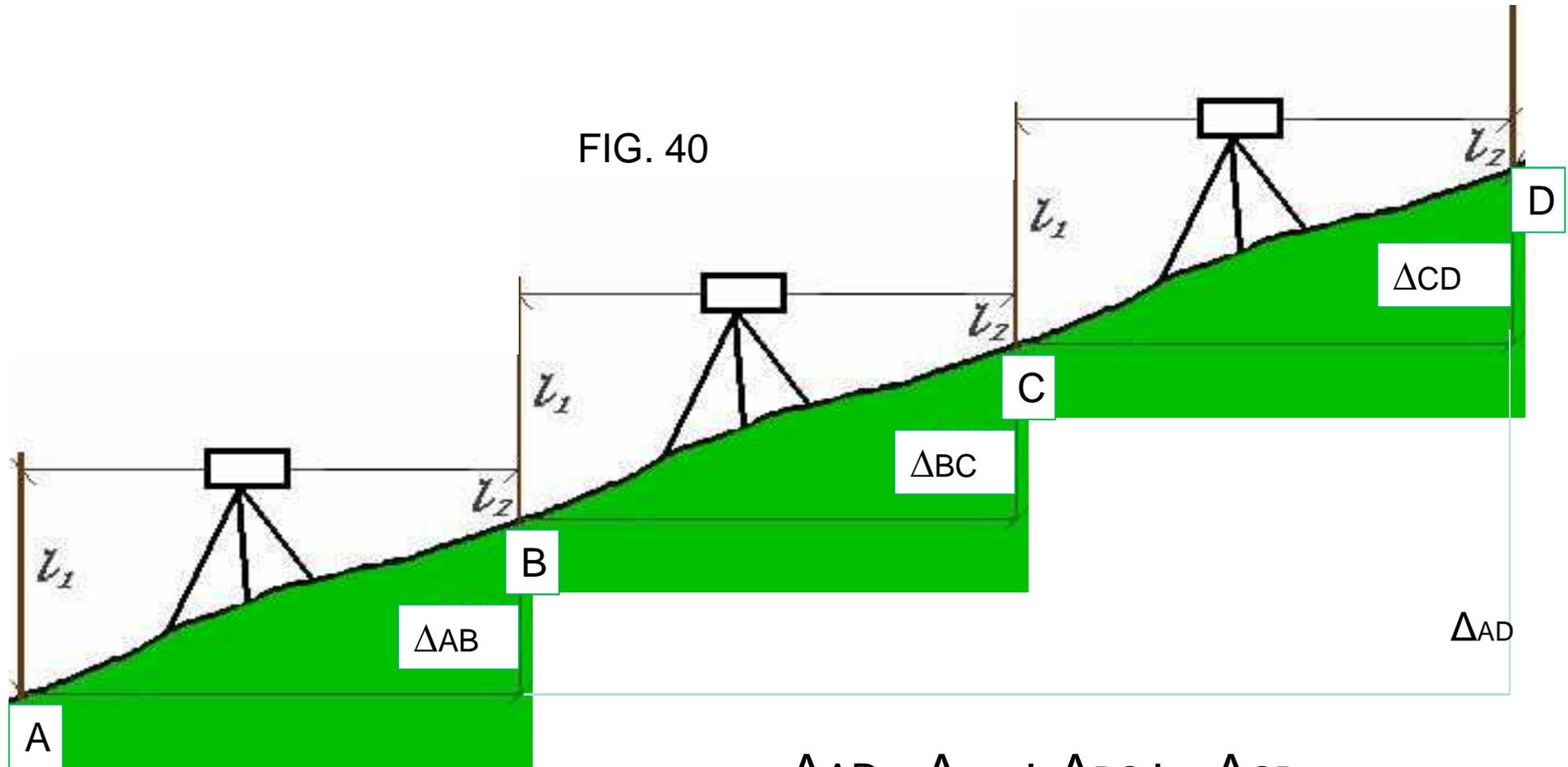


FIG.39

$$\Delta_{ba} = la - lb$$

Livellazione geometrica dal mezzo

LIVELLAZIONE GEOMETRICA COMPOSTA



SCHEMA di un LIVELLO

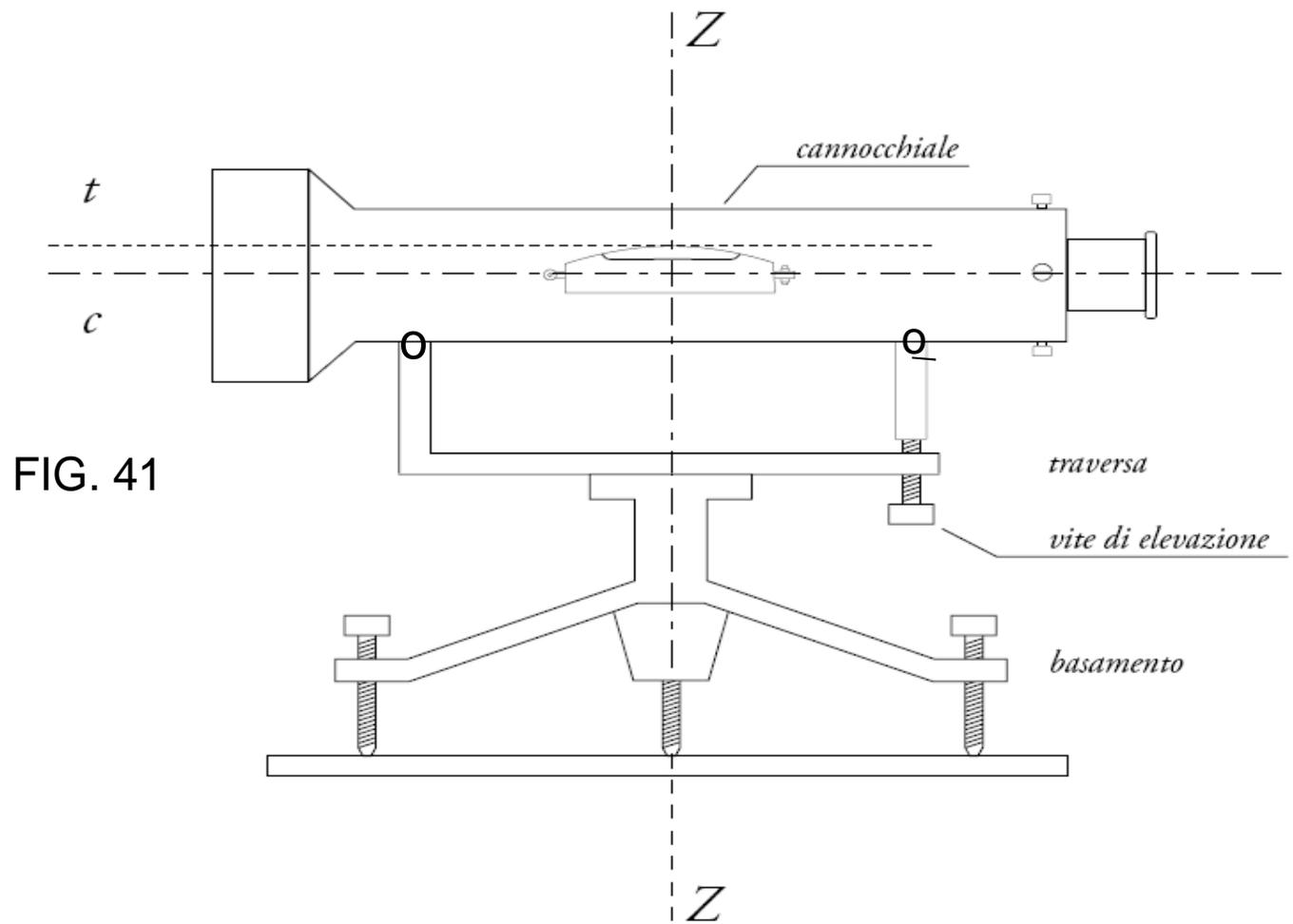
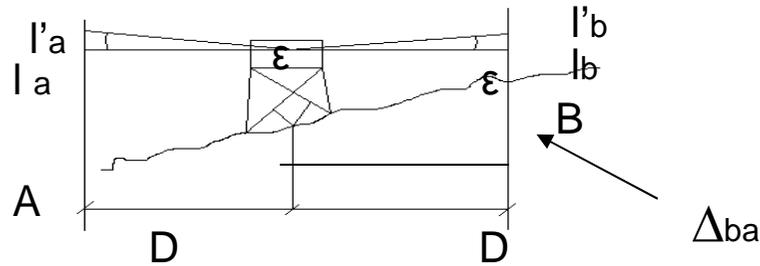


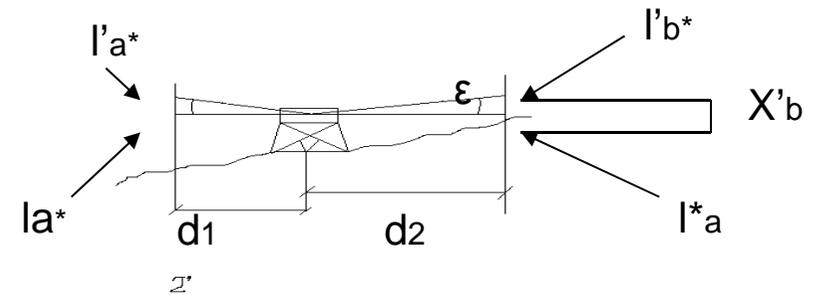
FIG. 41

VERIFICA e RETTIFICA di un LIVELLO



1°

FIG.42



2°

1°CASO : Livellazione dal mezzo $l'b - l'a = lb + x - la - x = lb - la = \Delta$

2°CASO : Livellazione da un estremo $l'b^* - l'a^* = lb^* + x'b - la^* - x'a =$
 $= lb^* - la^* + x'b - x'a = \Delta_{ba} + x'a - x'b = \Delta_{eff}$

$X'b = d2 * \epsilon$ $x'a = d1 * \epsilon$ quindi

$l'b^* - l'a^* = \Delta_{eff} = \Delta_{ba} + \epsilon (d2 - d1)$

$\epsilon = (\Delta_{eff} - \Delta_{ba}) / (d1 - d2)$

esempio di LIVELLO AUTOMATICO



FIG. 43



Livello da ingegnere a cannocchiale capovolgibile, munito di lamina pian-parallela GPM2 (intervallo di divisione del micrometro 0,2 mm, stima della lettura al 0,1 mm)

FIG. 44

Esempio di livelli

Esempi



Livello da cantiere

FIG. 45



Autolivello da cantiere



FIG. 46

Autolivello di alta precisione



FIG. 47

Stadie per livellazione



Precisione di una battuta di livellazione geometrica

- Errore di lettura o di puntamento alla stadia:
la lettura è più o meno raffinata a seconda di ciò che si ha a disposizione per leggere; sperimentalmente si ha:

$$l_{m.l.s.} = K \sqrt{\frac{ud}{I}} = K^* \sqrt{d}$$

essendo:

u = unità di stadia d = distanza della battuta

I = ingrandimento del cannocchiale

- Errore di centramento della livella

$$l_{C.L.} = K \sqrt{\sigma}$$

essendo:

σ'' = sensibilità della livella in secondi

- Errore di verticalità della stadia:

$$l - l' = l \cdot \frac{V^2}{2}$$

essendo:

V = errore di verticalità

l' = lettura corretta

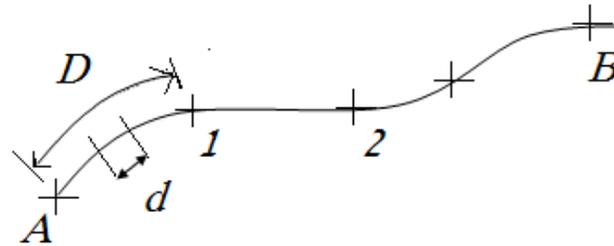
- Errore di graduazione della stadia
di solito trascurabile.

In definitiva:

- per *distanze corte* (<100 m) è più importante l' errore di lettura alla stadia;
- per *distanze lunghe* (>100 m) diventa importante anche l' errore di centramento;
e quindi, di solito:

$$\sigma = K \cdot \sqrt{d}$$

Errore medio chilometrico di una linea di livellazione (scarto quadratico medio)



si spezza la linea in tratti lunghi circa 1 Km e si mettono i capisaldi (indicati con +).

$\sigma_{b.s.q.m.}$ di ogni battuta di distanza $d = K \sqrt{d}$ ($d < 100m$)

$\sigma_{i.s.q.m.}$ del tronco tra due capisaldi distanti D

$$\sigma_t = \sqrt{n}\sigma_b = \sqrt{\frac{D}{d}}\sigma_b = \sqrt{\frac{D}{d}}k\sqrt{d} = \sigma^* \sqrt{D}$$

$$\sigma^* = K = s.q.Km = \frac{\sigma_t}{\sqrt{D}}$$

Per il tronco i -esimo, ponendo $\Delta_i = \Delta q_i'' - \Delta q_i'$ = errore di chiusura:

$$\Delta q_i = \frac{\Delta q_i' + \Delta q_i''}{2}$$

$$v_i' = \Delta q_i' - \Delta q_i = -\frac{\Delta_i}{2}$$

$$v_i'' = \Delta q_i'' - \Delta q_i = \frac{\Delta_i}{2}$$

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\frac{\Delta_i^2}{4} + \frac{\Delta_i^2}{4}}{2-1}} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \Delta_i \text{ --- s.q.m di ogni singola osservazione}$$

$$\sigma_q = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{\Delta_i}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\Delta_i}{2} \text{ --- } \rightarrow \text{ s.q.m . . della . . media}$$

$$\sigma_L^2 = \sigma_{q1}^2 + \sigma_{q2}^2 + \dots + \sigma_{qn}^2 = \left(\frac{1}{2}\Delta_1\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\Delta_2\right)^2 + \dots = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i^2}{4}$$

$$\sigma_L = \pm \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Delta_i$$

$$\sigma_L = \sigma^* \sqrt{L} \text{ --- } \rightarrow \sigma^* = \frac{\sigma_L}{\sqrt{L}}$$

$$\sigma^* = \pm \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{\sqrt{L}}$$

Essendo:

Δ_i = errore di chiusura dei vari tratti

L = lunghezza complessiva della linea livellata

Livello na2000 Wild (esempio)

Classico autolivello :

- Con lettura ottica
- Con lettura elettronica

Lettura elettronica:

Non c'è bisogno di utilizzare stadie "intelligenti", ma si usano stadie con il codice a barre: oltre al dislivello si determina anche la distanza.

Operazioni:

- Collimazione alla stadia;
- Messa a fuoco;
- Pressione del tasto "misura".

Cosa succede:

L'immagine del codice a barre passa attraverso un separatore di raggio che invia la luce del visibile all'oculare dello strumento e la componente dell'infrarosso ad un diodo rilevatore (lungo 6.4 mm e composto da 256 fotodiodi di 0.025 mm ciascuno).

Il rilevatore trasforma l'immagine del codice in un segnale video che opportunamente amplificato e digitalizzato è inviato ad un microprocessore. Questo effettua una stima approssimata della distanza (informazione che riceve dal movimento della lente di messa a fuoco).

La determinazione della lettura di altezza e della distanza viene effettuata ricorrendo al principio di correlazione tra un segnale di riferimento memorizzato nello strumento ed il segnale registrato nel sensore.

Si cerca il massimo di correlazione tra il segnale di misura e quello di riferimento: in corrispondenza di questo picco, si determinano le letture di altezza e le distanze ottimali.

Si ha un'apertura del sistema ottico di 2° ; alla distanza di focamento (1,8 m) corrisponde ad un abbracciamento di 6,5 cm di stadia; alla distanza massima di focamento (100 m) corrisponde un abbracciamento di 3,5 m di stadia.

La stadia da livellazione è composta da tre sezioni, ciascuna di 1,35 m (per un totale di 4,05 m), larghezza di 58 mm e spessore di 25 mm. Il materiale usato è di tipo sintetico rinforzato con fibra di vetro (coefficiente di dilatazione termica < 10 p.p.m./ $^\circ\text{C}$)

Su un lato della stadia è riportato il codice a barre, mentre dall'altra parte è riportata la scala per le tradizionali letture ottiche.

Lo strumento è munito di livella sferica con sensibilità di 20'.

PRECISIONI:

Lo scarto quadratico medio strumentale come livello è di +/- 1.5 mm/Km (andata e ritorno con battute < 50 m).

Per le singole letture alla stadia si ha:

per $D < 50$ m s.q.m. = 0.3 mm

per $D > 50$ m s.q.m. = 0.5 mm

Come **misuratore di distanze** si ha:

per $D < 50$ m s.q.m. = 20 mm

per $D > 50$ m s.q.m. = 50 mm

OSSERVAZIONI:

Strumento progettato per lavorare all'aperto, in condizioni di luce diffusa;
In ambienti chiusi, le condizioni di illuminazione della stadia sono non ideali;
l'illuminazione artificiale crea problemi di riflessi, eccessiva o insufficiente;
Vi è pericolo se nell'ottica del livello si inseriscono riflessi luminosi particolarmente intensi dovuti ad esempio a superfici vetrate o metalliche.
In caso di operatività sotto la luce diretta del sole, possibilità di instabilità delle misure (sia nel livello che sulla stadia).
Lo s.q.m della lettura cresce proporzionalmente alla distanza (nella livellazione geometrica tradizionale cresce con la radice della distanza);
evitare battute troppo lunghe !.
Mai fare affidamento su una sola lettura alla stadia;
operare la messa a fuoco con particolare cura;
possibilità di registrazione dei dati.

(Alcuni inconvenienti sopra descritti sono stati in parte eliminati).



Livello digitale elettronico DL-101/102



FIG.48



(dalla pubblicità di un livello digitale)

- L' "Occhio Elettronico" effettua misurazioni senza errori, aumenta la velocità, la precisione e la produttività.
- Il DL-101/102 Topcon, grazie alla sua avanzata tecnologia di elaborazione delle immagini, porta la precisione e la semplicità operativa allo stadio più alto. Le elevate caratteristiche del DL-101/102 lo rendono ideale per applicazioni di alta precisione, incluse livellazioni e monitoraggi di primo e secondo ordine.



Per il **monitoraggio**, è però necessario un breve cenno alla **livellazione idrostatica**: nel Duomo di Milano ad esempio è stato installato un impianto molto complesso, di precisione. Sono stati usati "*livelli ad acqua*" speciali, capaci di sentire e registrare minimi movimenti verticali della struttura.

Livelli laser a rotazione

- **TIPO 1:** fornisce la quota attraverso la visione diretta su normali stadie, del raggio luminoso.
Precisione: +/- 5 mm : se le stadie vengono munite di fotosensori scorrevoli la precisione arriva a +/- (1-2) mm ma si ha maggiore lentezza nelle operazioni.
- **TIPO 2:** fa ricorso a “stadie intelligenti”: sono stadie sensibilizzate su un intervallo che può essere di parecchi decimetri: leggono direttamente e registrano il valore della graduazione colpita dal raggio.
Precisione: qualche decimo di millimetro.

Questi strumenti sono particolarmente adatti alla livellazione raggiante (a giro d'orizzonte). (fig. 49).





FIG.49



Rotolaser-50

- **Il più piccolo ed economico Laser rotante a punto e linea visibili!**
- * Messa in bolla manuale (la vite gialla regola la livella gialla, mentre la bianca l'altra livella).
- * Posizionamento manuale del **punto fermo** (da utilizzare negli allineamenti), **visibile** negli interni sino a 25m (50m posizionandosi al centro del locale).
- * Posizionamento manuale della **linea ferma** (per livellare in una zona limitata), inserendo nell'apposito foro superiore il **prisma** in dotazione che modifica il punto in linea.
- * Lo strumento viene fornito completo di **piastra di sostegno**, per attaccarlo a mezzo di due viti, tasselli o chiodi a qualsiasi elemento verticale stabile (muro, pilastro, ecc.).
- * **Rotazione ORIZZONTALE** a velocità regolabile (con il potenziometro, che funge anche da interruttore) consente di **livellare** una superficie di 50m di diametro, con una precisione di +/-5mm a 25m.
- * **Rotazione VERTICALE a velocità regolabile** (svitando le due viti nere laterali e posizionando lo strumento con la testa rotante in posizione orizzontale), adatta per **tracciamento, montaggio o piombatura** di elementi verticali (pareti, pilastri, ecc.) (fig.50).

Rotolaser-50



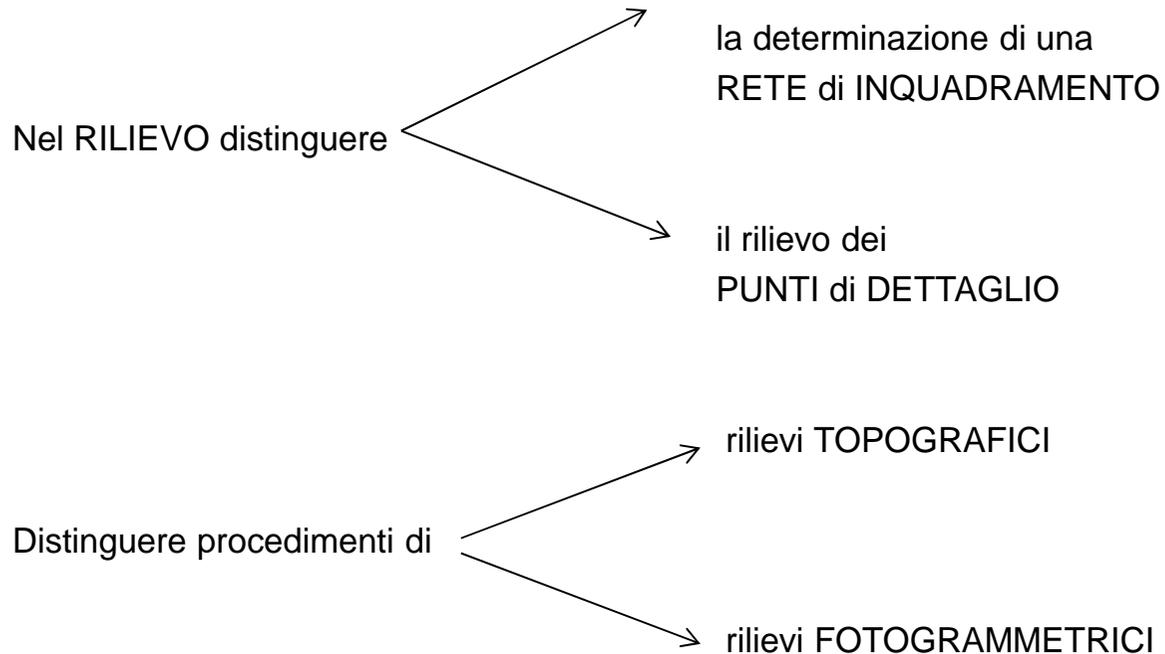
FIG.50

Per i dislivelli in generale ricordiamo che: misuriamo differenze di distanze (in verticale) tra punti di cui si possono così conoscere le **quote ortometriche** (o geometriche), determinate con le operazioni di livellazione già indicate. Le **quote dinamiche** sono invece la differenza tra *il potenziale di gravità* di un punto e il potenziale di gravità del punto della medesima verticale, assunto *come origine delle quote dinamiche* (punti sul geoide).

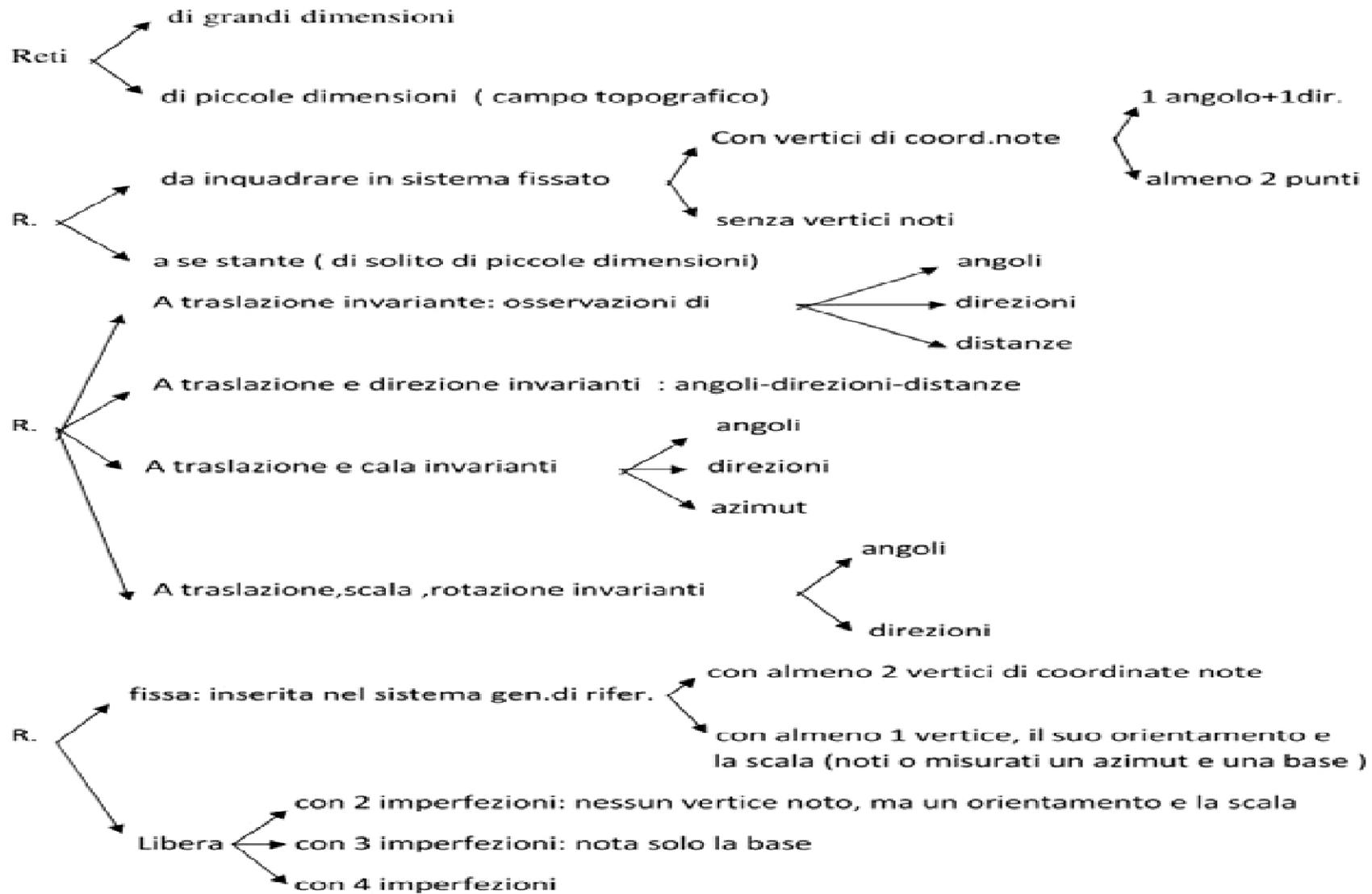
4-Generalità sulle reti dei punti d'appoggio

Da prendere in considerazione:

- l'estensione del RILIEVO
- la scala della CARTA, funzione dello scopo, ecc...



RETI



OTTIMIZZARE : significa cercare il **MASSIMO** o il **MINIMO** di una qualche funzione delle incognite (che servono a descrivere la “*qualità della rete*”)

QUALITA’ della RETE: è definita dai seguenti parametri:

- Precisione delle coordinate dei vertici
- Controllabilità delle misure
- Costo

MODELLARE il COSTO: significa, fissato lo schema della rete da valutare, esaminare:

- Il costo di trasporto
- Il costo di materializzazione delle stazioni
- Il costo di materializzazione dei segnali
- Durata delle misure

CONTROLLABILITA’ di ogni singola OSSERVAZIONE: è definita dai seguenti parametri:

- Ridondanza locale (è un numero adimensionale positivo e < 1)
- Affidabilità interna (*internal reliability*)

PRECISIONE: si esprime globalmente tramite gli autovalori della Q_{xx}

- Si può minimizzare la loro somma $tr (Q_{xx})$
- Si può minimizzare il loro prodotto $det (Q_{xx})$
- Si può minimizzare il loro massimo valore

ALTRI APPROCCI ALLA PROGETTAZIONE DI RETI

MATRICE-CRITERIO : si crea una matrice di varianza-covarianza che rappresenti una distribuzione di errori ideali. Quindi si tenta di approssimarla, elemento per elemento, con la matrice di varianza-covarianza della rete reale.

Si possono avere diverse “matrici-criterio”:

MATRICE DI TAYLOR- KARMAN CTK : è la più usata e rappresenta una distribuzione di errori nella rete omogenea ed isotropa:

- Per reti planimetriche: gli ellissi di errore sono **cerchi** uguali
- Per reti plano-altimetriche: gli ellissi di errore sono **sfere** uguali

E' stata tentata la costruzione di “matrici-criterio” utilizzando una *funzione di COVARIANZA DISCRETA* .

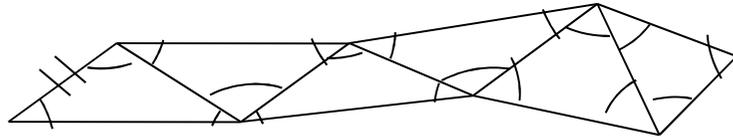
Altre matrici-criterio possono essere costruite a partire da MATRICI di COFATTORI relative a reti reali “migliorandole” in qualche senso (*improved design*). Ecc.

GRADO di LIBERTA' : si ottiene dalla differenza tra il numero delle osservazioni indipendenti eseguite e quelle strettamente necessarie per l'isodeterminazione. Più il grado di libertà è alto e più la rete è rigida.

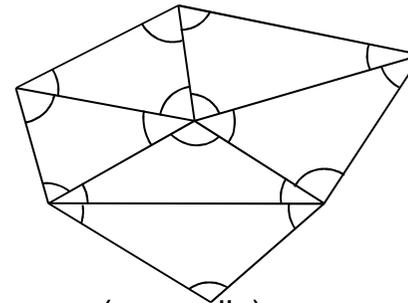
GRADO di RIDONDANZA : è il rapporto tra il numero delle basi indipendenti misurate ed il numero dei vertici meno 1. Vale 1 in caso di isodeterminazione ed è tanto più alto col crescere del numero delle misure. Più è alto il valore di ridondanza e più è cresciuto il lavoro in campagna. Un rapporto 2 è già buono..

Principali schemi

TRIANGOLAZIONI

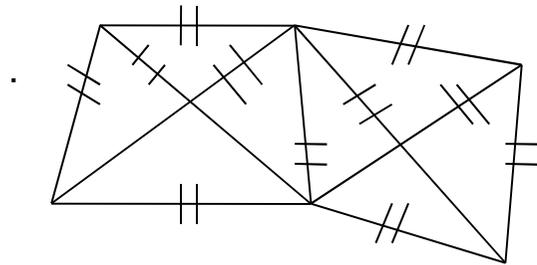


(a catena)

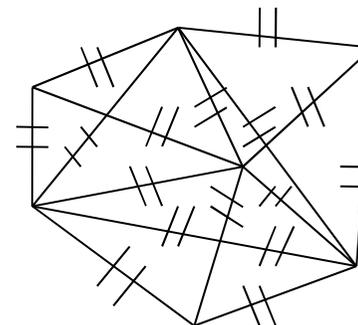
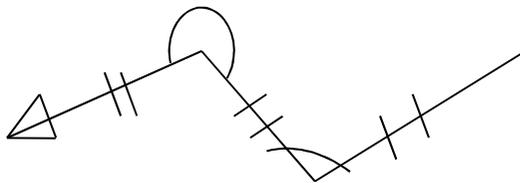


(a maglia)

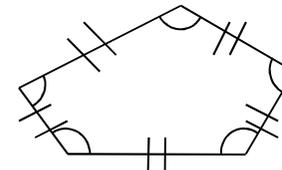
TRILATERAZIONI



POLIGONALI (aperte)



(chiuse)



Le **poligonazioni** sono state ultimamente valorizzate, con nuovi limiti di applicazione, strumenti e metodi di calcolo, anche come reti di appoggio.

FIG. 51

Compensazione di una rete di triangolazione

(mediante il metodo delle osservazioni indirette o per variazione di coordinate)

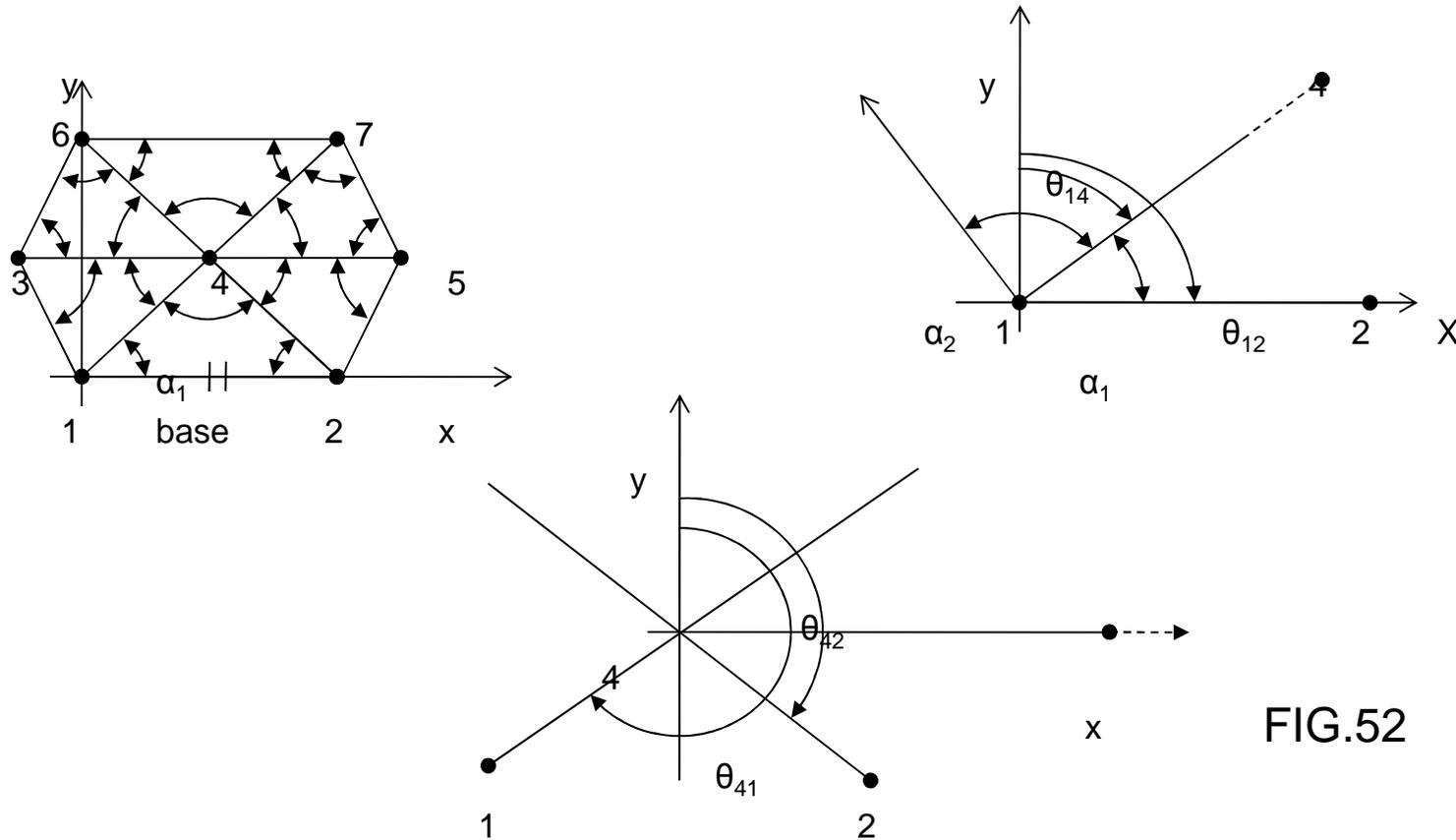


FIG.52

La compensazione è qui intesa in senso intrinseco: non interessa sapere se siamo al Polo o all'Equatore. Se però si ha a che fare con una "rete geodetica" occorre seguire altri criteri (si lavora nella **rappresentazione conforme**, devono essere apportate correzioni che tengono conto della sfericità...).In effetti sono classiche operazioni geodetiche. **Misure eseguite:** tutti gli angoli dei vari triangoli ed almeno una base.

Incognite: le coordinate planimetriche dei vertici 3 4 5 6 7

$$\begin{array}{ccccc} X_3 & X_4 & X_5 & X_6 & X_7 \\ Y_3 & Y_4 & Y_5 & Y_6 & Y_7 \end{array}$$

(i vertici 1 e 2 sono fissi e di coordinate note)

Equazione fondamentale (agli angoli) che lega le incognite alle grandezze misurate:

$$\otimes \quad \frac{X_j - X_i}{Y_j - Y_i} - \operatorname{tg}(\vartheta_{ij}) = 0$$

$$\vartheta_{12} = 90^\circ$$

$$\vartheta_{14} = \vartheta_{12} - \alpha_1 = 90^\circ - \alpha_1$$

$$\vartheta_{41} = \vartheta_{14} + 180^\circ = 270^\circ - \alpha_1$$

$$\vartheta_{42} = \vartheta_{41} - \alpha_4$$

$$\vartheta_{45} = \vartheta_{42} - \alpha_4$$

...

Occorre però considerare delle **correzioni di orientamento** Δ_i (incognite) per le direzioni scelte nei vertici non fissi:
in totale quindi le incognite sono (nel caso in esame):

5 coppie di coordinate (=10) + 5 equazioni di orientamento = 15 in totale.

Quante equazioni di tipo \otimes si possono scrivere?

1-3	2-1	3-1	4-1	5-2	6-4	7-5
1-4	2-4	3-4	4-2	5-4	6-5	7-4
1-2	2-5	3-6	4-3	5-6	6-7	7-6
			4-5			
			4-6			
			4-7			

Cioè 24 equazioni (3 per ogni vertice esterno + 6 per il vertice interno)

Le equazioni \otimes devono quindi risciversi:

$$\otimes \quad \frac{X_j - X_i}{Y_j - Y_i} - \text{tg}(\vartheta_{ij} + \Delta_i) = 0$$

Per linearizzare queste equazioni, troviamo dei valori approssimati delle incognite (risolviamo ad esempio una poligonale di calcolo qualsiasi):

$$\vartheta_{ij} = \vartheta_{ij}^0 + \delta_{ij} \quad \begin{cases} X_i = X_j^0 + \Delta X_j \\ Y_j = Y_j^0 + \Delta Y_j \end{cases} \quad \begin{cases} X_i = X_i^0 + \Delta X_i \\ Y_i = Y_i^0 + \Delta Y_i \end{cases}$$

(poiché sia ϑ_{ij} che ϑ_{ij}^0 sono noti, anche δ_{ij} è noto)
 (le correzioni sono piccole e sono le nuove incognite)

Ricordando le equazioni precedenti, si esegue poi la linearizzazione col seguente procedimento:

$$\log(x_j - x_i) - \log(y_j - y_i) = \log(\tan(\vartheta_{ij} + \Delta_i))$$

$$\log(x_j^0 + \Delta x_j - x_i^0 - \Delta x_i) - \log(y_j^0 + \Delta y_j - y_i^0 - \Delta y_i) - \log(\tan(\vartheta_{ij}^0 + \delta_{ij} + \Delta_i)) = 0$$

$$\log(x_j^0 - x_i^0 + \Delta x_j - \Delta x_i) - \log(y_j^0 - y_i^0 + \Delta y_j - \Delta y_i) - \log(\tan(\vartheta_{ij}^0 + \delta_{ij} + \Delta_i)) = 0$$

E, sviluppando in serie:

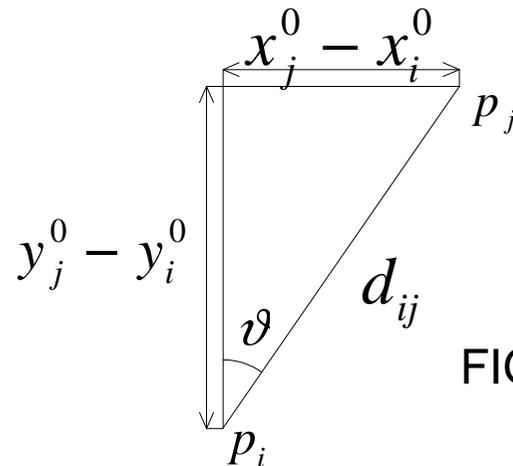
$$\begin{aligned} & \log(x_j^0 - x_i^0) + \frac{1}{(x_j^0 - x_i^0)} \cdot (\Delta x_j - \Delta x_i) - \log(y_j^0 - y_i^0) - \frac{1}{y_j^0 - y_i^0} (\Delta y_j - \Delta y_i) - \log(\tan \vartheta_{ij}^0) + \\ & - \frac{1}{\tan \vartheta_{ij}^0} \cdot \frac{1}{(\cos \vartheta_{ij}^0)^2} \cdot (\delta_{ij} + \Delta_i) = 0 \end{aligned}$$

Sapendo che
$$\frac{1}{\tan \vartheta_{ij}^0} \cdot \frac{1}{(\cos \vartheta_{ij}^0)^2} = \frac{\cos \vartheta_{ij}^0}{\sin \vartheta_{ij}^0 (\cos \vartheta_{ij}^0)^2} = \frac{1}{\sin \vartheta_{ij}^0 \cos \vartheta_{ij}^0}$$

risulta
$$\frac{\sin \vartheta_{ij}^0 \cos \vartheta_{ij}^0}{x_j^0 - x_i^0} \cdot (\Delta x_j - \Delta x_i) - \frac{\sin \vartheta_{ij}^0 \cos \vartheta_{ij}^0}{y_j^0 - y_i^0} (\Delta y_j - \Delta y_i) - (\delta_{ij} + \Delta_i) = v_{ij}$$

Queste equazioni costituiscono il *sistema generato* (24 equazioni in 15+24=39 incognite).

Ricordando che



$$d_{ij} = \frac{x_j^0 - x_i^0}{\text{sen } \vartheta_{ij}^0} = \frac{y_j^0 - y_i^0}{\text{cos } \vartheta_{ij}^0}$$

FIG.53

è possibile riscrivere le equazioni precedenti:

$$\frac{\text{cos } \vartheta_{ij}^0}{d_{ij}^0} \cdot (\Delta x_j - \Delta x_i) - \frac{\text{sen } \vartheta_{ij}^0}{d_{ij}^0} \cdot (\Delta y_j - \Delta y_i) - \delta_{ij} - \Delta_i = v_i$$

Si pone poi $\frac{\text{cos } \vartheta_{ij}^0}{d_{ij}^0} = a_{ij}$ e $\frac{\text{sen } \vartheta_{ij}^0}{d_{ij}^0} = b_{ij}$ da cui risulta

$$a_{ij}(\Delta x_j - \Delta x_i) - b_{ij}(\Delta y_j - \Delta y_i) - \delta_{ij} - \Delta_i = v_{ij}$$

Si può preparare la seguente tabella, detta *matrice dei coefficienti*

(dove T.N. sta per termine noto):

	Δx_3	Δy_3	Δx_4	Δy_4	...	Δ_3	Δ_4	...	Δ_7	T.N
1_3		a_{13}	$-b_{13}$							δ_{13}
3_4		$-a_{34}$	b_{34}	a_{34}	$-b_{34}$	-1				δ_{34}
24 eq.										

Si costruisce quindi il *sistema normale*, 15 equazioni in 15 incognite e si trovano tutte le incognite

Tutte le equazioni si considerano dello stesso *peso*, infatti nel misurare gli angoli gli errori di osservazione vengono considerati uguali.

In generale si esprimono le distanze e le correzioni delle coordinate in metri, gli angoli e le correzioni di orientamento in radianti. Altrimenti, per lavorare con i secondi è sufficiente utilizzare la seguente formula:

$$\delta_{ij}^{\text{sec}} = \frac{\delta_{ij}^{\text{rad}}}{206265}$$

Compensazione di una rete trilaterata

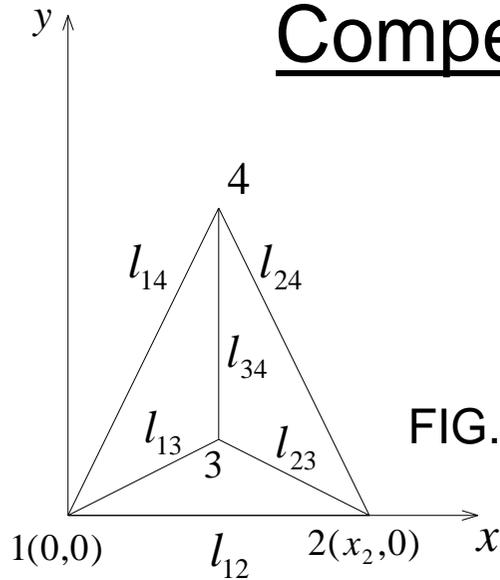


FIG. 54

Si conoscono le distanze fra i punti (lati l_{ij}) e si vuole conoscere il valore delle coordinate dei vertici; si hanno dunque 6 misure (le distanze fra i lati) e le seguenti 5 incognite: $2(x_2, 0)$ $3(x_3, y_3)$ $4(x_4, y_4)$

Per risolvere il problema si deve pervenire alle cosiddette *equazioni alle basi*, del tipo:

$$(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 - l_{ij}^2 = 0 \quad (\text{teorema di Pitagora})$$

Se si ha un numero di equazioni maggiore del numero di incognite si può fare la compensazione, come nel caso precedente.

Si riducono quindi le equazioni generate in forma lineare:

$$\begin{aligned} x_i &= x_i^0 + \Delta x_i & y_i &= y_i^0 + \Delta y_i & l_{ij} &= l_{ij}^0 + \Delta l_{ij} \\ x_j &= x_j^0 + \Delta x_j & y_j &= y_j^0 + \Delta y_j \end{aligned}$$

nelle quali le seguenti soluzioni sono state approssimate precedentemente: $x_i^0, x_j^0, y_i^0, y_j^0$

le correzioni sono incognite: $\Delta x_i, \Delta x_j, \Delta y_i, \Delta y_j$ e il valore noto è: Δl_{ij}

Sviluppando in serie si ottiene:

$$(x_j^0 - x_i^0)^2 + 2(x_j^0 - x_i^0)(\Delta x_j - \Delta x_i) + (y_j^0 - y_i^0)^2 + 2(y_j^0 - y_i^0)(\Delta y_j - \Delta y_i) - (l_{ij}^0)^2 - 2l_{ij}^0 \cdot \Delta l_{ij} = 0$$

Ignorando i termini di secondo grado si ha:

$$2(x_j^0 - x_i^0)(\Delta x_j - \Delta x_i) + 2(y_j^0 - y_i^0)(\Delta y_j - \Delta y_i) - 2l_{ij}^0 \cdot \Delta l_{ij} = 0$$

Ed essendo:

$$\text{sen } \vartheta_{ij}^0 = \frac{x_j^0 - x_i^0}{l_{ij}^0} \quad \text{cos } \vartheta_{ij}^0 = \frac{y_j^0 - y_i^0}{l_{ij}^0}$$

$$\text{sen } \vartheta_{ij}^0 (\Delta x_j - \Delta x_i) + \text{cos } \vartheta_{ij}^0 (\Delta y_j - \Delta y_i) - \Delta l_{ij} = v_{ij}$$

Si perviene dunque alla seguente tabella:

	Δx_2	Δx_3	Δy_3	Δx_4	Δy_4	T.N.
1_2						
1_4						
1_3						
3_4						
2_3						
2_4						

Si riduce al peso del termine noto:

$$p_{ij} = \frac{\kappa}{\sigma_{ij}^2} = \frac{1}{j_{ij}^2}$$

e si forma infine il **sistema normale** con cui si risolve il problema. Sia le reti di triangolazione che trilaterazione sono state ultimamente sostituite da reti ottenute da osservazioni satellitarie.

5-Trasformazioni piane elementari

Si riportano i seguenti elementi di Geometria piana:

- CONGRUENZA
- TRASFORMAZIONE CONFORME
- TRASFORMAZIONE AFFINE PARTICOLARE
- TRASFORMAZIONE AFFINE GENERALE
- TRASFORMAZIONE OMOGENEA

Congruenza

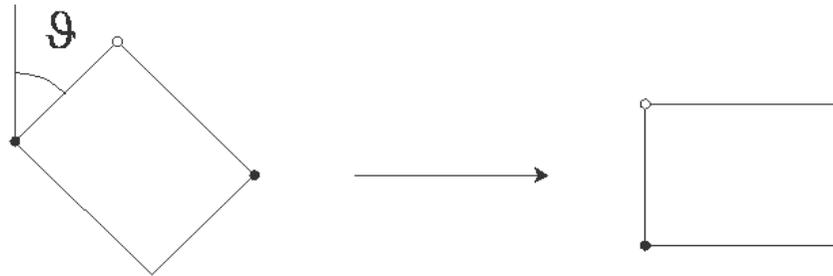


FIG.55

$$X = X_0 + x \cdot \cos \vartheta + y \cdot \sin \vartheta$$

$$Y = Y_0 - x \cdot \sin \vartheta + y \cdot \cos \vartheta$$

3 parametri noti : X_0, Y_0, ϑ

Trasformazione conforme

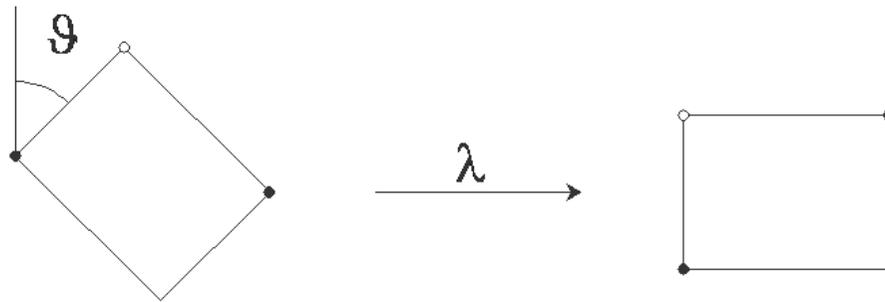


FIG.56

$$X = X_0 + \lambda(x \cdot \cos \vartheta + y \cdot \text{sen } \vartheta)$$

$$Y = Y_0 - \lambda(x \cdot \text{sen } \vartheta + y \cdot \cos \vartheta)$$

4 parametri : $X_0, Y_0, \vartheta, \lambda$

Trasformazione affine particolare

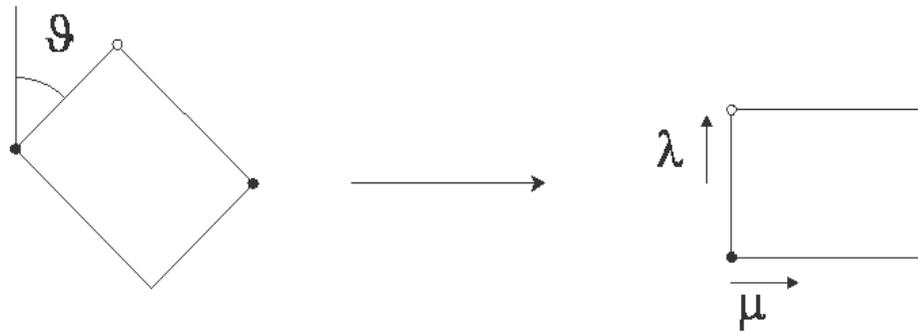


FIG.57

$$X = X_0 + \lambda(x \cdot \cos \vartheta + y \cdot \text{sen } \vartheta)$$

$$Y = Y_0 - \mu(x \cdot \text{sen } \vartheta + y \cdot \cos \vartheta)$$

5 parametri : $X_0, Y_0, \vartheta, \lambda, \mu$

Trasformazione affine generale

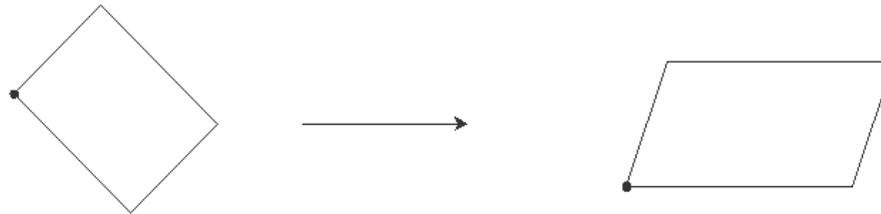


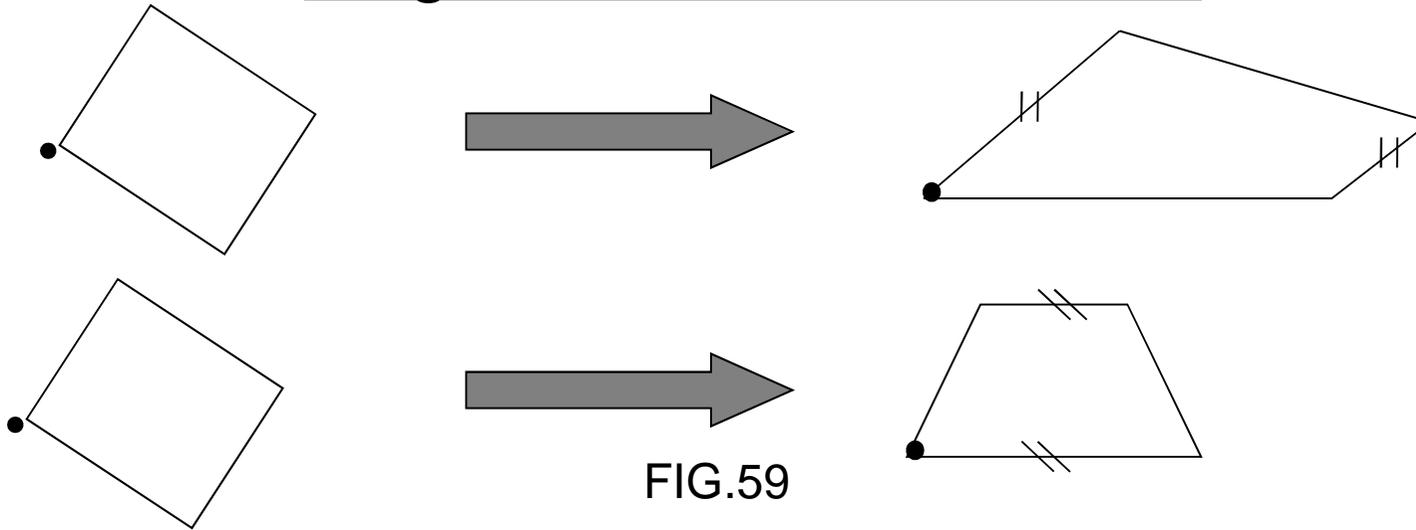
FIG.58

$$X = X_0 + x \cdot a + y \cdot b$$

$$Y = Y_0 - x \cdot c + y \cdot d$$

6 parametri : X_0, Y_0, a, b, c, d

Trasformazione omografica longitudinale e trasversale



$$x = \frac{a \cdot x + b \cdot y + c}{g \cdot x + 1}$$

$$y = \frac{d \cdot x + e \cdot y + f}{g \cdot x + 1}$$

7 parametri: a, b, c, d, e, f, g

$$x = \frac{a \cdot x + b \cdot y + c}{h \cdot y + 1}$$

$$y = \frac{d \cdot x + e \cdot y + f}{h \cdot y + 1}$$

Trasformazione omografica



$$x = \frac{a \cdot x + b \cdot y + c}{g \cdot x + h \cdot y + 1}$$

$$y = \frac{d \cdot x + e \cdot y + f}{g \cdot x + h \cdot y + 1}$$

8 parametri: a, b, c, d, e, f, g, h

Per definire la rotazione nello spazio, possiamo in un primo tempo, pensare che i 2 sistemi mantengano costante l'origine $O \equiv O'$ e pensare di considerare prima una rotazione del sistema $(X^* Y^* Z^*)$ nel piano XY , di valore α , (quindi rotazione attorno all'asse Z^* , in senso orario).

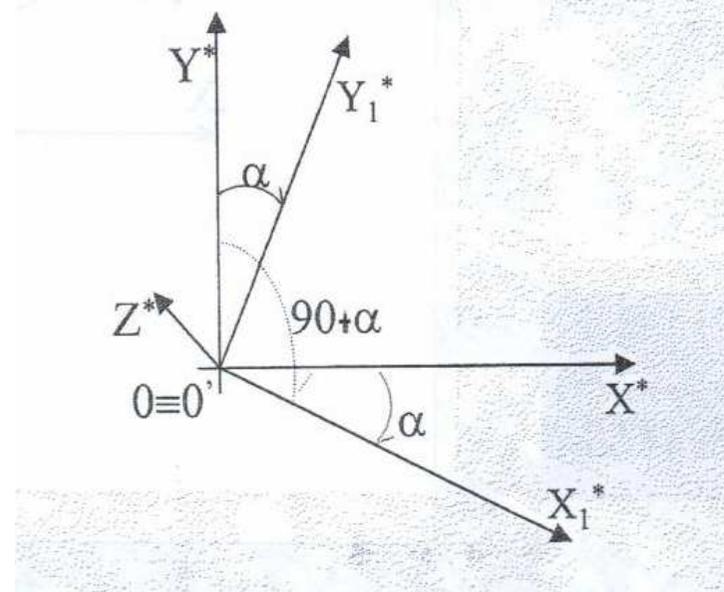


FIG.62

Si possono definire i coseni direttori e la matrice di orientamento M_α .

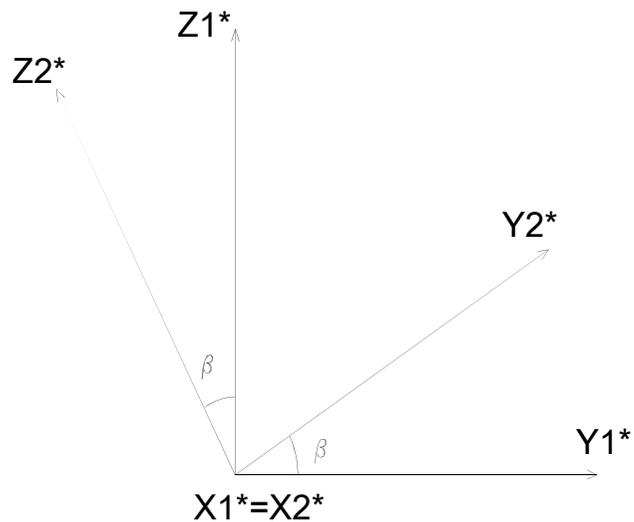
$$M_\alpha = \begin{pmatrix} \text{componenti} & -di & -x_1^* & -rispetto & -a & - \begin{pmatrix} x^* & y^* & z^* \end{pmatrix} \\ \text{componenti} & -di & -y_1^* & -rispetto & -a & - \begin{pmatrix} x^* & y^* & z^* \end{pmatrix} \\ \text{componenti} & -di & -z_1^* & -rispetto & -a & - \begin{pmatrix} x^* & y^* & z^* \end{pmatrix} \end{pmatrix}$$

Matrice di orientamento

$$\begin{aligned} M_{\alpha} &= \begin{vmatrix} \cos(x1^* x^*) & \cos(x1^* y^*) & \cos(x1^* z^*) \\ \cos(y1^* x^*) & \cos(y1^* y^*) & \cos(y1^* z^*) \\ \cos(z1^* x^*) & \cos(z1^* y^*) & \cos(z1^* z^*) \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} \cos \alpha & \cos(90 + \alpha) & \cos 90 \\ \cos(90 - \alpha) & \cos \alpha & \cos 90 \\ \cos 90 & \cos 90 & \cos \alpha \end{vmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Si consideri una rotazione di valore β nel piano $y_1^* z_1^*$ assi $x_2^* \equiv x_1^*$ normali al foglio

FIG.63



$$M\beta = \begin{vmatrix} \cos(x2^* x1^*) & \cos(x2^* y1^*) & \cos(x2^* z1^*) \\ \cos(y2^* x1^*) & \cos(y2^* y1^*) & \cos(y2^* z1^*) \\ \cos(z2^* x1^*) & \cos(z2^* y1^*) & \cos(z2^* z1^*) \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} \cos 0 & \cos 90 & \cos 90 \\ \cos 90 & \cos \beta & \cos(90 - \beta) \\ \cos 90 & \cos(90 + \beta) & \cos \beta \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \text{sen } \beta \\ 0 & -\text{sen } \beta & \cos \beta \end{vmatrix}$$

Ed infine, nel piano $z_2^*x_2^*$ si consideri una rotazione di valore γ , assi $y_2^* \equiv y_3^*$ normali al foglio

$$M\gamma = \begin{vmatrix} \cos(x_3^* x_2^*) & \cos(x_3^* y_2^*) & \cos(x_3^* z_2^*) \\ \cos(y_3^* x_2^*) & \cos(y_3^* y_2^*) & \cos(y_3^* z_2^*) \\ \cos(z_3^* x_2^*) & \cos(z_3^* y_2^*) & \cos(z_3^* z_2^*) \end{vmatrix} =$$

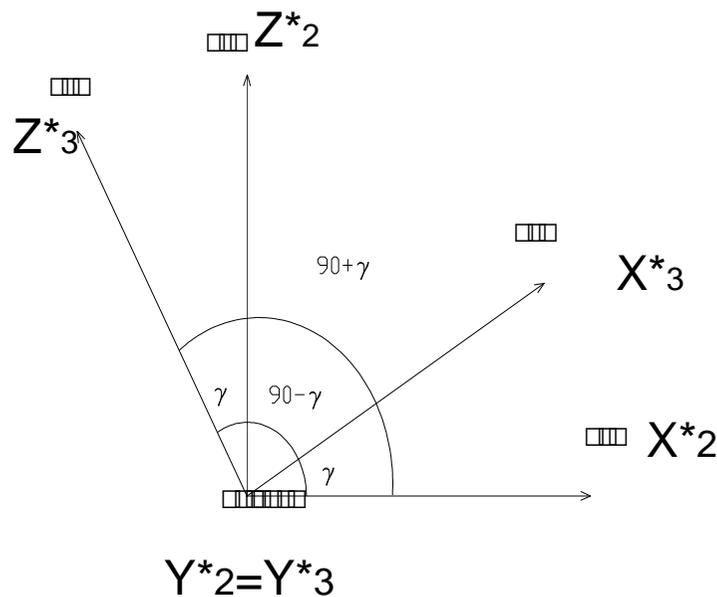


FIG. 64

$$= \begin{vmatrix} \cos \gamma & \cos 90 & \cos(90 - \gamma) \\ \cos 90 & \cos 0 & \cos 90 \\ \cos(90 + \gamma) & \cos 90 & \cos \gamma \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} \cos \gamma & 0 & \text{sen } \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen } \gamma & 0 & \cos \gamma \end{vmatrix}$$

Matrice finale

La matrice finale contiene le 3 rotazioni α, β, γ : si ottiene facendo
 $M = M(\alpha) \times M(\beta) \times M(\gamma)$.

Giacchè si opera con rotazioni successive, occorre vedere qual è la rotazione primaria, quale secondaria e quale terziaria.

$$M = \begin{vmatrix} \cos(X \cdot X) & \cos(X \cdot Y) & \cos(X \cdot Z) \\ \cos(Y \cdot X) & \cos(Y \cdot Y) & \cos(Y \cdot Z) \\ \cos(Z \cdot X) & \cos(Z \cdot Y) & \cos(Z \cdot Z) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

E' una matrice *ortogonale* e dunque i coseni direttori indipendenti sono 3 (o che è lo stesso, i 9 coseni direttori si possono esprimere in funzione di soli 3 parametri angolari).

E' una matrice *ortogonale speciale* perché ha $\Delta=1$.

AUTOVALORI di una MATRICE. Sia il sistema

$$f_1 (x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda) = 0$$

$$f_2 (x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda) = 0$$

.....

$$f_n (x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda) = 0$$

di n equazioni in n incognite. Le funzioni f_i dipendono anche da un parametro λ . Normalmente il sistema ammette soluzioni non nulle in corrispondenza di determinati valori λ_i del parametro λ . Questi valori speciali λ_i si chiamano "auto valori del sistema". Data una matrice (quadrata) A , se troviamo un numero λ tale che $A X = \lambda X$ (essendo X un vettore non nullo). λ dicesi "auto valore".

Gli auto valori di λ coincidono perciò con le n radici della equazione caratteristica (algebraica di grado n) $\det (\lambda I - A) = 0$ essendo $I = A^t A = A A^t$

Controlli e collaudi

Ogni operazione (misure di distanze, di angoli, determinazione di coordinate di punti, di deformazioni, formazione di cartografie, ecc.) deve essere preceduta: 1) da una *progettazione* (schema geometrico, tipi di strumenti da usare, precisioni strumentali, procedure operative), 2) da *controlli* in corso d'opera e 3) da *collaudo* finale.

La progettazione può utilizzare programmi di calcolo che sulla base dei dati iniziali, forniscono una previsione dei risultati ottenibili (ellissi di errori, ecc.) e la possibilità di variare i dati iniziali per raggiungere le volute precisioni.

Il collaudo (ad esempio, per la formazione di cartografie esistono norme previste nei Capitolati d'Appalto) deve essere eseguito con procedure e strumentazioni di ordine almeno superiore rispetto a quelli adoperati nelle operazioni di lavoro, per verificare l'ottenimento dei risultati richiesti in Capitolato. Sono operazioni raffinate e spesso di notevole impegno.

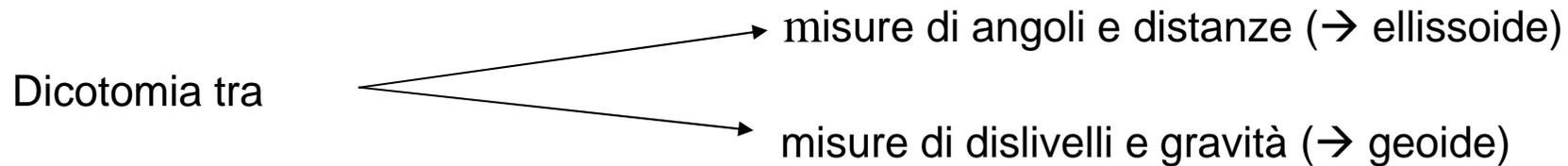
Un capitolo interessante riguarda poi il controllo e la **taratura di strumenti**.

*Breve cenno su cos'è un **programma di calcolo**.*

E' un insieme di istruzioni (in linguaggio macchina) che permette di fare alcune operazioni in maniera automatica sulla strumentazione di misura. Ad esempio: fare una cosa molto banale come la media di due letture A e B (al cerchio azimutale ad esempio). L'operatore effettua la misura A che viene registrata (memorizzata); effettua quindi la misura B che a sua volta viene registrata. Il programma effettua la somma (A+B) e divide per 2, fornendo quindi il risultato che viene a sua volta memorizzato e/o visualizzato. L'operatore ha quindi semplicemente la funzione di effettuare le misure A e B (ad esempio la collimazione a punti) e darne la conferma per attestare di avere fatto quanto richiesto dal programma. Il risultato viene automaticamente fornito ed anche utilizzabile, per altre eventuali successive operazioni. Un buon programma deve quindi indicare quali sono le operazioni che l'operatore deve fare in ordine (ad es. accensione, fornire eventuali dati quali una breve descrizione dell'operazione, il nome dell'operatore, la data, ecc. e dare l'avvio alle operazioni). Molti dati possono essere rilevati in automatico dallo strumento stesso (ad es. la data, l'ora, la temperatura dell'ambiente, ecc.) per permettere di giungere al risultato richiesto. Dalla conoscenza di dati opportuni di partenza, un programma può eseguire tutta una serie di calcoli e di indagini, ad es. statistici, e permettere di effettuare correzioni e rettifiche allo stesso strumento nel senso che possono modificare i dati di partenza, se affetti da certi errori strumentali. Gli strumenti stessi possono risultare "gestiti" dal programma di calcolo, riducendo quindi i compiti dell'operatore (lo strumento può ruotare ad esempio i suoi organi per fare certe operazioni , quali collimare punti di cui si conoscono le coordinate o che vengono "rintracciati" perché resi opportunamente "sensibili"). Sono molti i programmi, anche molto complessi, utilizzati nei più diversi campi.

6-METODI MODERNI di POSIZIONAMENTO

METODOLOGIA CLASSICA (misure geodetiche terrestri)



Trova un limite negli effetti sistematici ed accidentali della rifrazione e nella non tridimensionalità, in un unico sistema, della posizione di un punto.

GEODESIA SPAZIALE: tecniche che si servono, in differenti modi, dei *satelliti*; trovano applicazione in campo regionale, ma collegano tra loro punti distanti anche migliaia di chilometri. Permettono la determinazione assoluta delle coordinate in qualsiasi punto della Terra. Si basano sulla misura del tempo necessario alla onde emesse dal satellite, per giungere da questo ad un ricevitore a terra. Occorre conoscere bene la posizione, in ogni istante e l'orbita, del satellite in oggetto.

Per fare questo esistono varie tecniche:

- LASER: misura il “range” stazione - satellite. Precisione elevata (5/10 cm). Richiede visibilità del bersaglio. Difficoltà di manovra. Trasporto difficile. Costoso.
- DOPPLER: misura “differenze di range” stazione - satellite. Precisione media.
- G.P.S.: misura “pseudo-range”. Precisione elevata. Tempo di osservazione modesto. Opera in tutte le condizioni meteorologiche. Facilmente trasportabile. Costo contenuto.
- G.P.S. – INTERFEROMETRIA

GEODESIA INERZIALE: tecniche che si servono dei sistemi inerziali. Hanno applicazioni locali. Collegano punti poco distanti tra loro (< 100 Km). Utilizzano, ad esempio, piattaforme stabilizzate, composte da tre *giroscopi*, montati in genere lungo assi perpendicolari; su questi assi sono spesso vincolati tre *accelerometri* (che misurano essenzialmente la forza necessaria a mantenere in equilibrio una massa nota, vincolata a muoversi in una sola direzione, quella dell’asse dell’accelerometro).

SISTEMI V.L.B.I. (Very Long Base-line Interferometry): basati sul confronto tra segnali provenienti da sorgenti stellari extra-galattiche. Non è un sistema pratico, richiede attrezzature speciali, ma raggiunge notevoli precisioni.

G.P.S.

NAVSTAR G.P.S.

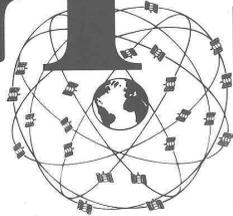
(NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System)

Nasce nel 1973; il 1° satellite viene lanciato nel 1978 (U.S.A.).

Sistema articolato in:

- **SEGMENTO SPAZIALE**: riguarda un certo numero di satelliti attorno alla Terra
- **SEGMENTO di CONTROLLO**: riguarda un certo numero di stazioni a Terra
- **SEGMENTO di UTILIZZO**: riguarda gli Utenti

GPS



GLOBAL POSITIONING SYSTEM



SATELLITES

24 satellites
12 hour period
20200km above Earth



RECEIVER

Track code and phase
Extract message
Compute position



CONTROL SYSTEM

Time synchronization
Orbit prediction
Data injection
Satellite health monitoring

SEGMENTO SPAZIALE

Il segmento spaziale comprende **24 satelliti**, di cui 3 sono satelliti di “scorta”.

I 3 satelliti di scorta sono tenuti spenti e pronti ad intervenire nel caso in cui uno di quelli attivi vada in avaria.

La vita media stimata per questi satelliti è di circa 7 anni.

Sono distribuiti su 6 piani orbitali (4 per piano) ugualmente spazati in longitudine (ascensione retta) di 60°.

Descrivono orbite circolari, con inclinazione di 55° dall'equatore.

Si trovano ad una distanza dalla superficie della Terra di circa 20.200 km.

Hanno un periodo di rivoluzione di 12 ore siderali, quindi ogni satellite sorge sopra un certo punto della Terra 4 minuti circa prima ogni giorno.

Ogni satellite è visibile, per un osservatore a Terra, al massimo 5 ore rispetto al periodo di 12 ore.

FUNZIONI PRINCIPALI dei SATELLITI:

1. Trasmettere due differenti tipi di segnali: L1 e L2, due onde radio portanti utilizzate per la determinazione dei punti a Terra
2. Ricevere e ritrasmettere informazioni trasmesse da Terra, ovvero dal sistema di controllo
3. Mantenere un segnale di tempo molto accurato (orologi atomici)
4. Eseguire manovre di correzione d'orbita

FIG. 65



Satellite G.P.S.

SEGMENTO SPAZIALE

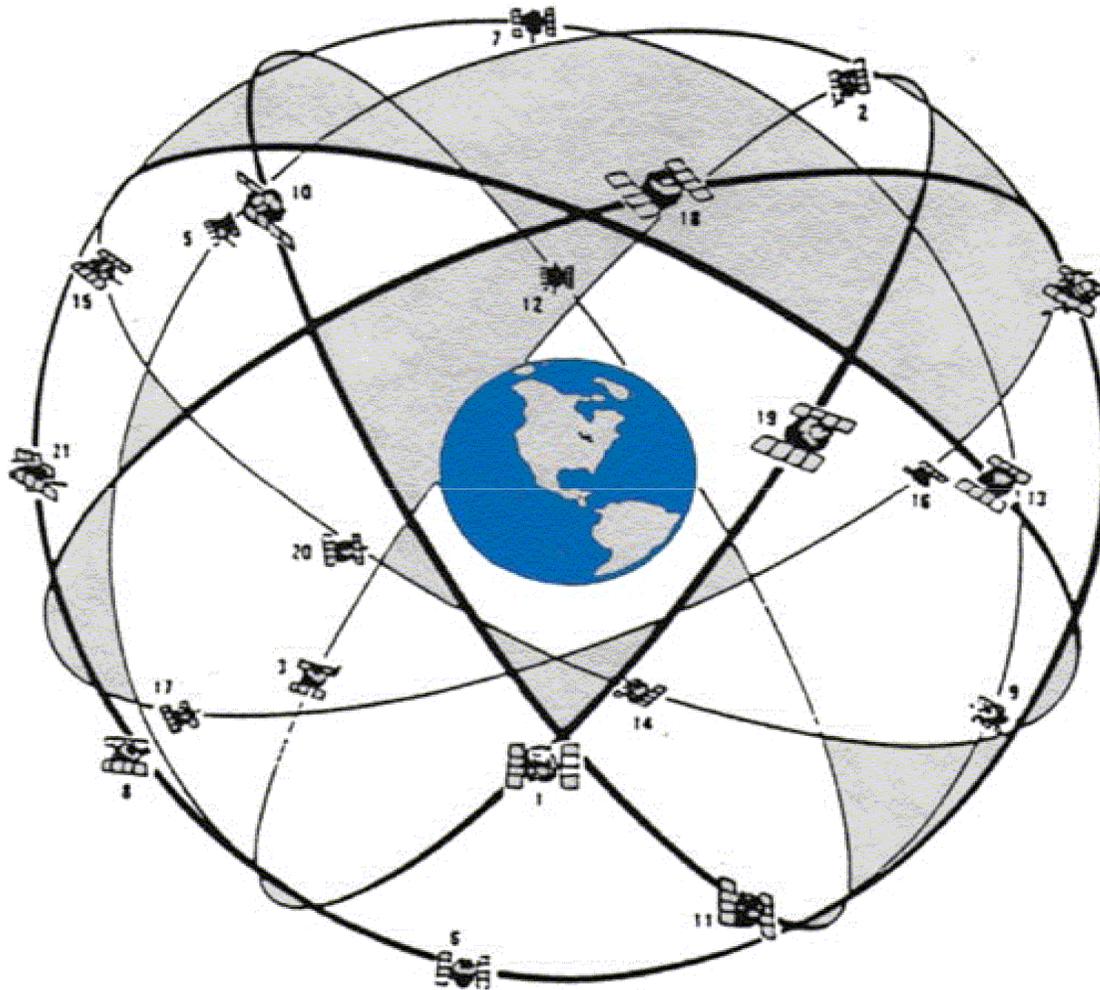


FIG.66

Schema di SATELLITE G.P.S.

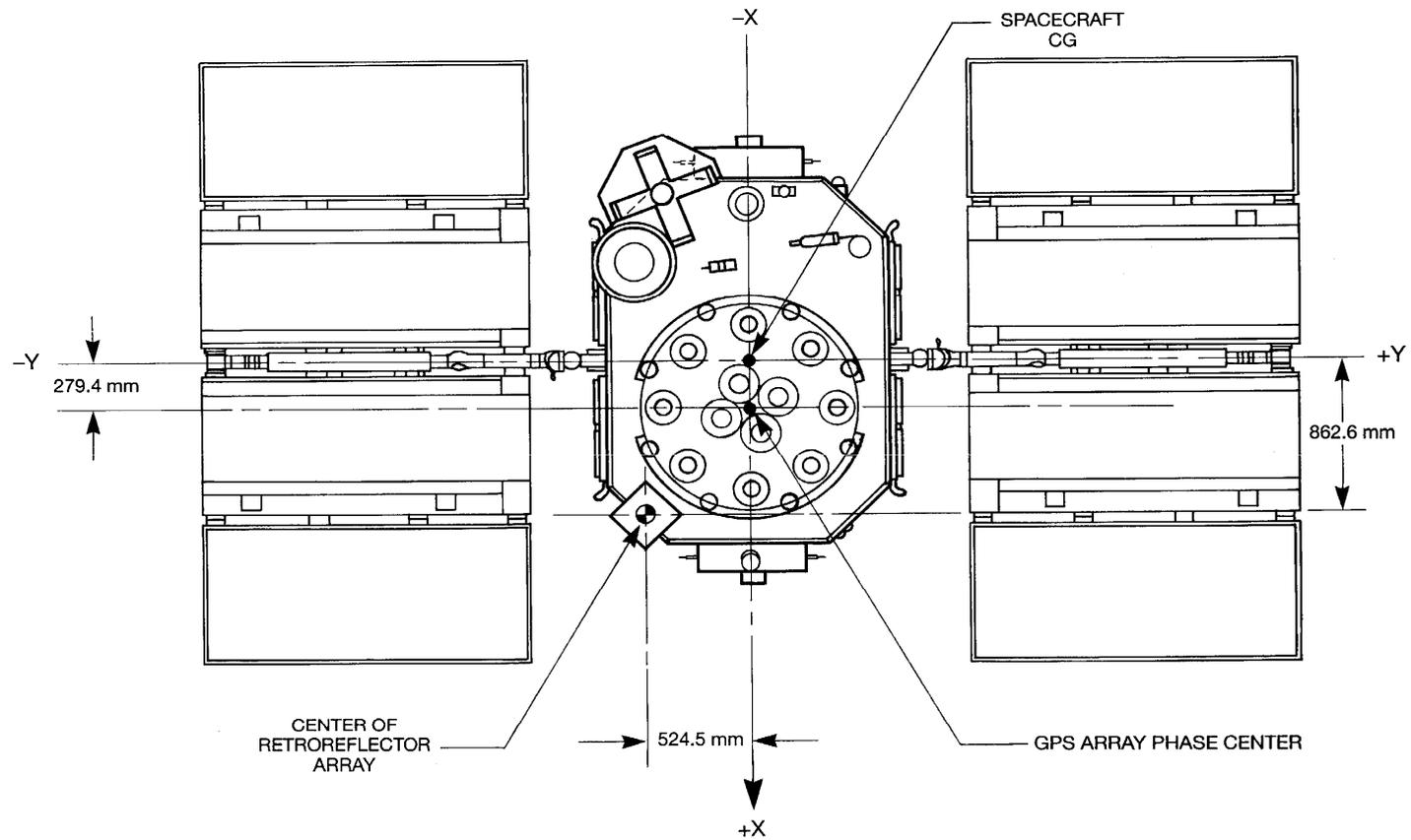


FIG.67

SATELLITI TERRESTRI ARTIFICIALI

Il nome “*satellite artificiale*” viene dato in generale a qualsiasi massa materiale (con o senza equipaggio) che sia stata messa in orbita dall’uomo nello spazio; in particolare si fa riferimento sempre a satelliti artificiali terrestri, cioè in orbita attorno alla Terra. Le orbite possono essere ellittiche o circolari, variamente inclinate rispetto al piano equatoriale, con periodicità diverse, dipendenti dalle caratteristiche geometriche e cinematiche dell’orbita stessa. In ogni istante ed in ogni punto dell’orbita, la forza gravitazionale F è bilanciata dalla forza centrifuga f :

$$F = G[(Mm)/r^2] \qquad f = m\omega^2r$$

In riferimento alle orbite circolari, valgono le seguenti relazioni:

$$V = \sqrt{GM/r}; \qquad T = [2\pi/(\sqrt{GM})]r\sqrt{r} = h r\sqrt{r};$$

G = COSTANTE GRAVITAZIONALE

T = periodo orbitale

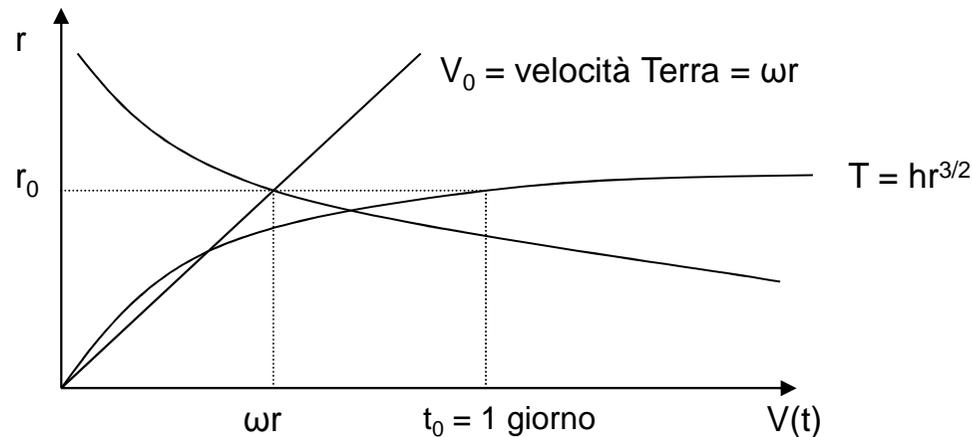
m = massa satellite

M = MASSA DELLA TERRA

V = velocità del satellite

r = raggio dell’orbita circolare

FIG.68



A seconda della loro altezza sulla superficie terrestre e delle inclinazioni rispetto alla fascia equatoriale, i satelliti artificiali sono costruiti con caratteristiche comportamentali diverse. Bisogna raggiungere un compromesso, cercando di combinare la distanza dalla Terra con la velocità del moto lungo l'orbita.

Per $r = r_0 = 36000 \text{ km}$ risulta $V = \omega r_0$, cioè la velocità angolare del satellite è pari a quella terrestre e i periodi di rotazione della Terra e dell'orbita satellitare coincidono. Il satellite è quindi solidale con la Terra e si dice **geosincrono**. Se poi il piano equatoriale terrestre coincide con quello orbitale, il satellite appare ad un osservatore terrestre in ogni istante fermo e si dice **geostazionario**.

Il moto del satellite, inerziale in campo gravitazionale, dal momento in cui non è più soggetto alle forze propulsive che l'hanno posto in orbita, è regolato in prima approssimazione dalle leggi di Keplero.

Visibility

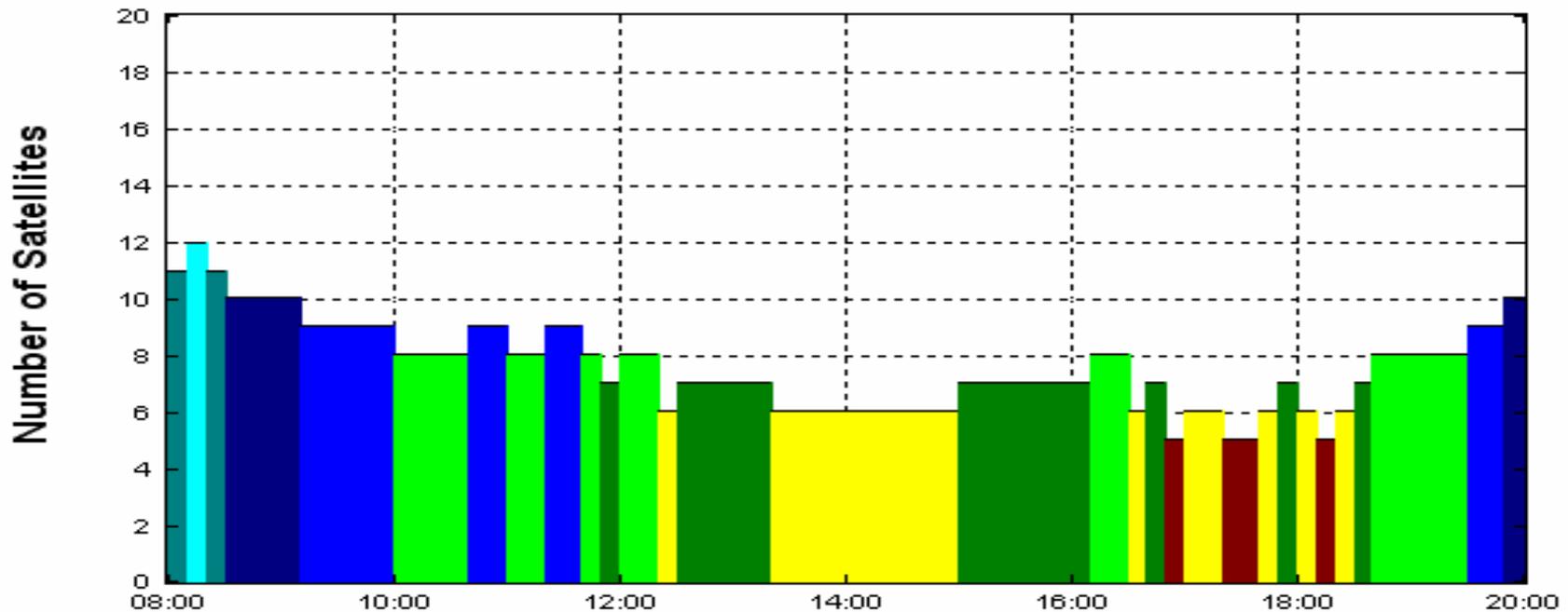
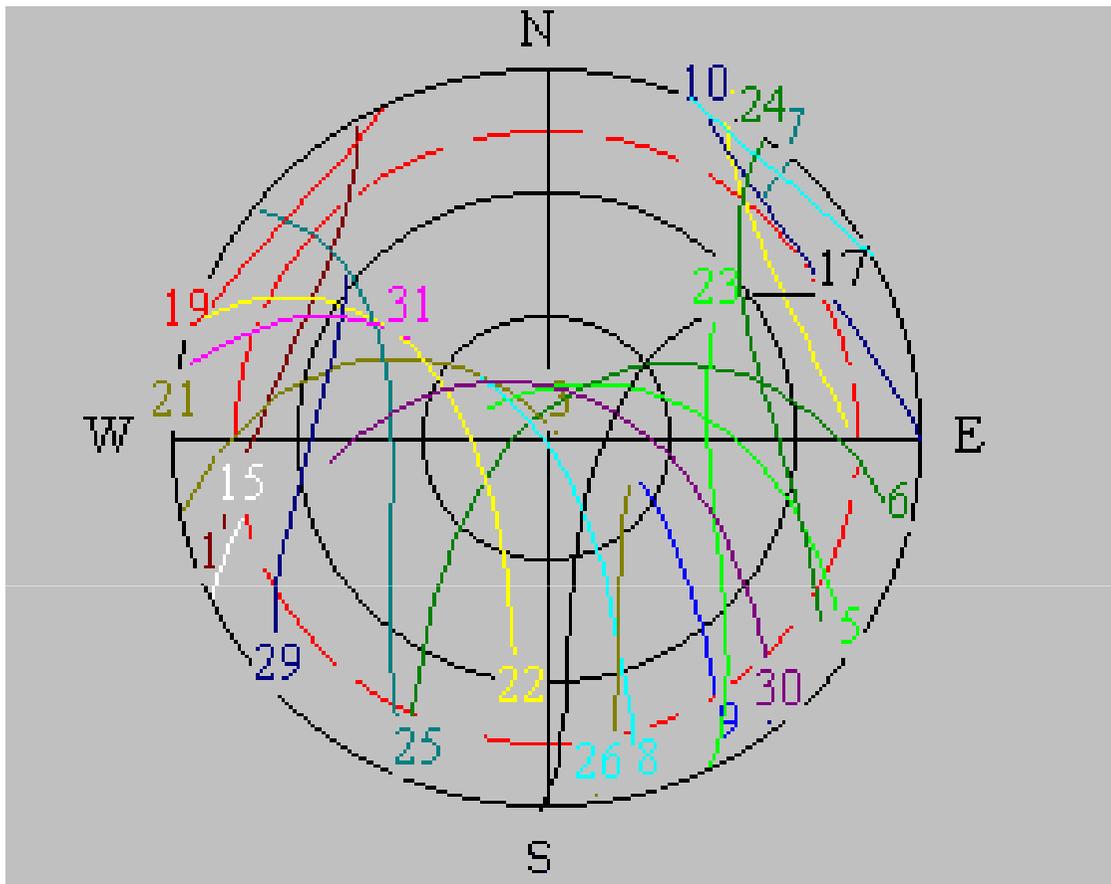


FIG.69

Station New York, USA, North 42° 48' West 72° 54' Height 20m
Time 7/6/2006 08:00 - 7/6/2006 20:00 (GMT-4.0h)

Elevation cutoff 15° Obstacles 0%
Satellites 35 GPS 28 Glonass 7 [Almanac.alm]

I diagrammi di questo tipo servono per vedere quali satelliti sono visibili in certe ore in una certa stazione.



**Proiezione delle orbite dei satelliti
SKY PLOT**

Questo diagramma è una rappresentazione polare del percorso sulla sfera celeste, dei satelliti, in funzione della loro elevazione (rappresentata dai cerchi concentrici) ed azimut.

FIG.70

Lo SPAZIO con varie orbite di alcuni Satelliti

(GPS, ERS, RESOURS,
MIR)

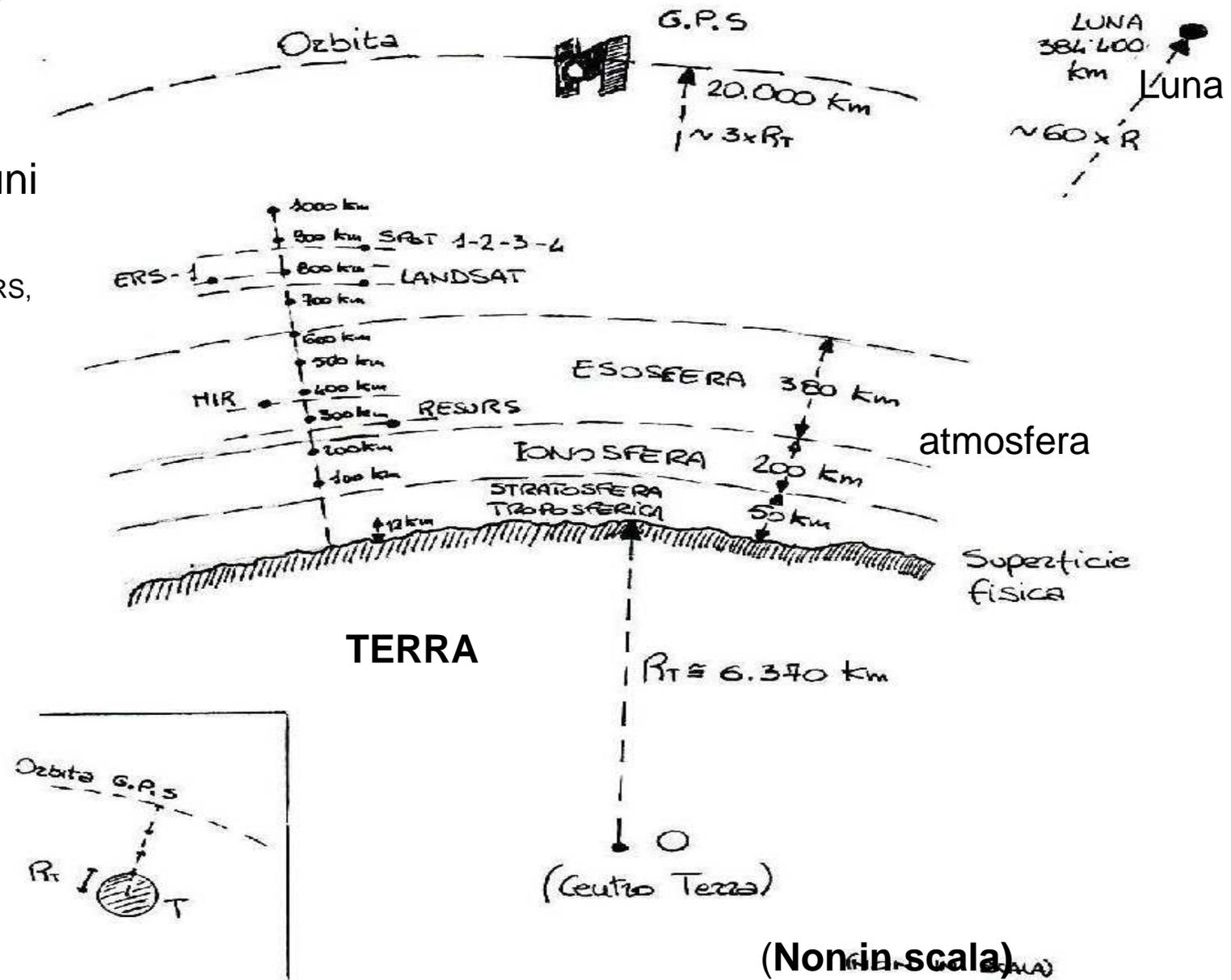


FIG.71

SEGMENTO di CONTROLLO

Comprende **5 STAZIONI a Terra**, equispaziate lungo la fascia equatoriale, con posizioni note con elevata precisione (previste 14 stazioni).

Le stazioni hanno le seguenti funzioni :

- ricevono continuamente i segnali dei satelliti (monitoraggio : controllo delle effemeridi e delle orbite)
- possono inviare dei messaggi ai satelliti con nuove efemeridi, parametri di correzione orologi e dati sul modello ionosferico
- la MASTER CONTROL STATION è Colorado Springs: raccoglie tutti i dati delle altre stazioni, effettua operazioni di compensazione delle effemeridi (efemeridi di riferimento, broadcast efemeridi ed efemeridi post-calcolate) e degli errori degli orologi dei satelliti e ne controlla gli spostamenti rispetto alle orbite nominali.

STAZIONI di CONTROLLO



FIG.72

SEGMENTO di UTILIZZO

E' rappresentato da tutti gli Utenti, civili e militari.

L' equipaggiamento, più o meno sofisticato, comprende :

- un'antenna
- un ricevitore capace di ricevere i segnali emessi dai satelliti (in teoria,ne basterebbero 3)

Esistono diversi tipi di ricevitori e diversi programmi commerciali e scientifici per il *processamento* dei dati.

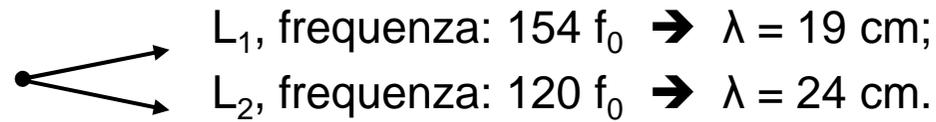
E' necessario ricevere i segnali da più di 3 satelliti contemporaneamente (per tenere conto di un possibile asincronismo tra i vari orologi interessati, per disturbi di rifrazione dei segnali nella ionosfera, ecc.). Gli orologi dei ricevitori sono di solito del tipo a quarzo, di precisione inferiore rispetto agli orologi dei satelliti.

In che modo i segnali G.P.S. forniscono il posizionamento di punti sulla superficie terrestre? (analogia con il noto problema del “*vertice di piramide*” in Fotogrammetria o “*intersezione inversa*”).

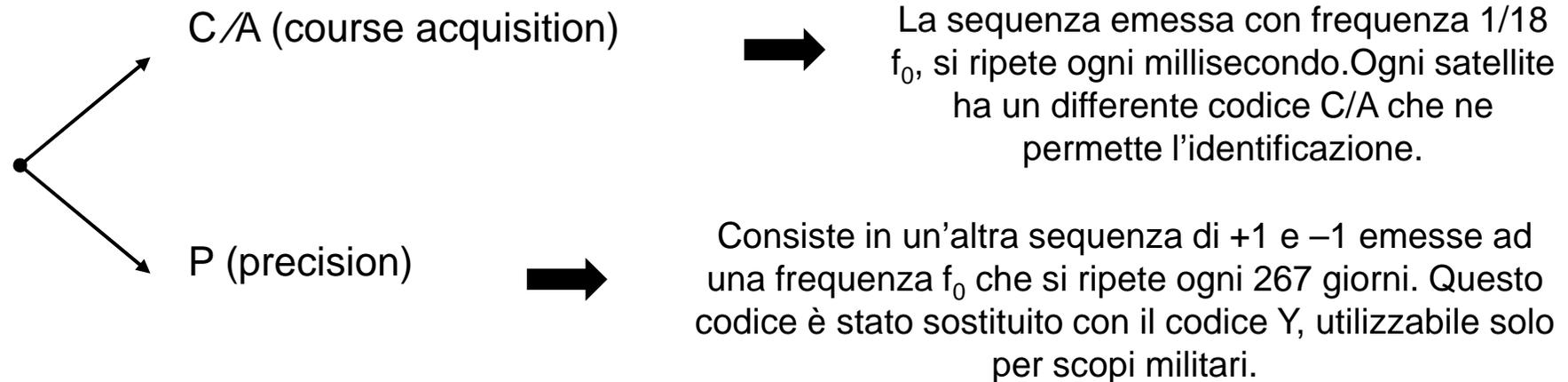
Vediamo quali segnali vengono inviati dai satelliti. Il segnale, abbastanza complesso, è costituito da diverse componenti che, per la maggior parte, vengono generate a partire dalla stessa frequenza fondamentale $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$ (frequenza di base dell'oscillatore del satellite).

LE COMPONENTI SONO:

1. Due onde portanti:



2. Due codici (pseudo-random, perché generati a partire da una sequenza casuale di +1 e -1, che si ripete dopo un certo intervallo):



3. Un'altra sequenza di +1 e -1 con frequenza 50 Hz è detta **messaggio D**. Serve ad informare l'utente sullo stato di salute e di posizione del satellite, fornire i parametri di correzione degli orologi del satellite e inviare altre informazioni necessarie al posizionamento.

LE ONDE PORTANTI

Entrambe le PORTANTI sono modulate da codici:

- L_1 modulata con codice P;
- L_1 (sfasata di 90°) modulata con codice C/A;
- L_2 modulata con codice P.

Tutte le componenti trasportano il messaggio D.

IL SEGNALE COMPLETO puo' essere così rappresentato:

$$\mathbf{S} = \mathbf{S}_{L1} + \mathbf{S}_{L2} = A_C \mathbf{C}(t) \mathbf{D}(t) \sin(2\pi f_1 t + \Phi_1) + A_P \mathbf{P}(t) \mathbf{D}(t) \cos(2\pi f_1 t + \Phi_1) + \\ + A_P \mathbf{P}(t) \mathbf{D}(t) \cos(2\pi f_2 t + \Phi_2)$$

Se si considerano note le posizioni dei satelliti nello spazio e si valutano le distanze tra i satelliti ed il punto di stazione (pseudorange), è possibile ottenere la posizione del punto di stazione, in un opportuno sistema di riferimento (ad esempio WGS84).

Perché il segnale G.P.S. è così complicato?

CI SONO DIVERSE RAGIONI:

- E' un sistema a molti utilizzatori;
- Ci sono problemi di sicurezza;
- Ogni satellite deve essere individuato attraverso il suo segnale (ogni satellite ha un suo codice);
- C'è il problema dell'ambiguità del numero intero di cicli per la misurazione della fase e ciò rende necessario l'uso della modulazione del segnale;
- Occorre conoscere la posizione del satellite: ciò si ottiene con il messaggio D;
- Per avere la precisione dell'ordine delle decine di metri occorre l'utilizzo di un codice ad alta frequenza assieme al codice P;
- Per poter applicare delle correzioni per l'effetto della ionosfera, sul segnale si ha la necessità di due diversi portanti, poiché tale effetto dipende dalla frequenza del segnale;
- L'esistenza di utenti militari e civili porta all'uso di due codici: il C/A noto a tutti e il codice Y noto solo ai militari.

G.P.S. – I SEGNALI GENERATI

Il ricevitore, grazie all'almanacco e alle effemeridi, individua quali satelliti cercare per il posizionamento.

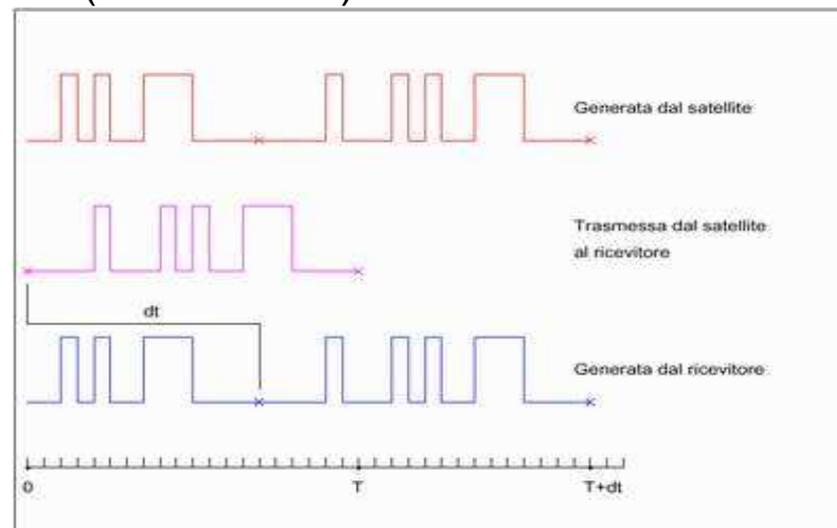
Per ricercare questi satelliti il ricevitore (che ha al suo interno memorizzate i PRN di ogni satellite) sovrappone ai dati in uscita al demodulatore, il PRN del satellite cercato per mezzo di uno “shift register”.

Nel momento in cui i PRN si sovrappongono, un circuito dedicato ne rileva la somiglianza e inizia così la decodifica del segnale NAV e la prima acquisizione dei ritardi di propagazione dovuti alla distanza dai satelliti.

Questa prima acquisizione avviene sincronizzando l'orologio del ricevitore con quello del satellite e producendo, nello stesso istante, il codice C/A (o il codice P).

Quando il ricevitore riceve il codice, lo “shifta” fino a sovrapporlo a quello prodotto da se stesso, ottenendo una relazione tra quant'è l'ampiezza dello shift e il tempo impiegato dal segnale per giungere a terra ($T+dt$).

FIG.73



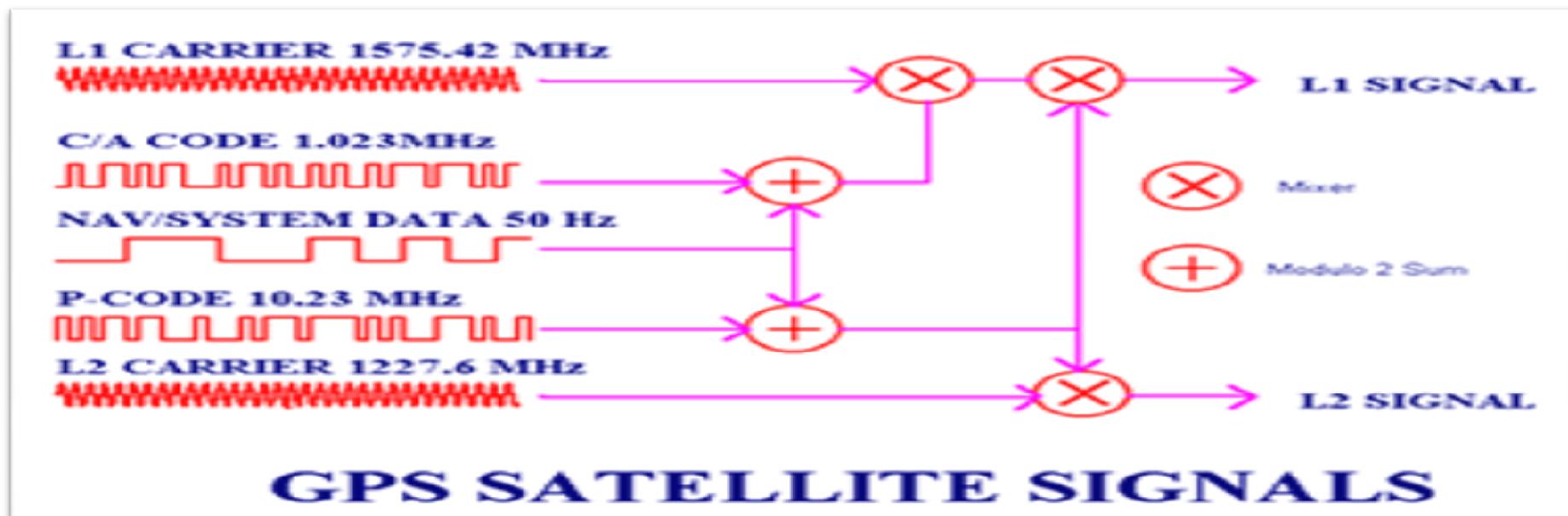
I SEGNALI per il POSIZIONAMENTO

I satelliti inviano segnali a terra utilizzando onde elettromagnetiche della banda UHF (300 Mhz – 3 Ghz) e più precisamente, come già detto, su due portanti di frequenze diverse:

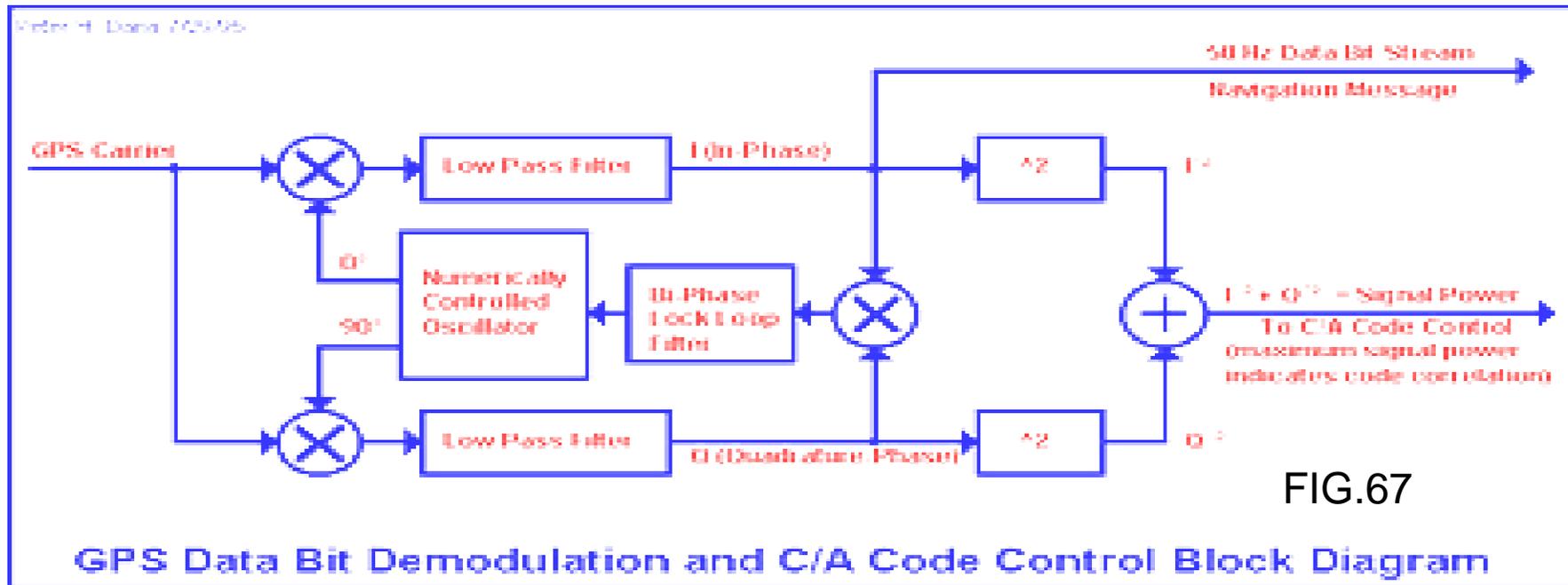
L1 --> 1575,42 Mhz (lunghezza d'onda 0.19 m) - utilizzata per trasportare i codici C/A, P, NAV

L2 --> 1227,6 Mhz. (lunghezza d'onda 0.24 m) - utilizzata per trasportare il codice P e per eliminare gli offset ionosferici

Queste portanti (ricavate da una frequenza fondamentale prodotta dagli orologi atomici di 10,23 Mhz) vengono modulate in BPSK (Binary Phase Shift Keying).



La demodulazione avviene tramite un circuito demodulatore PSK il cui schema a blocchi è del tipo seguente:



Dopo l'acquisizione dei ritardi nell'invio dei segnali di almeno quattro satelliti, il ricevitore è in grado di calcolare le distanze reali rispettive dai satelliti e di conseguenza la propria posizione in latitudine, longitudine, altitudine, tempo nonché la velocità.

PRECISIONI dei G.P.S.

La precisione che si può conseguire, con strumenti GPS per topografia e con procedure particolari, può arrivare all'ordine del centimetro ed anche meno (misure con differenze di fase, con stazione fissa di riferimento, ecc..). **L'approccio interferometrico** consiste nell'elaborazione dei dati acquisiti da almeno due ricevitori operanti contemporaneamente in punti diversi; tale approccio porta alla stima della **base** fra i due punti.

Dalla misura della base e dalla conoscenza a priori della posizione della stazione fissa si ottengono le coordinate dell'altro punto (con notevole precisione, in funzione anche del tempo impiegato).

Tabella indicativa con confronti tra distanze e tempi di rilevamento

T \ D	1 km	10 km	50 km	1000 km
10 min	1,5 cm	2,5 cm	5 cm	-
1 ora	1 cm	1,5 cm	2 cm	-
24 ore	0,3 cm	0,5 cm	< 1 cm	1,5 cm
1 settimana	0,1 cm	0,1 cm	0,3 cm	< 1 cm

In generale, si hanno le seguenti precisioni intrinseche generali dalle caratteristiche di base:

	Singola frequenza	Doppia frequenza
codice P	5 m	3 m
codice C/A	50 m	5 m
portante (statica)	-	0,01 ppm
portante (cinematica)	-	< 10 cm

PROCEDURE OPERATIVE

PROCEDURE
STATICHE

P. STATICA

Per punti di rete,
sottorete, ecc.

P. STATICA VELOCE
(fast static)

Per punti di infittimento e
punti di appoggio in
fotogrammetria.

PROCEDURE
DINAMICHE

P. PSEUDOSTATICHE

Per punti di infittimento e
punti di appoggio in
fotogrammetria.

P. CINEMATICHE

Rilevamento di dettaglio,
profili, sezioni, ecc.

Alcune considerazioni generali
per le **distanze**:

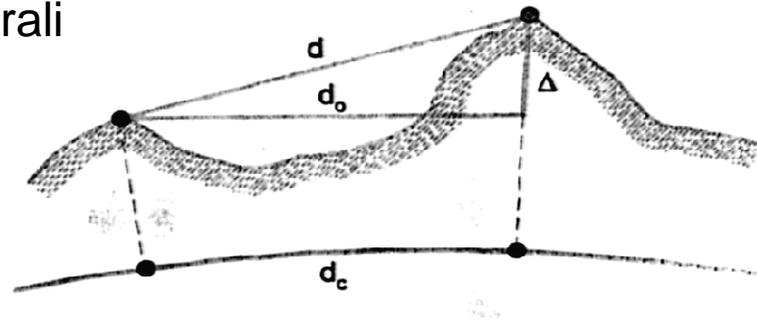


FIG.74

Essendo noti la distanza d e il dislivello Δ , si calcolano:

$$d_0 = \sqrt{d^2 - \Delta^2}$$

$$d_c = d_0 \left(1 + \frac{Q_m}{R} \right)$$

Ed infine la distanza ridotta alla deformazione cartografica:

$$d_{cart} = d_c \cdot m$$

con m = modulo di deformazione lineare dato da:

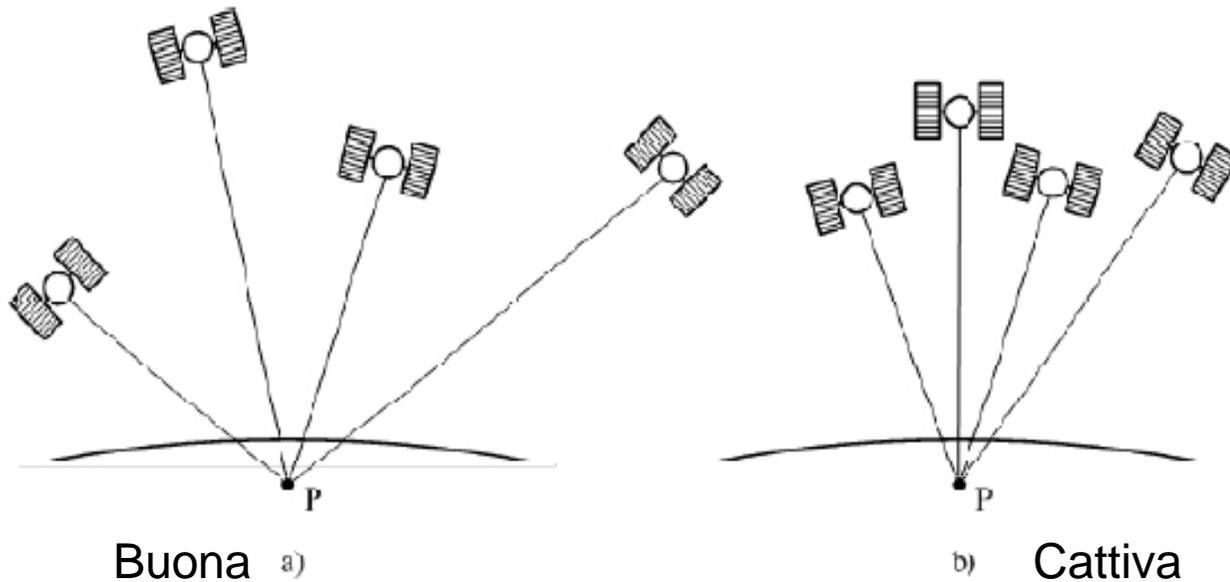
$$m = 0.9996 + \frac{(E_m - E_o)^2}{2 \rho N}$$

Per un calcolo veloce della precisione ottenibile con sistemi GPS nella misura di una linea di base (**baseline**) si può utilizzare la seguente espressione:

$$\frac{\text{errore di coordinata del punto}}{\text{lunghezza della baseline}} = \frac{\text{errore dell'orbita}}{\text{distanza geocentrica dal satellite}}$$

da cui si ricava che: “errori di orbita di 10 metri portano ad errori di circa 4 cm per una “baseline” di lunghezza 100 km”.

PRECISIONE in funzione della POSIZIONE SPAZIALE dei Satelliti utilizzati



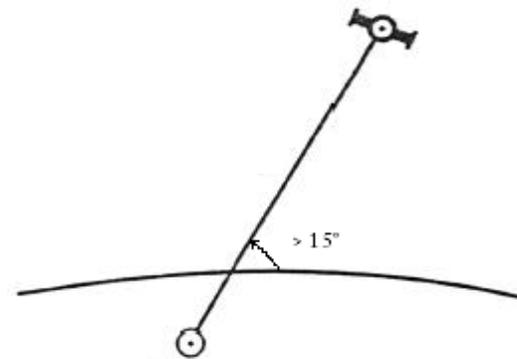
(a) Buona geometria satellitare; (b) cattiva geometria satellitare

$$\sigma_f = GDOP \cdot \sigma_o$$

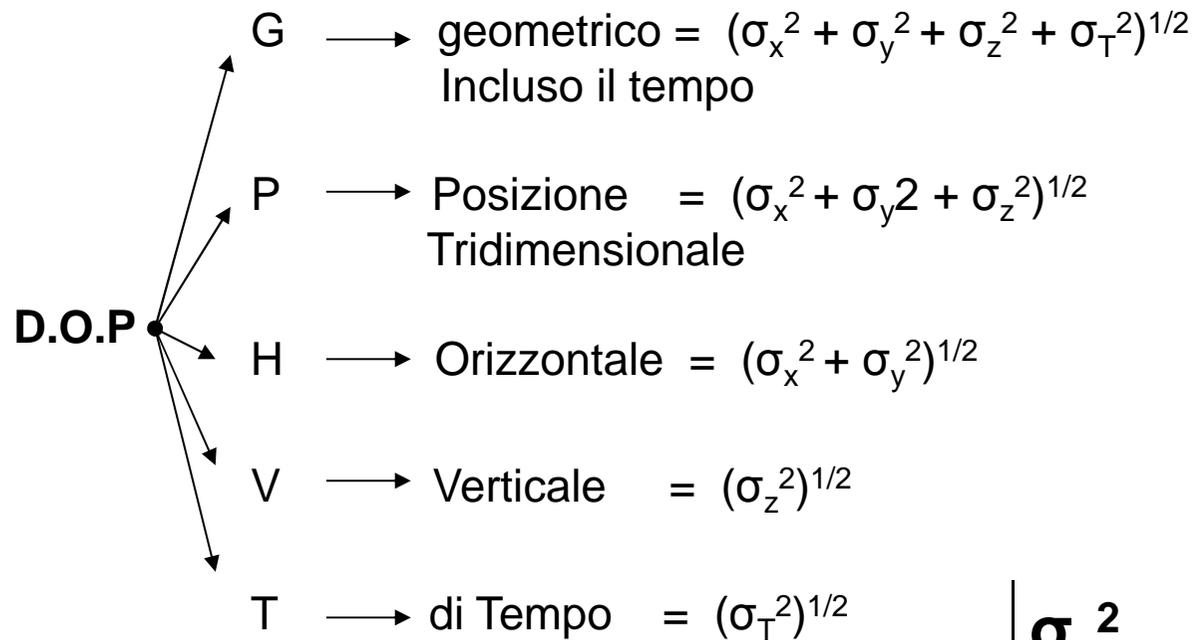
FIG. 75

$$PDOP < 7$$

FIG.70



Inclinazione accettabile



C_{xx} = matrice di varianza-covarianza
delle coordinate stazione
(per pesi unitari)

$$= \begin{vmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy}^2 & \sigma_{xz}^2 & \sigma_{xT}^2 \\ \sigma_{xy}^2 & \sigma_y^2 & \sigma_{yz}^2 & \sigma_{yT}^2 \\ \sigma_{zx}^2 & \sigma_{zy}^2 & \sigma_z^2 & \sigma_{zT}^2 \\ \sigma_{Tx}^2 & \sigma_{Ty}^2 & \sigma_{Tz}^2 & \sigma_T^2 \end{vmatrix}$$

D.O.P.=Dilution of Precision= fattori statistici
sulla variazione della precisione, nei vari casi.

SISTEMI di COORDINATE

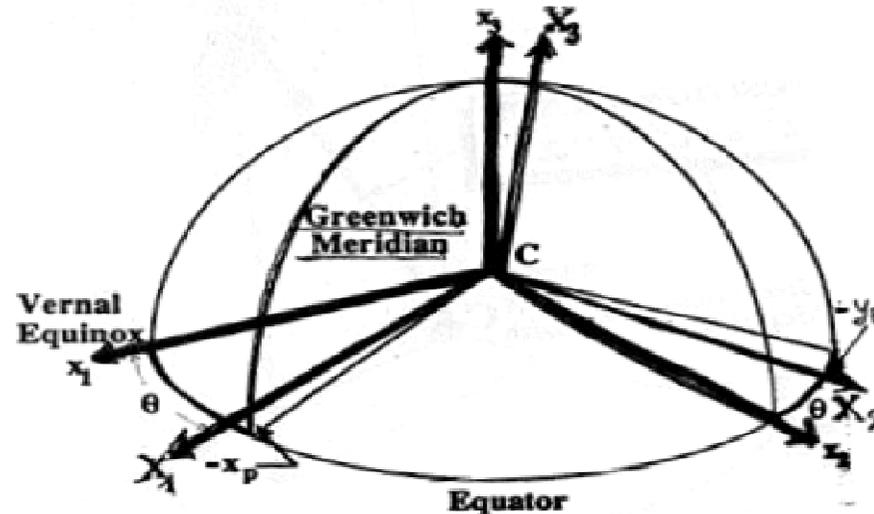


FIG.76

Si riportano i due principali sistemi:

SISTEMA **RA** (x_1, x_2, x_3) = descrive il moto del satellite

SISTEMA **CT** (X_1, X_2, X_3) = si riferisce al posizionamento terrestre

Relazione tra i due sistemi :

θ = tempo siderale apparente di Greenwich

x_p, y_p = componenti del movimento polare

POSIZIONAMENTO ASSOLUTO

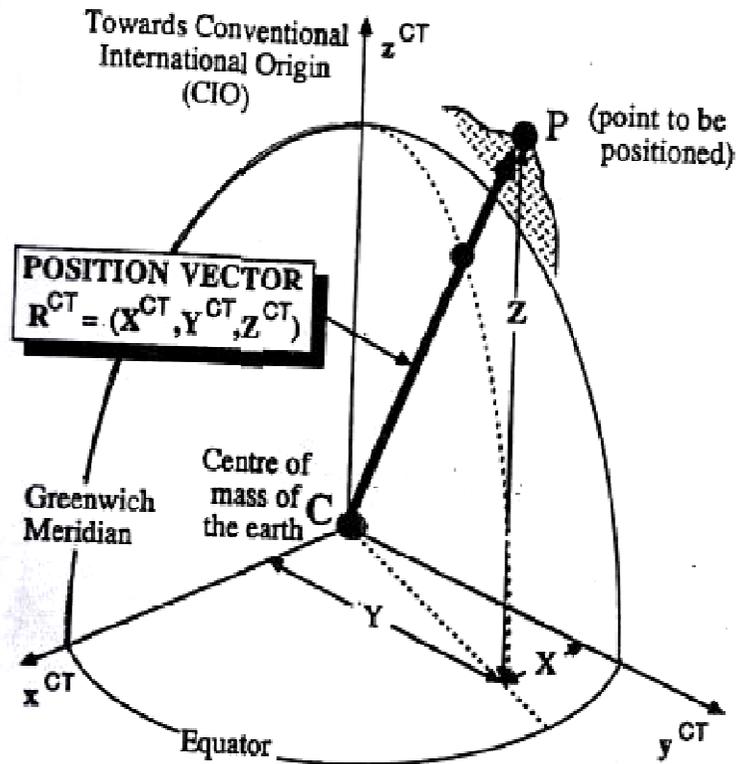


FIG. 77

Si utilizza il

SISTEMA CONVENZIONALE TERRESTRE (CT):

L'ellissoide di riferimento è geocentrico e si sceglie di solito il **WGS84** (usato in Cartografia).

L'ellissoide geocentrico è collegato al "campo normale" U .

Sappiamo che la relazione tra il campo normale e reale è $W = U + T$, essendo T il potenziale anomalo (si veda in Geodesia anche il problema della determinazione della "deviazione della verticale" e quello dell'ondulazione del geoide).

Sulla ONDULAZIONE del GEOIDE

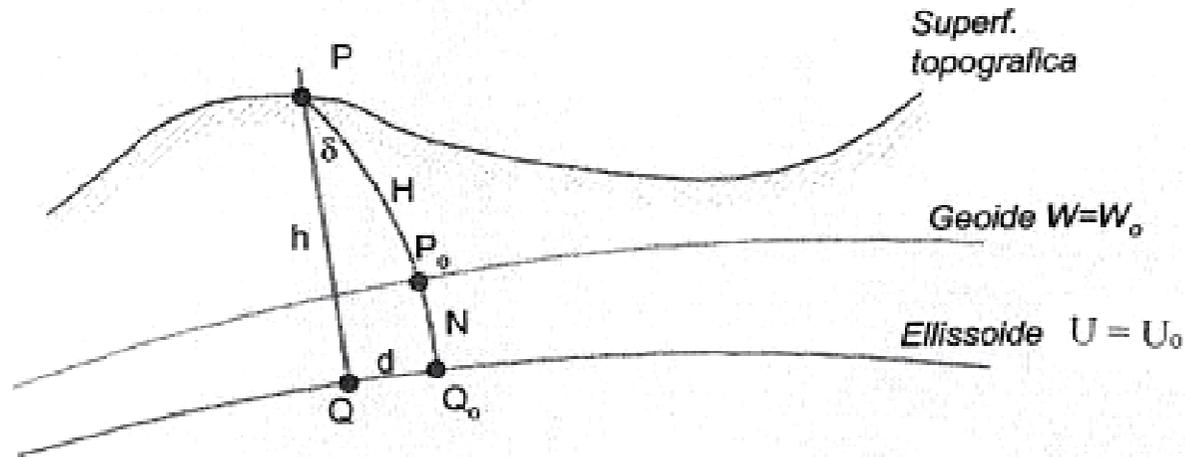


FIG.78

$h = PQ$ = altezza ellissoidica (rispetto a quale ellissoide?)

$H = PP_0$ = altezza ortometrica (rispetto al geide) ottenuta per livellazione geometrica con correzioni ortometriche, calcolate da misure gravimetriche (quantità molto piccola).

$d = QQ_0 = h \cdot \delta$

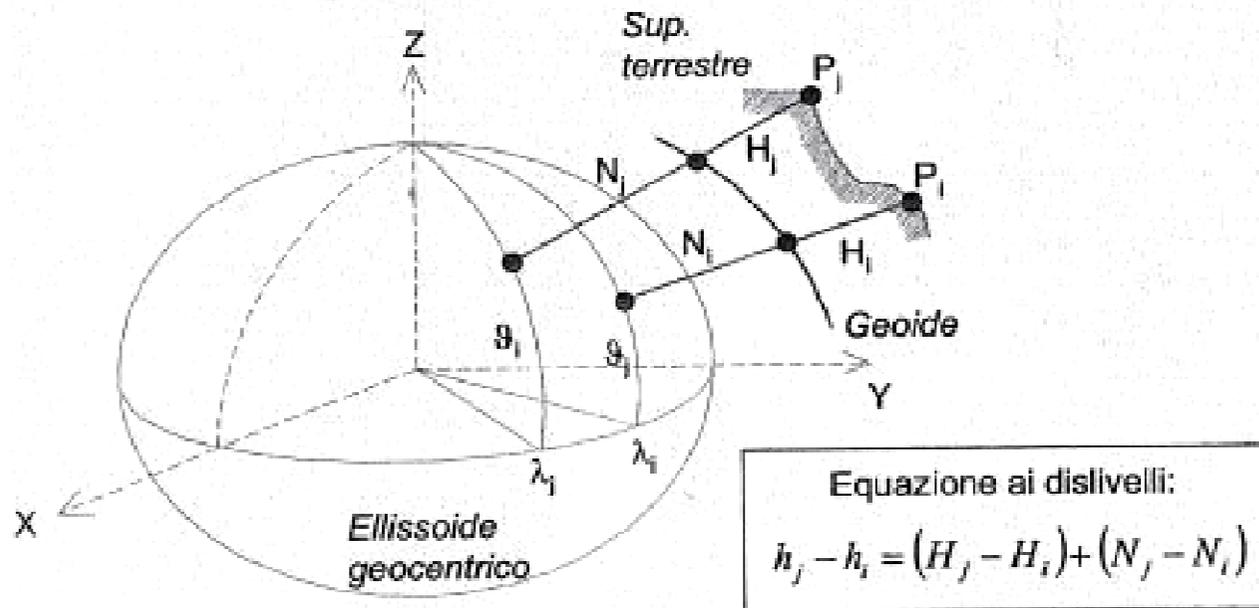
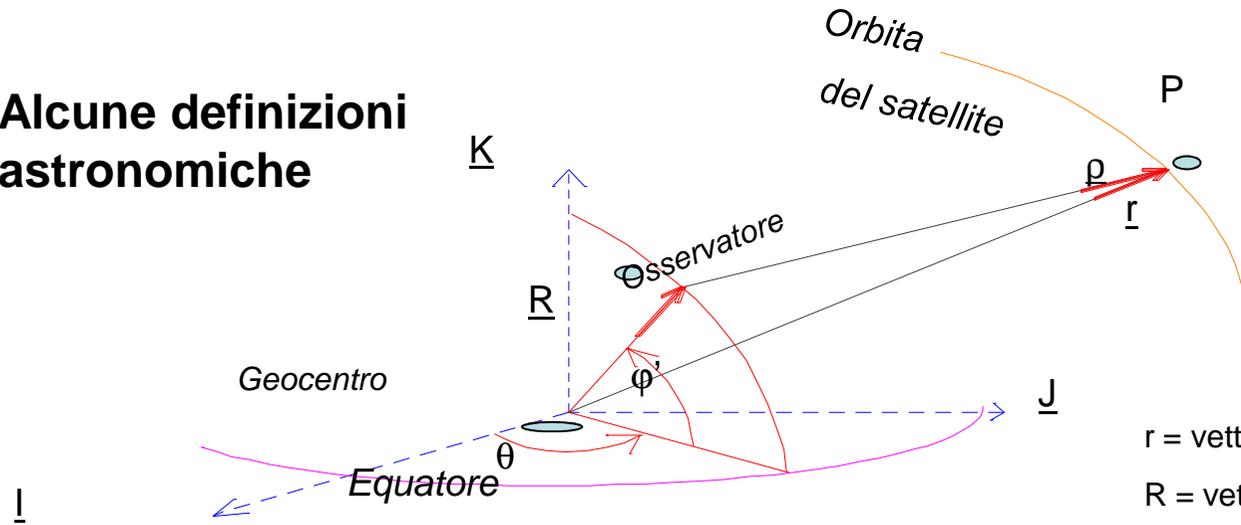


FIG.79

In Italia, il **geoide** presenta ondulazioni N di qualche metro sull'ellissoide (Locale) nazionale e di qualche decina di metri (attorno a 50 m) sull'ellissoide relativo a WGS84 (geocentrico).

In generale, il geoide rispetto ad un ellissoide di riferimento ha oscillazioni massime inferiori a 200 metri, distribuite su lunghezze d'onda che vanno da pochi ad alcune migliaia di chilometri.

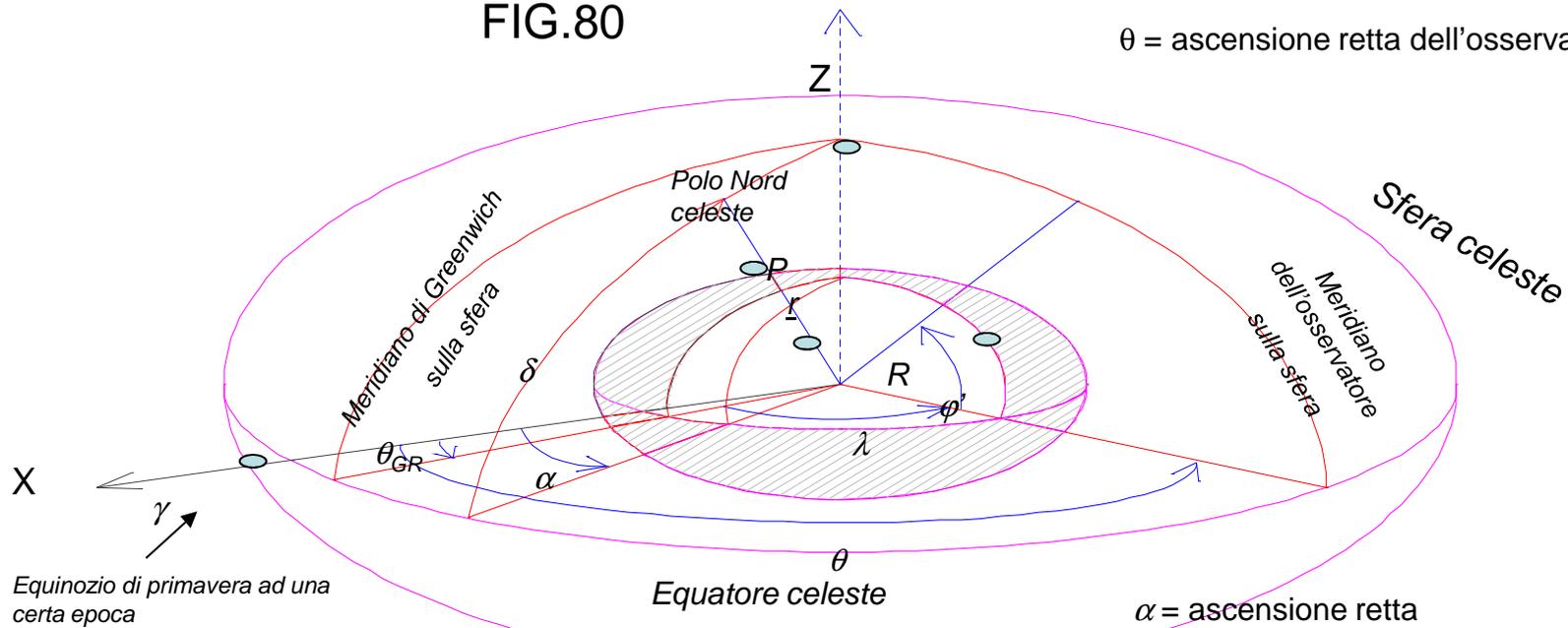
Alcune definizioni astronomiche



I, J, K: fissi

- r = vettore di posizione del corpo (satellite)
- R = vettore di posizione dell'osservatore
- ρ = vettore distanza
- φ' = latitudine geocentrica dell'osservatore
- θ = ascensione retta dell'osservatore

FIG.80



Equinozio di primavera ad una certa epoca

α = ascensione retta

Sistema GPS differenziale in tempo reale

Componenti del sistema

GPS Antenna

Controller

Receiver

Tutti i componenti sono necessari sia per la stazione base che per quella mobile

FIG.81



Qualche esempio:

Particolare modello GPS

Topcon, TURBO-S II

Funzioni e caratteristiche:

TURBO-S II è stato realizzato per captare frequenze singole e duali; questo garantisce una precisione addirittura sub-centimetrica. Permette di selezionare la modalità di misurazione prescelta tra quella automatica (per misurazioni statiche, rapido - statiche, sequenziali e in movimento) e la modalità puramente statica (nel caso di un utilizzo statico o rapido-statico).

In sintesi: si hanno strumenti a singola e a doppia frequenza, con sistema di correzione RTK, per l'effettuazione di rilievi in tempo reale.. Di solito, sono collegati ad apposito software. Si hanno sistemi che possono migliorare la ricezione anche in presenza di ostacoli e strumenti che non richiedono l'uso di prismi o anche con inseguimento automatico dei punti. Si hanno anche strumenti finalizzati ad usi diversi :oggi sono molto utilizzati i così detti "*ricevitori palmari o da tasca*", di piccole dimensioni ma con prestazioni di solito più modeste.

Leica SmartStation: stazione totale con GPS integrato

Questo sistema di misurazione, ha integrato per la prima volta TPS e GPS, accoppiando le elevate prestazioni della Stazione Totale a un potente ricevitore satellitare GPS. Per utilizzare tale strumento non sono richiesti punti di controllo, poligonali od intersezioni, basta avviare la SmartStation e lasciare che il GPS determini la posizione, quindi è possibile misurare e tracciare con la Stazione Totale, rendendo le operazioni di rilievo facili e più veloci. Questo strumento permette inoltre di usare separatamente TPS e GPS semplicemente posizionando la SmartAntenna sulla palina come un normale Rover RTK (utilizzo GPS semplice) oppure usando la TPS come una normale Stazione Totale (utilizzo Stazione Totale semplice). Presenta un design modulare e permette qualsiasi tipologia di lavoro, risparmiando tempo e denaro ed aumentando profitti e produttività. Tutte le Stazioni Totali TPS 1200 possono essere upgrate a SmartStation. Esiste una vasta scelta di dispositivi di comunicazione con la SmartStation, come radio modem, GSM, GPRS e CDMA. Inoltre per favorire la ricezione satellitare in zone compromesse è possibile appoggiarsi ai satelliti GLONASS in aggiunta alla costellazione GPS e alla costellazione Galileo (*notizie ricavate dal manuale di presentazione dello strumento*).

Il controllo sulle misure o sulle coordinate avviene attraverso la lettura e l'interpretazione di "parametri statistici di qualità del prodotto" già in campagna. Il trattamento finale di compensazione 3D avviene poi in ufficio.

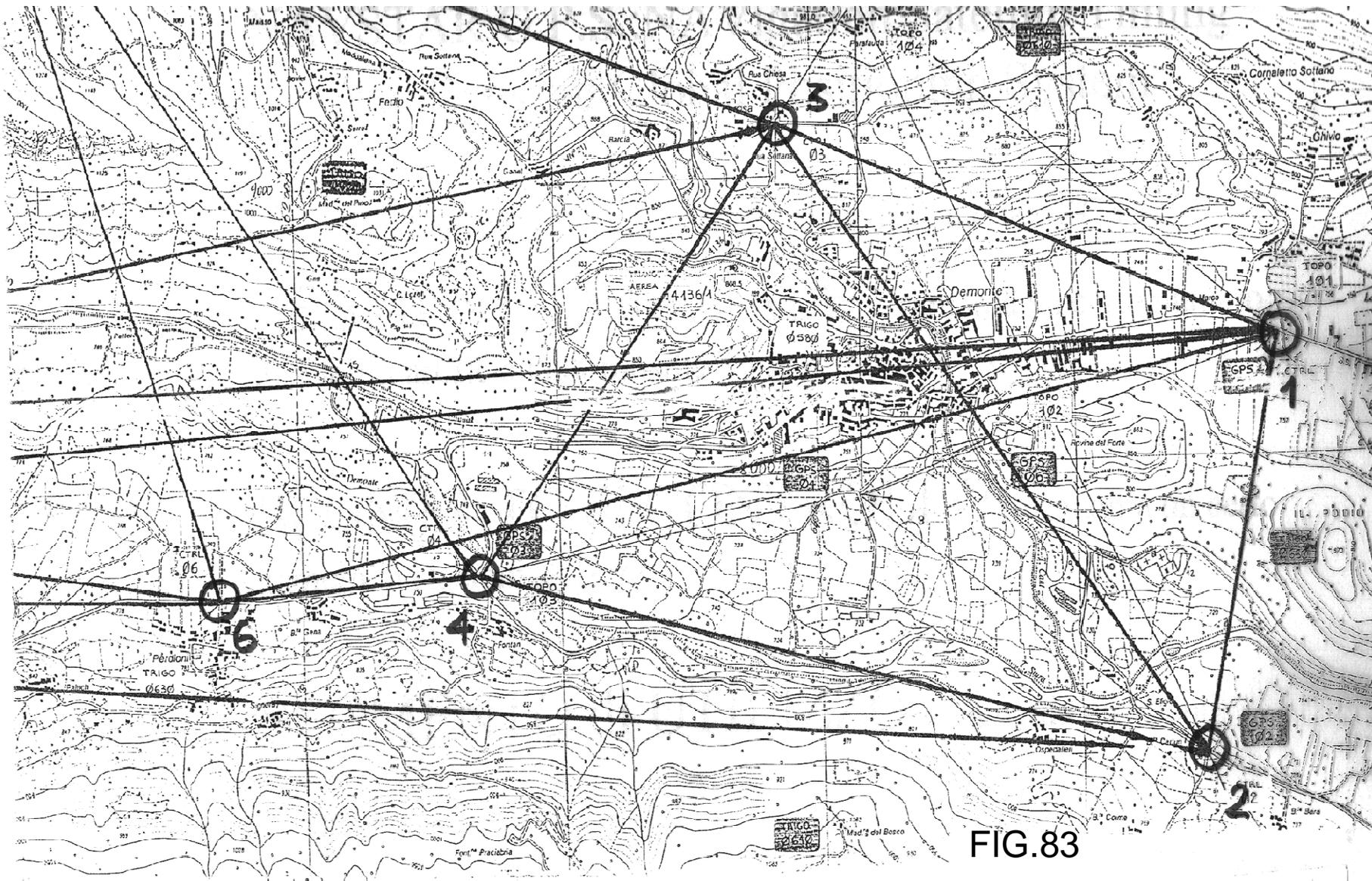
Attenzione:

- le coordinate GPS o i vettori di "base" GPS sono riferite ad una terna geocentrica e ad un ellissoide geocentrico;
- le misure di angoli (azimutali e zenitali) sono riferite al campo della gravità (l'asse primario dello strumento coincide con la verticale);
- le distanze inclinate sono invarianti per sistema di riferimento.

(I sistemi **LASER SCANNER** vengono trattati nel capitolo "Elementi di Fotogrammetria").



FIG.82



Esempio di piccola rete G. P. S. per collaudo di cartografia
 con indicazione dei punti di stazione

Cenni sul sistema GALILEO

Galileo è il sistema GNSS europeo, a gestione completamente civile, compatibile con i sistemi GPS e GLONASS (Russo).

La costellazione sarà di 30 satelliti (27 operativi + 3 attivi di ricambio) su tre piani orbitali con orbite circolari a 23.616 km di altitudine, con inclinazione dei piani orbitali di 56° sul piano equatoriale.

Tale costellazione garantirà copertura sino alle latitudini di Capo Nord, circa 75°.

Il sistema è ancora in fase iniziale, non ancora pienamente operativo. Rispetto agli altri sistemi, ha diverse caratteristiche di novità e di maggiore praticità.

Previsti due Centri di Controllo in Europa ed una rete globale di stazioni di terra,

Sistema GALILEO

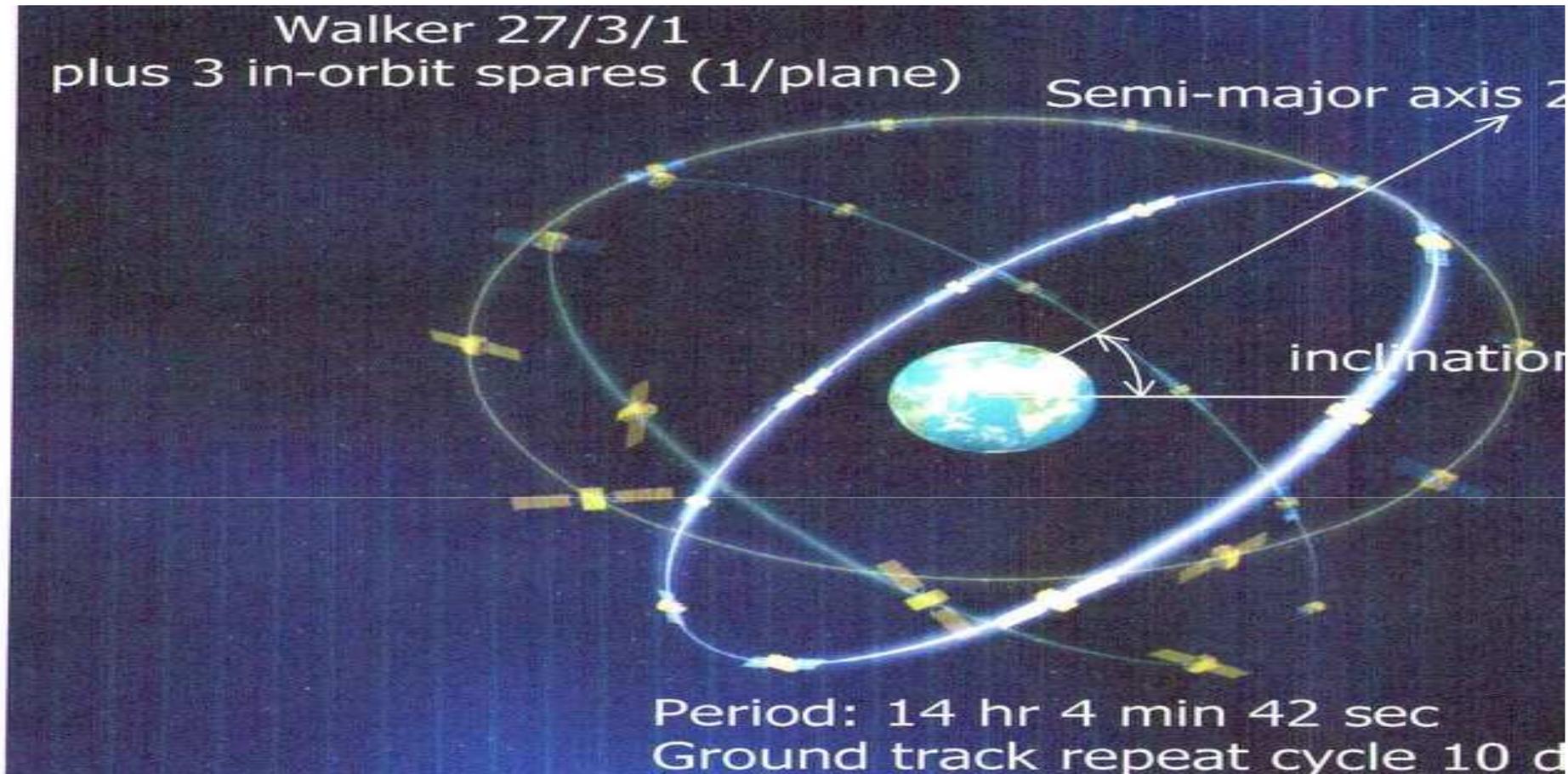


FIG.84

E' composto da 30 satelliti in orbita MEO (23.600 km). Il sistema fornisce 10 segnali divisi in 3 bande di frequenza che generano 5 diversi tipi di servizio per l'utente.
(M.E.O. = medium Earth orbit)

Space Segment – Galileo Payload

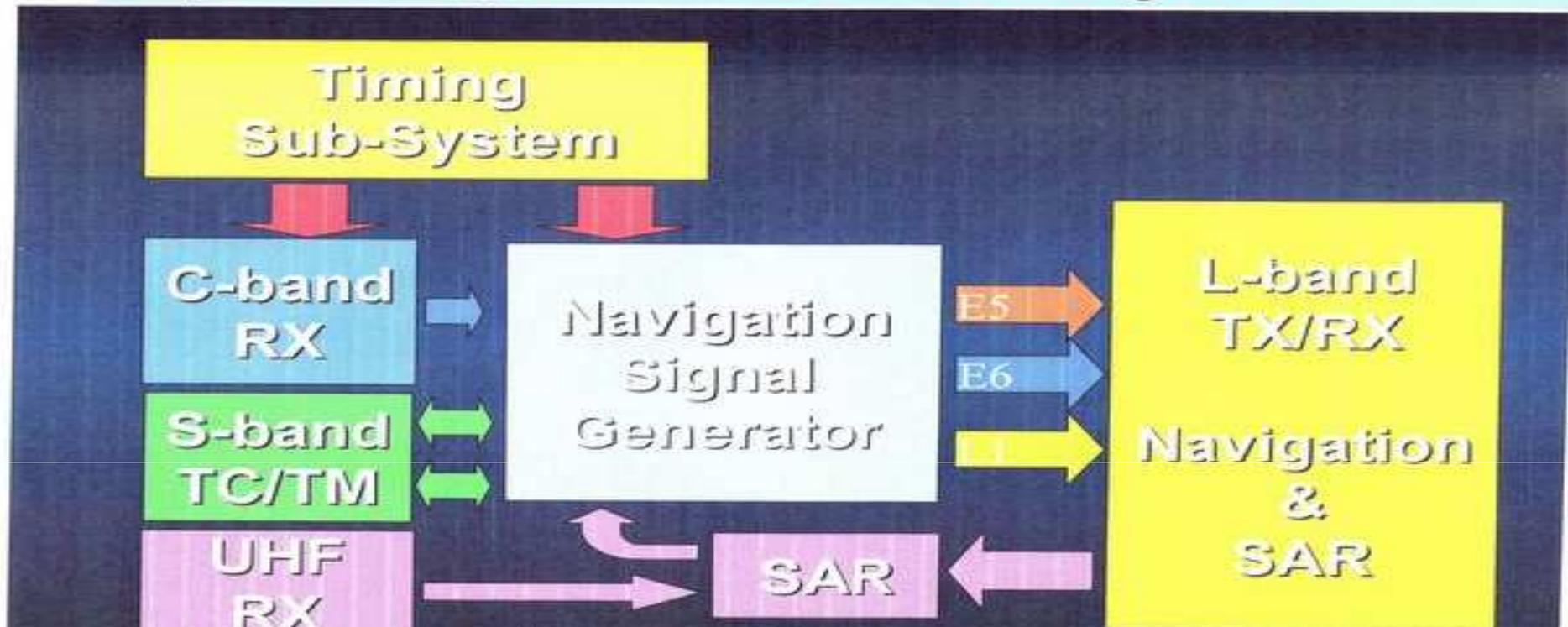


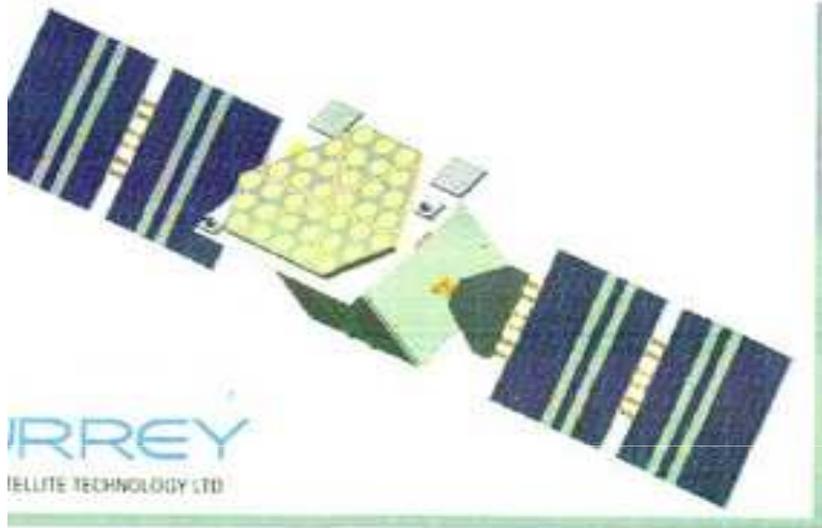
FIG.85

SERVIZI per l'utente

1. Open service (OS): segnale gratuito, non criptato
2. Safety of Life (SoL): per applicazione nei Trasporti
3. Commercial service (CS): per applicazioni di mercato
4. Search and Rescue (S&R) : localizzazione di allarmi in tempo reale
5. Public Regulated Service /PRS): emergenza e applicazioni governative.

Galileo System Test Bed V2 - Satellites

GSTB-V2 / A



Lift-off mass 600 kg
Power demand 700 W
Stowed Dimensions
1.3 m x 1.8 m x 1.65 m

GSTB-V2 / B



- Lift-off mass 495 kg
- Power demand 760 W
- Stowed Dimensions:
0.955 m x 0.955 m x 2.4 m

FIG.86

Search And Rescue – SAR Architecture

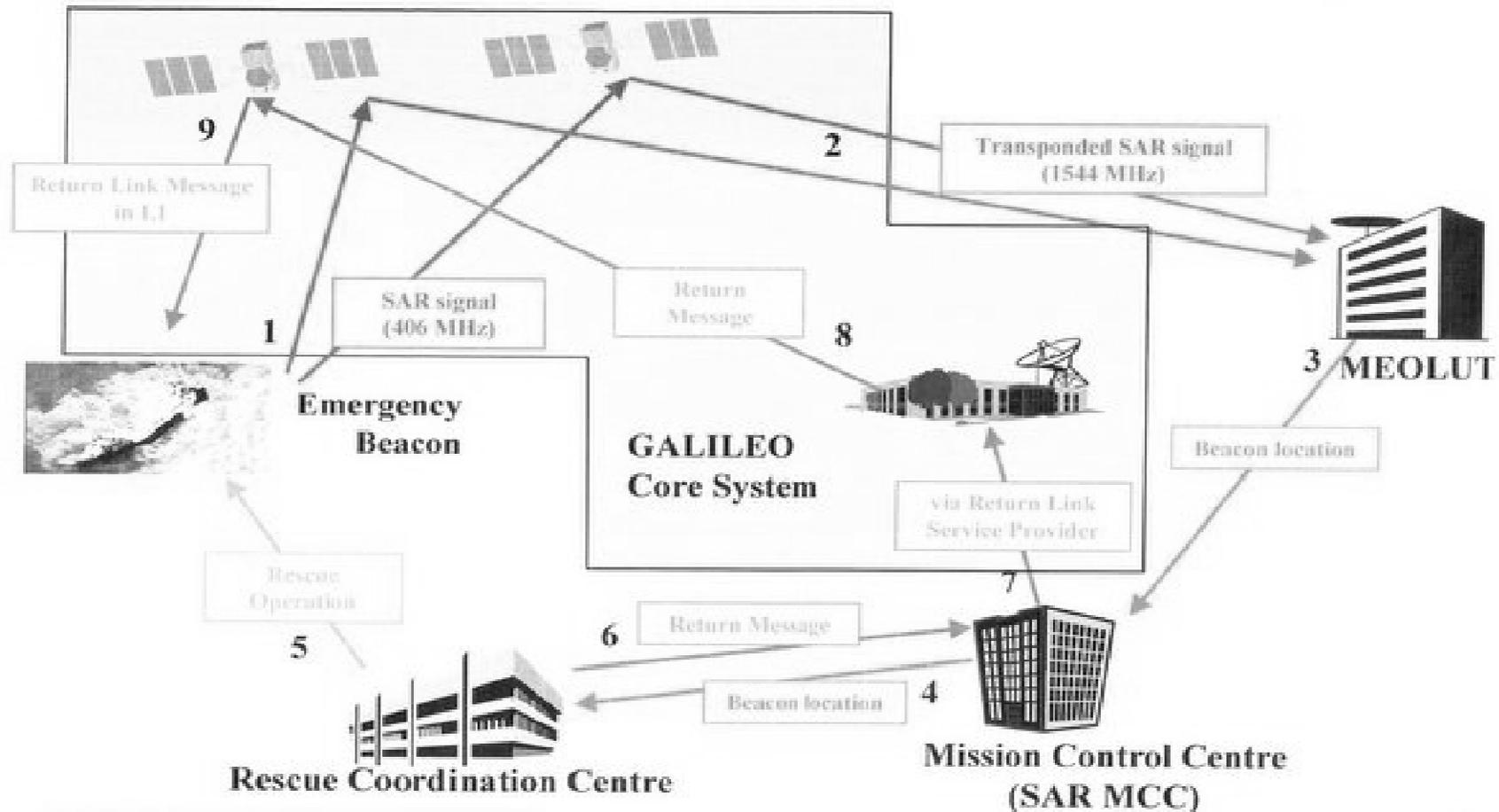


FIG.87

Alcune considerazioni

In questi ultimi anni sono avvenuti miglioramenti sia scientifici che tecnologici in tutti i settori del **GNSS** (aumento della disponibilità di satelliti e maggiore precisione delle effemeridi; reti di stazioni permanenti distribuite nel territorio; sviluppo di algoritmi di calcolo sempre più completi; ammodernamenti sia sui satelliti con l'introduzione di ulteriori segnali, che sui ricevitori, anche verso quelli cosiddetti "palmari", a basso costo).

Certamente queste novità hanno rivoluzionato anche le procedure e la mentalità operativa dei topografi che all'inizio mostravano scetticismo verso una metodologia che operava su grandissime distanze (satelliti- ricevitori a terra), con segnali che attraversavano le diverse parti dell'atmosfera terrestre e che avevano tante ragioni di sospetto e di indecisione, rispetto ai metodi topografici tradizionalmente sperimentati.

I risultati raggiunti e certi vantaggi operativi hanno costretto gli scettici a modificare le proprie opinioni e ad accettare un contributo che, anche se ha richiesto e richiede grandi costi di investimento e di gestione, si rivela oggi fondamentale nella risoluzione dei diversi problemi della conoscenza topografica.