

DETERMINAZIONE COL TELLUROMETRO

Località:.....Data.....  
 Stazione primaria.....Str.n°..... Operatore.....  
 Stazione secondaria.....Str.n°..... Operatore.....

**LETTURE APPROSSIMATE**

**INIZIALI**

A+...94...A+...94...A+...94...A+...94+100  
 B...80...C...56...D...95...A...04  
 ...14...38...29... 190.12 = 95  
 Distanza approssimata .....

**FINALI**

A+...97...A+...97...A+...97...A+...97+100  
 B...83...C...58...D...97...A...07  
 ...14...39...00... 190.12 = 95  
 Lettura approssimata ..... 13995.0

Dati Meteorologici

	Temp. cristallo	Term. asciutto C°	Term. bagnato C°	Diff. C°	Punto di rugiada	Press. vapore	Let. barom. mm	Corr. barom. mm	Barom. corretto	Barom. n° matr.
Primaria iniz.	57	15.5	9.6				764.5			
fine	65	14.0	9.5				764.0			Primaria
Second. iniz.		12.5	9.5				758.0			
fine		11.0	9.0				758.5			Secondaria
Somma	182	53.0	37.6				3046.0			
media	61	13.85	9.4	3.85			761.25			

graduazione di frequenza	A+ A-	Diff.	A+R A-R	Diff.	Media Diff.	A P	V S	C S	Note
1	94 04	90	48 58	90	90.0				
2	94 04	90	48 58	90	90.0				
3	94 04	90	48 59	89	89.5				
4	94 05	89	49 59	90	89.5				
5	96 04	92	50 58	92	92.0				
6	94 06	88	48 59	89	88.5				
7	96 05	91	49 58	91	91.0				
8	96 06	90	49 59	90	90.0				
9	97 07	90	49 59	90	90.0				
10	97 07	90	49 59	90	90.0				
11									
12									

Somma ..... 900.5

Media = 190.05 / 12 = 95.025 - Lettura fino

Anche l'impulso v'è poi al klystron per modulare la frequenza portante.

I circuiti della fonia provvedono a portare le frequenze foniche prodotte dal microfono al klystron per l'immissione sulla portante e dal discriminatore al telefono per l'ascolto.

### 3. Esecuzione di una stazione tellurometrica.

3.1. I due apparati vengono messi in stazione, sul treppiede o su pilastrino, ai due estremi della distanza da misurare e dopo averli collegati ai rispettivi dispositivi di alimentazione si attende qualche minuto perché si mettano a regime.

Stabilito il collegamento telefonico, gli operatori provvedono ai controlli ed alle rettifiche dei propri apparati e del complesso. In particolare controllano:

— il livello di modulazione dei cristalli, affinché gli apparati funzionino correttamente;

e, nel Mod. RA 1,

— il sincronismo fra i cristalli corrispondenti delle due stazioni, per ottenere una misura regolare.

3.2. *Dati metereologici.* — All'inizio ed alla fine delle letture vengono registrati i dati metereologici e di altro tipo necessari al calcolo dell'indice di rifrazione e delle varie correzioni.

I dati metereologici sono:

— la pressione atmosferica, misurata di solito mediante un tipo di barometro aneroidi di precisione;

— le temperature di termometri asciutto e bagnato di uno psicometro, per il calcolo della pressione del vapore; o in sostituzione di queste, la temperatura ambiente e l'umidità relativa.

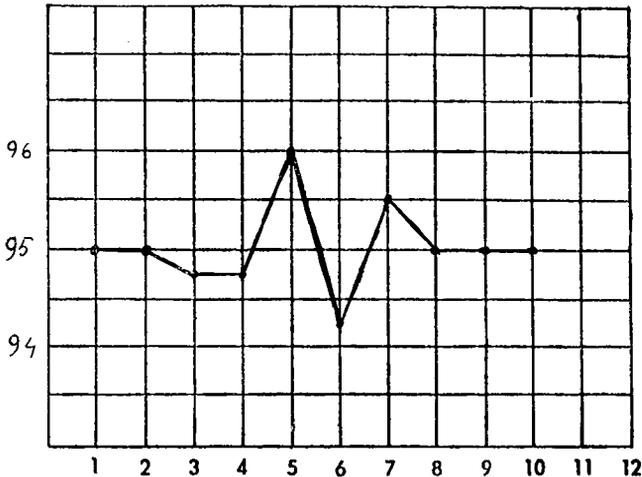
Nei primi tipi di Tellurometro occorre tener conto della variazione di frequenza del cristallo principale,  $A$ , con la temperatura. Perciò occorre registrare anche la temperatura iniziale e finale del termostato, indicata dall'apposito strumento misuratore.

3.3. *Letture.* — L'operatore della stazione funzionante da principale regola la luminosità, la messa a fuoco ed il centraggio dell'asse circolare, effettua la serie di letture approssimate, registrando i valori forniti dai cristalli:  $A^+$ ,  $A^-$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  nelle corrispondenti caselle del foglio di stazione.

Si passa poi ai gruppi di letture di precisione. Sempre restando sulla prima frequenza di sintonia si completa il gruppo di letture con

## C A L C O L I

DIAGRAMMA delle letture fini .....



Tempo medio di percorso non corretto	.....	13 995.025
Deviazione di frequenza del cristallo A =	...+ 0.3.....	$10^{-6}$
Correzione del tempo di percorso	$0.3 \times 0.014 =$	<u>.....</u> - 0.0042
Tempo di percorso medio corretto		..... 13 995.0292
Temperatura ambiente	=	13.85 - 9.4
Pressione media del vapore	=	..... 6.9
Pressione media del barometro	=	..... 761.2
Correzione della pressione	=	<u>.....</u> 165.0
Pressione del barometro corretta	=	..... 926.2
Indice di rifrazione	=	1.000.336.....

$$D = \frac{149.896,25 \times 13.995,029}{1.000,336} = \frac{2097,10}{1} \text{ m.} = \text{Distanza inclinata}$$

i valori in  $A^+_r$ ,  $A^-_r$ , che vengono registrati assieme ai precedenti  $A^+$ ,  $A^-$  nelle caselle del primo gruppo di letture di precisione (letture fini).

La stazione secondaria passa su una nuova frequenza, sulla quale si sintonizza la primaria per ripetere un nuovo gruppo di letture  $A^+$ ,  $A^-$ ,  $A^+_r$ ,  $A^-_r$ .

Così via di seguito sino a completare il numero di gruppi stabilito in relazione alla precisione richiesta.

Notare bene che la stazione primaria deve sempre essere sintonizzata su una frequenza inferiore di 33 MHz rispetto a quella assunta dalla secondaria.

Infine, mantenendo le stazioni sulla frequenza dell'ultimo gruppo, vengono ripetute le letture  $B$ ,  $C$ ,  $D$  e registrate assieme alle  $A^+$ ,  $A^-$  nelle caselle della serie di letture approssimate finali.

3.4. *Interpretazione delle letture.* — Secondo quanto esposto in 2.1. i valori di successiva approvazione della distanza si ottengono ricavando le differenze delle letture; come nel seguente esempio:

$$\begin{array}{cccc}
 A^+ & 94 & A^+ & 94 & A^+ & 94 & A^+ & 94 \\
 & & & & & & & (+100) \\
 B & 80 & C & 56 & D & 95 & A & 04 \\
 \hline
 & 14 & & 38 & & 99 & & 190/2 = 95
 \end{array}$$

Nell'eseguire le differenze occorre tener presente che:

— per effettuare l'ultima differenza occorre sempre aggiungere 100 al valore  $A^+$  in modo che, essendo  $A^- = 100 - A^+$ , la differenza  $(A^+ - A^- + 100)/2$  fornisca il valore di  $A^+$  come media di due letture; nelle altre differenze si aggiungerà 100 solo quando il valore  $A^+$  è minore dell'altro (come in  $A^+ - D$ ). Le varie differenze danno le frazioni in centesimi delle rispettive lunghezze di riferimento, cioè 15 000, 1 500, 150, 15 metri e perciò, in sostanza, la cifra delle decine di ciascun gruppo di due cifre corrisponde alla cifra delle unità del gruppo di ordine superiore.

Il valore di lettura si ricava iniziando dall'ultimo gruppo di due cifre; la cifra delle decine di questo serve a controllare il valore delle unità e di conseguenza anche delle decine del gruppo precedente, che si assumono a cifra delle centinaia. Così di seguito, prendendo le decine del secondo e del primo gruppo come cifre delle migliaia e decine di migliaia del risultato.

Nell'esempio:  $\overset{|}{14} \quad \overset{|}{38} \quad \overset{|}{99} \quad \overset{||}{95}$ , cioè 13995.

Dato che la graduazione di lettura è divisa in cento parti, è molto difficile che a funzionamento normale si verifichi un errore nelle decine, mentre è più facile che si abbia una lettura errata di qualche unità. Le ambiguità che ne possono derivare si risolvono con il criterio su ac-



## 4. Errori.

4.1. Errori propri delle apparecchiature. — Vari sono i fattori che possono contribuire ad introdurre errori che hanno carattere sistematico e che perciò devono essere eliminati con particolare cura.

4.1.1. *Errore per la variazione di frequenza dei cristalli.* — La frequenza di oscillazione dei cristalli può variare leggermente per effetto di variazioni interne di temperatura. L'errore è particolarmente importante per il cristallo *A* della primaria che fornisce le misure di precisione. Nel Mod RA1 esso viene corretto tenendo conto della temperatura interna di funzionamento (indicata dallo strumento di controllo) e apportando alla distanza misurata una correzione fornita dall'apposito diagramma. Nel Mod RA2 i quarzi sono termostattizzati e non occorre prendere in considerazione errori di questo tipo.

4.1.2. *Errore di zero strumentale.* — La distanza misurata dal Tellurometro è quella definita dai centri elettrici delle due stazioni, considerati coincidenti con i punti situati all'incrocio fra l'asse dell'antenna e l'asse della avvitatura di fissaggio al treppiede. Questa coincidenza può non essere verificata, più che altro per fattori circuitali, sicché il lato della distanza può risultare errato anche di vari centimetri.

Questo errore è una costante caratteristica della coppia di apparati usati, cioè può variare cambiando uno degli apparati: la sua determinazione può essere effettuata semplicemente misurando una distanza, anche breve, dell'ordine di un centinaio di metri o poco più, ma nota con precisione elevata (misurata con filo invar).

Un altro procedimento, che non richiede la conoscenza preventiva della distanza e che perciò può essere utile nelle operazioni di campagna, consiste nel determinare una lunghezza qualunque, incognita, ma una volta come differenza di due altre distanze misurate

$$l = a - b ;$$

una seconda volta come somma di due distanze parziali in cui quella incognita può esser suddivisa

$$l = r + s .$$

Se il Tellurometro ha un errore di zero, *k*, costante per ogni misura, si avrà nel primo caso

$$l = (a + k) - (b + k) = a - b$$

nel secondo

$$l = r + k + s + k = r + s + 2k$$

Si ricava

$$k = - \frac{(r + s) - (a - b)}{2}$$

4.1.3. *Errore di zero di graduazione.* — Questo errore è prodotto da una rotazione fra tubo oscillografico e graduazione, ma viene eliminato dalle letture  $A^+$  ed  $A^-$ , in quanto, se  $K$  è l'errore, si ottengono le due letture.

$$A^+_1 = A^+ + K; \quad A^-_1 = A^- + K$$

per cui, essendo  $A^- = 100 - A^+$ , si deduce la differenza

$$A^+_1 + 100 - A^-_1 = A^+ + 100 - A^- = 2A^+$$

Se non è verificata l'eguaglianza  $A^+ = 100 - A^-$  l'errore di zero della graduazione è evidentemente  $\frac{A^+ - (100 - A^-)}{2}$ .

Meccanicamente l'errore si corregge aggiustando la posizione del tubo oscillografico mediante una opportuna piccola rotazione.

4.1.4. *Errori di simmetria del cerchio.* — Dipendono dalla imperfetta forma circolare della traccia luminosa. Essa può essere corretta agendo ad opportuni comandi di regolazione, o con tarature dei circuiti elettronici.

## 4.2. Fattori di errore esterni.

4.2.1. *Indice di rifrazione.* — Nell'atmosfera il fascio elettromagnetico non si propaga rettilinearmente, né con la velocità  $c$  che assumerebbe nel vuoto. Infatti, il fenomeno della rifrazione provoca, com'è noto, un incurvamento della traiettoria, la quale viene percorsa con una velocità  $v = \frac{c}{n}$ . L'indice di rifrazione  $n$  dipende dalla composizione dell'atmosfera nel punto considerato e, in effetti, può variare da punto a punto.

L'effetto di curvatura ha in genere influenza minima: essa porta nella misura della distanza un errore pari alla differenza fra arco e corda appartenenti ad un cerchio di raggio pari a 25 000 km circa (\*\*\*) .

(\*\*\*) Il raggio di curvatura della traiettoria elettromagnetica considerata circolare, vale in media — per atmosfera in condizioni normali:  $p = 760$  mm,  $t = 0$  °C — quattro volte quello terrestre, ossia 25 000 km circa.

Per distanze dell'ordine anche di 100 km la differenza è trascurabile.

Notevole è invece l'effetto di variazione di velocità: essendo  $v < c$ , il tempo di percorso è più lungo e, se si calcolano le distanze mediante la  $c$ , il risultato è errato per eccesso.

L'indice di rifrazione è calcolato in base alla formula

$$(n - 1) 10^6 = \frac{103.46}{273 + T} \left( p + \frac{4744}{273 + T} e \right)$$

in cui entrano la pressione  $p$ , la pressione del vapore  $e$ , la temperatura ambiente  $T$ .

Il calcolo è facilitato dall'uso di abachi opportuni, come quello allegato. Si ricava dapprima la  $e$ , nota la pressione ambiente  $p$ , la temperatura  $T_b$  del termometro bagnato di uno psicrometro e la differenza fra le temperature ( $T_a - T_b$ ) dei termometri asciutto e bagnato, mediante note formule (di Sprung) o diagrammi corrispondenti. Poi servendosi del nomogramma di  $n$  si ricava la pressione equivalente  $E$  mediante  $T_a$  ed  $e$ ; infine, note  $T_a$  ed  $E$ , la parte frazionaria  $(n - 1) 10^6$  dell'indice di rifrazione.

Il valore di  $e$  si può ottenere anche misurando con un igrometro l'umidità relativa e servendosi della tabella della pressione del vapore.

I valori di  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $p$ ,  $e$ , devono esser rilevati con una certa precisione per assicurare quella voluta nel risultato. Mediamente si ha il seguente errore nella distanza per ciascuno degli errori nei dati meteorologici:

$$\frac{1}{10^6} D \text{ per } 1^\circ\text{C}, 1\% \text{ di umidità relativa, } 2.5 \text{ mm di pressione.}$$

Per tener conto esattamente dell'effetto dell'indice di rifrazione esso dovrebbe esser noto lungo tutto il percorso, cosa però inattuabile in pratica. Sulle distanze usuali di lavoro, tuttavia si ottiene una sufficiente approssimazione effettuandone la determinazione solo sui punti di stazione.

Nell'uso degli strumenti è bene osservare alcune precauzioni:

— il barometro sia tenuto possibilmente all'altezza dell'apparato tellurometrico ed all'ombra;

— i termometri siano tenuti all'ombra, all'aria libera e ad una certa altezza dal suolo (almeno un paio di metri) per diminuire l'influenza del riverbero diretto del terreno.

4.2.2. *Riflessioni sul terreno.* — Un altro fattore molto importante di errori sistematici nella misura è costituito dalle riflessioni che il fascio elettromagnetico subisce incidendo sul terreno o sulle superfici

$$e = e_{sat} - 0,6406 \frac{P}{1000} (T - T_b) (1 + 0,001146 T_b)$$

$$\text{FORMULA : } (n-1)10^6 = \frac{103,46}{273+T} (P+E)$$

$$\text{in cui } E = \frac{4744}{273+T} e$$

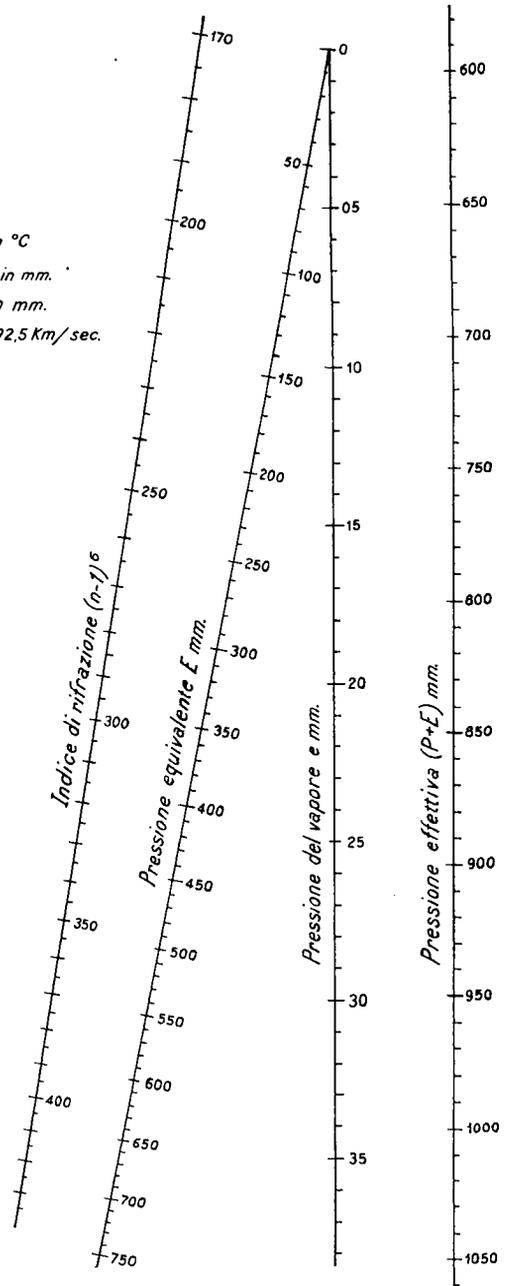
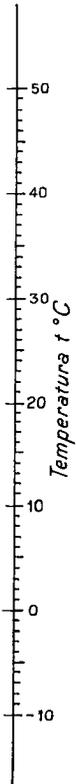
$T$  = Temperatura ambiente in °C

$P$  = Pressione barometrica in mm.

$e$  = Pressione del vapore in mm.

$v$  = Velocità nel vuoto = 299792,5 Km/sec.

$$\frac{1}{2}v = 149896,25 \text{ Km./sec.}$$



d'acqua. Ciò si verifica piuttosto facilmente, dato che l'apertura del fascio è di 10°; se poi il terreno è pianeggiante e presenta un forte coefficiente di riflessione, o nel caso di distese d'acqua, il fascio riflesso con un angolo idoneo può pervenire alla stazione ricevente in modo

da essere ancora percepibile. Dalla sua composizione con il fascio diretto ne risulta una variazione della fase dell'onda principale che comporta un vero e proprio errore nella misura.

L'entità dell'errore dipende sia dal rapporto fra differenza di lunghezza dei due percorsi, diretto e riflesso, e lunghezza d'onda, rapporto che determina la differenza di fase fra le due onde, sia dalla intensità del fascio riflesso. In genere è di entità relativamente piccola, dell'ordine di  $20 \div 30$  cm su brevi distanze con piccoli dislivelli, ma in casi particolari può raggiungere un massimo di m 1.20.

Dato che tale sfasamento dipende dalla lunghezza d'onda, è evidente che variando questa, cioè la frequenza di trasmissione, varia l'errore. In effetti esso può annullarsi e cambiare di segno, sicché passando per una serie di frequenze differenti si può ottenere una curva regolare di variazione che in genere ha un andamento sinusoidale.

Questo artificio è sfruttato appunto nel Tellurometro, specialmente per le misure di maggior precisione, nelle quali si effettuano da 10 a 20 letture su frequenze diverse, lungo tutta la gamma disponibile (da 2800 a 3200 MHz). Quanto più i valori si dispongono in un andamento sinusoidale, tanto migliore si può ritenere la regolarità delle misure ed accettabile il valore medio della sinusoidale come valore della misura.

## 5. Criteri di impiego.

5.1. *Scelta dei punti di stazione.* — La scelta dei punti di stazione e la sistemazione degli strumenti per l'esecuzione delle misure è condizionata particolarmente dalla necessità di ottenere una propagazione regolare e, per quanto possibile, l'eliminazione delle riflessioni parassite sul terreno.

Convorrà perciò distinguere fra collegamenti su brevi o su lunghe distanze, con traiettorie passanti su terraferma o su distese d'acqua.

Su distanze brevi è più facile che il segnale riflesso sia molto forte, tanto da creare una notevole interferenza e quindi il criterio principale sarà di eliminare al massimo le riflessioni, ad esempio cercando di sistemare gli apparati in modo che la zona che potrebbe dar luogo alla riflessione risulti coperta da qualche ostacolo. A questo scopo può servire tenere gli strumenti più bassi possibile sul terreno, in modo che la parte inferiore del fascio venga tagliata dalla zona immediatamente antistante. Si può avere in concomitanza una certa diminuzione nella potenza del segnale, ma nei casi di distanze brevi essa non dà in genere inconvenienti nella ricezione.

Altrimenti è necessario che l'altezza della traiettoria sul terreno sia abbastanza forte, nel tratto intermedio, dove potrebbe verificarsi la

riflessione, in modo da eliminare l'incidenza o attenuare fortemente l'intensità del raggio riflesso.

Nel caso di distanze lunghe, la presenza di ostacoli che eliminano la parte inferiore del fascio può attenuare la potenza complessiva in modo tale da rendere difficile il collegamento. In tal caso è preferibile cercare di elevare gli strumenti rispetto al terreno circostante disponendo le stazioni su punti elevati piuttosto alti, su margini di pendii scoscesi o su impalcature e comunque in modo che le traiettorie corrano molto alte sul terreno.

Nel caso di collegamenti passanti su distese d'acqua la soluzione più opportuna è in ogni caso quella che tende a rendere la superficie d'acqua invisibile dai punti di stazione, in quanto essa è sempre fortemente riflettente e dà luogo sempre a forti intensità del raggio riflesso.

Un coefficiente di riflessione basso è presentato da un terreno molto rotto o ondulato o coperto da vegetazione alta (alberi, macchie, erbe lunghe) e da distese d'acqua fortemente agitate; il contrario si verifica con terreno perfettamente piano e nudo o con erba corta e nel caso di distese d'acqua calma.

5.2. *Impieghi del Tellurometro.* — L'aspetto fondamentale nello stabilire i casi di impiego del Tellurometro è la possibilità di misurare distanze. Si possono però distinguere due categorie di lavori: quelli in cui la misura della distanza è fine a sé stessa, quelli in cui la misura di distanze è abbinata a misure angolari.

Nella prima rientrano i casi di:

— *Misura di lati isolati* con funzione di basi per reti di triangolazione. Questo è il caso che richiede la massima precisione e perciò la più accurata scelta dei punti di stazione.

Le norme suggerite dalla A.G.I. stabiliscono che è necessario ottenere una precisione di almeno  $1/400000$ , per raggiungere la quale occorrerà effettuare almeno 6 determinazioni, distribuite in due o più giornate, con 12 letture per determinazione.

I dati meteorologici dovranno essere rilevati con la massima cura tenendo presente l'influenza degli errori, come indicato in 4.2.1.

— *Trilaterazione.* È noto che conoscendo le lunghezze dei tre lati di un triangolo, questa figura è completamente determinata, in quanto gli angoli possono essere ricavati mediante il teorema di Eulero. Di conseguenza si può concepire la possibilità di rilevare una rete di tipo geodetico o topografico costituita da figure (triangolari) di cui siano misurati tutti e soli i lati. Essendo il triangolo una figura piana, la rete dovrà anch'essa svilupparsi su un piano e si richiederà, perciò, di ridurre

le distanze misurate (nello spazio) al piano di riferimento. Le misure così fatte non sono sovrabbondanti e le condizioni per stabilire una compensazione andranno ricercate nelle equazioni angolari.

Si potrà, peraltro, includere figure di quadrilateri, che contengono osservazioni sovrabbondanti.

Tale procedimento non consente di determinare dell'altimetria senza introdurre misure angolari zenitali. Allo scopo si dovrebbe ricorrere alla trilaterazione per figure solide elementari (tetraedri), che hanno nello spazio la stessa funzione del triangolo nel piano. L'inconveniente che, attualmente ostacola gravemente l'attuazione pratica di tale procedimento è la necessità di ottenere misure di distanze con precisioni estremamente spinte (dell'ordine dei millimetri) quali occorrerebbero per determinare i dislivelli (specie quelli minori) con la precisione voluta.

Nella seconda categoria rientrano tutti i procedimenti che possono essere definiti di,

— *determinazione in coordinate polari* (sferiche o piane). È evidente che misurando la distanza reale e gli angoli azimutale e zenitale di un punto osservato, se ne possono subito determinare le coordinate (cartesiane) e la posizione rispetto al punto di stazione.

Particolare interesse pratico assumono tali procedimenti nella determinazione di punti appartenenti a triangolazioni di ordine inferiore, di punti secondari d'appoggio o di dettaglio.

Altrettanto interessante, dal punto di vista delle applicazioni pratiche, può essere l'impiego della misura diretta delle distanze in altimetria trigonometrica, introducendo nelle corrispondenti formule di calcolo la funzione  $\cos$  in luogo della  $\text{ctg}$ , in quanto esso consente di evitare la determinazione planimetrica dei punti ove questa non occorra per altri motivi (ad es., riattacchi altimetrici). Sarà infatti sufficiente effettuare la misura della distanza (inclinata) e della zenitale.

5.3. *Procedimenti di calcolo.* — Si riportano alcuni dei calcoli di carattere più semplice ed immediato utilizzabili nell'impiego del Tellurometro o di strumenti elettronici in genere.

5.3.1. *Passaggio delle coordinate geografiche alla distanza reale (nello spazio).*

Date  $\Phi$  = latitudine  
 $W$  = longitudine  
 $h$  = quota (del centro strumentale)

è  $X = (N + h) \cos \Phi \cos W$   
 $Y = (N + h) \cos \Phi \sin W$

$$Z = ([N(1 - e^2) + h]) \operatorname{sen} \Phi$$

$$D = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 + Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2}$$

La  $N$  = gran normale nel punto, è calcolabile convenientemente con lo sviluppo in serie della formula teorica

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \Phi}} \simeq a \left[ 1 + \frac{1}{2} e^2 \operatorname{sen}^2 \Phi + \frac{3}{8} e^4 \operatorname{sen}^4 \Phi + \right. \\ \left. + \frac{5}{16} e^6 \operatorname{sen}^6 \Phi \right]$$

Conviene spingere i valori alla nona cifra significativa per avere la precisione del centimetro.

Questo calcolo si impiega nel controllo della misura elettronica fra punti di coordinate note.

### 5.3.2. *Passaggio dalla misura elettronica alla geodetica (sulla sfera locale).*

Essendo

$$D^2 = (R + h_1)^2 + (R + h_2)^2 - 2(R + h_1)(R + h_2) \cos \alpha \\ C^2 = 2R(1 - \cos \alpha)$$

si ricava

$$\cos \alpha = 1 - \frac{C^2}{2R}$$

$$D^2 = (h_1 - h_2)^2 + \left(1 + \frac{h_1}{R}\right) \left(1 + \frac{h_2}{R}\right) C^2$$

$$C = D \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{h_1 - h_2}{D}\right)^2}{\left(1 + \frac{h_1}{R}\right) \left(1 + \frac{h_2}{R}\right)}}$$

Inoltre

$$G = R\alpha \quad , \quad C = 2R \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} \quad , \quad G = 2R \operatorname{arcsen} \frac{\alpha}{2} = 2R \operatorname{arcsen} \frac{C}{2R}$$

Applicando gli sviluppi in serie

$$C = D \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[ \left(\frac{h_1 - h_2}{D}\right)^2 + \frac{h_1 + h_2}{R} + \frac{h_1 h_2}{R^2} \right] \right\} \\ G = C \left[ 1 + \frac{1}{6} \left(\frac{C}{2R}\right)^2 \right]$$

Le formule inverse danno

$$C = 2R \operatorname{sen} \frac{G}{2R} \simeq G \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{G}{2R} \right)^2 \right]$$

$$D = C \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{h_1 - h_2}{C} \right)^2 + \frac{h_1 + h_2}{R} + \frac{h_1 h_2}{R^2} \right] \right\}$$

Altri tipi di problemi piú complessi sono esaminati in numerose pubblicazioni sull'argomento (v. Bibliografia).

#### BIBLIOGRAFIA

Per un approfondimento dei problemi e della tecnica attinenti specificatamente al Tellurometro vedere:

WADLEY, *Electronic Principles of the Tellurometer*, South Afr. I.E.E., May, 1958.

Estratti vari dall'*Empire Survey Review*, vol. XIV, n. 105, 106, 107, 109.

BAKKELID, HENRIKSEN, *Tellurometer Measurements in Norway*, Geographical Survey of Norway, Geodetical Publication, n. 12.

Istruzioni tecniche della casa costruttrice.

POLING, *Tellurometer Manual*, Publication 61-2, Coast and Geodetic Survey.

LAURILA SIMO, *Electronic Surveying and Mapping*, Ohio State University.

HOTINE, articoli vari.