

CONSIDERAZIONI SUI NUOVI STRUMENTI TOPOGRAFICI

COMUNICAZIONE UFFICIALE AL XIX CONVEGNO SIFET (FRASCATI, OTT. 1974)

Luigi Solaini

1. — Nel 1967 la SIFET ha già trattato in uno dei suoi Convegni annuali il tema di nuove apparecchiature di rilievo ed in particolare modo dei distanziometri ad onde elettromagnetiche. Era allora un momento importante nell'evoluzione delle apparecchiature messe a disposizione dei topografi, sia per la recente decisione internazionale di adottare i geodimetri nelle misure di lati delle triangolazioni di primo ordine, sia perchè erano da poco apparsi i primi distanziometri per uso decisamente topografico, cioè per portate di uno o pochi chilometri di distanza.

Se oggi si riprende questo argomento è perché si è intanto avuta una esplosione nella costruzione di distanziometri piccoli, leggeri, semplici da usare, perché essi sono resi spesso completamente automatici, ed anche perché sono entrati a far parte di un teodolite, con la possibilità di registrazione diretta delle letture angolari e delle distanze.

Questi nuovi strumenti impongono una profonda revisione dei metodi tradizionali di misura topografica, per cui la classica struttura del rilievo, formata da triangolazioni, poligonali ed operazioni di dettaglio, deve essere modificata se si vuole trarre tutto il vantaggio possibile dai mezzi che siamo in grado d'impiegare.

So che è difficile per un topografo, qualunque sia il suo grado di preparazione, cambiare bruscamente di mentalità; d'altra parte pensare di sostituire semplicemente un prisma riflettore ad una stadia ed il nastro perforato al libretto di campagna, significa perdere la maggior parte dei vantaggi che le nuove apparecchiature consentono. Questo Convegno perciò non è destinato all'illustrazione di nuovi strumenti, ma ai nuovi metodi che sfruttino al massimo possibile la loro efficacia e la loro potenzialità. E' un compito non facile, ma mi auguro che le relazioni che vi vengono presentate e le conseguenti discussioni che spero nutrite e da cui devono emergere le esperienze che molti di voi hanno già fatto, portino ad un chiarimento di idee e spingano tutti i rilevatori ad affinare procedimenti e trovarne di nuovi.

Permettete ad un vecchio topografo di dirvi una sua convinzione, che può sembrare lapalissiana, ma non lo è in effetti, giudicando quanto mi è accaduto di vedere: il rilievo topografico deve essere il più semplice possibile; il suo schema lineare, basato su pochi principi ben fondati. Gli arzigogolamenti, le complicazioni inutili e tanto frequenti, peggiorano i risultati invece di migliorarli e complicano i calcoli. Anche questi ultimi devono essere semplici, almeno come schema, in modo che un elaboratore elettronico possa svolgerli rapidamente usufruendo di programmi molto generali. Ho parlato non a caso del calcolatore, poiché oggi, piccolo o grande che sia,

fa anche esso parte della strumentazione che un moderno topografo deve impiegare.

A questo punto alcune domande vengono spontanee e certamente me le state ponendo mentalmente: tutto va bene, ma i costi? E' proprio necessario spendere tanti soldi per qualunque rilievo topografico? Non è forse giusto non lasciarsi abbagliare la vista da progressi così rapidi ed essere trascinati dalla moda piuttosto che da esigenze reali di lavoro?

Orbene, il costo delle apparecchiature è elevato; diminuirà, ma solo sino ad un certo punto, poiché strumenti d'alta precisione e di grande stabilità non potranno mai essere economici; ma la loro rapidità d'impiego e, se bene usati, tale da ammortizzare rapidamente la spesa. D'altra parte è ora che anche in Italia la Topografia cessa di essere un artigianato per divenire un'industria; ciò è nell'interesse generale ed in quello particolare delle ditte produttrici di rilievi. Girando per Congressi ho avuto occasione di vedere diverse organizzazioni estere; vi assicuro che dopo ogni visita si ritorna a casa con lo stringimento di cuore. Non voglio con questo dare giudizi sulle capacità individuali, poiché so ed apprezzo l'intelligenza della nostra gente e dei nostri topografi in particolare; il problema risiede nella capacità di organizzazione, dote che fa spesso difetto agli italiani, e nel rendersi conto che l'era dello studio professionale è terminata da un pezzo, anche se da noi sopravvive e che è da tempo incominciata l'era dell'industria topografica e fotogrammetrica.

Alla seconda domanda rispondo sì, i vecchi metodi vanno abbandonati sempre, con l'eccezione di qualche rilievo che non ha alcuna importanza nell'insieme del lavoro topografico e non dovrebbe neppure essere affidato ad una ditta specializzata.

Finalmente all'ultima domanda posso dirvi con coscienza che ormai non si tratta di una moda, ma di una pacifica rivoluzione, di una svolta da cui non si ritorna indietro. Alcuni strumenti saranno presto abbandonati e sostituiti da nuovi, più perfezionati e più semplici, ma la linea di sviluppo è ormai chiaramente delineata e quindi una revisione critica di metodi di misura e di calcolo e addirittura di mentalità si impone.

Certamente mi direte che ho fatto un bel predicazzo piuttosto banale. Può darsi, ma ho voluto dirvi alcuni miei pensieri, invero non molto originali, per punzecchiarvi e per sentire le vostre reazioni; queste relazioni hanno sì il valore di un aggiornamento, ma sono veramente valide solo se suscitano interesse e quindi discussione e mi auguro che discussione ci sarà.

Scusate in ogni caso la mia chiacchierata introduttiva che poco ha a che fare col tema della mia relazione, cioè con i nuovi strumenti. Nel preparare questo Convegno si è infatti pensato che una rapida rassegna del potenziale strumentale oggi a nostra disposizione fosse una necessaria introduzione all'esame di nuovi procedimenti di rilievo.

Ho approfittato del fatto di essere il primo a parlare per farvi digerire un breve discorso del tutto generale; ma ora basta.

2. — Limiterò le mie considerazioni ai distanziometri ad onde elettromagnetiche ed ai teodoliti registratori, perché sono questi strumenti che hanno determinato la rivoluzione topografica; nei classici teodoliti si sono

fatti progressi anche notevoli, ma i concetti fondamentali e le modalità d'uso sono rimaste pressoché invariate; lo stesso dicasi per i livelli per i quali i sistemi di compensazione automatica sono ormai entrati nell'uso comune anche negli strumenti più raffinati, ma che sono ormai in uso da venticinque anni e quindi ben conosciuti ed apprezzati.

Anche per i distanziometri mi limiterò a considerare essenzialmente quelli a luce modulata, perché quelli ad onde elettromagnetiche centimetriche trovano applicazioni particolari e quindi basterà un breve cenno su di essi.

Ricordo il principio su cui si basano questi strumenti: un pennello di raggi luminosi (nel senso più generale, poiché vi sono compresi anche quelli dell'infrarosso vicino) è modulato in intensità con una frequenza nota e stabile f , per cui la lunghezza d'onda di tale modulazione è, detta c la velocità della luce nell'aria,

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Poiché c è circa uguale a $3 \cdot 10^8$ m sec⁻¹, deriva che se la frequenza di modulazione è ad esempio di $15 \cdot 10^6$ Hz = 15 MHz, la lunghezza d'onda è pari a:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{15 \cdot 10^6} \text{ m} = 20 \text{ m}$$

La luce modulata è generata nello strumento posto ad un estremo della distanza da misurare e viene diretta con un fascio il più possibile stretto verso un sistema riflettente, costituito generalmente da uno o più prismi tripli, e posto all'altro estremo; il prisma rimanda la luce allo strumento ove esiste un fotomoltiplicatore, od un fotodiodo, cioè una cellula che trasforma l'energia luminosa in energia elettrica.

Il pennello luminoso percorre dunque la distanza $2d$ (fig. 1) ed in essa saranno contenute un certo numero intero m di lunghezza d'onda e una frazione x , per cui si ha:

$$2d = m \lambda + x$$

che è l'equazione fondamentale dei distanziometri. In essa λ è noto, perché si conoscono c (torneremo su di essa) ed f ; sono invece incogniti m ed x ed è compito dello strumento la loro determinazione.

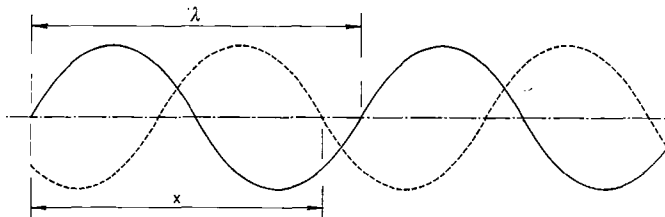


fig. 1

Osserviamo anzitutto due cose; l'onda modulata ha un periodo $T = \frac{1}{f}$, cioè ad ogni intervallo di tempo uguale a T riprende lo stesso valore; x è una frazione di λ ed il ritardo Δt dell'onda riflessa rispetto a quella emessa è costante e legato ad x dalla evidente relazione:

$$x = c \Delta t.$$

x può essere espresso anche in altro modo considerando che la legge sinusoidale che rappresenta le intensità della luce modulata è:

$$a = a_0 \text{ sen } 2 \pi f t,$$

per cui il periodo è il valore T di t pari a $\frac{1}{f}$; l'argomento del seno si

accreosce per ogni periodo di 2π , cioè di un angolo giro. All'incremento Δt del tempo corrisponde perciò una variazione dell'argomento cioè uno sfasamento pari a:

$$\varphi = 2 \pi f \Delta t = 2 \pi \frac{f}{c} c \Delta t = 2 \pi \frac{x}{\lambda}$$

da cui:

$$x = \frac{\lambda}{2 \pi} \cdot \varphi.$$

Per ottenere x si possono misurare o il ritardo Δt , sempre piccolissimo oppure lo sfasamento φ .

La seconda osservazione è la seguente. Si potrebbe eliminare la determinazione di m se si fosse sicuri che $m = 0$; ciò significa che λ è maggiore del doppio della massima portata dello strumento. Accade però che x può essere misurato con una precisione abbastanza elevata, ma non elevatissima; vedremo che a seconda dei dispositivi usati, lo s.q.m. di x varia tra un millesimo ed alcuni cento millesimi della lunghezza d'onda. Se ad esempio desideriamo un distanziometro che giunga a misurare distanze sino a 1 Km, deve essere $\lambda = 2000$ m almeno e quindi x avrebbe un errore compreso tra 2 m e 0.1 m e la distanza uno s.q.m. compreso tra 1 m e 5 cm, cioè troppo grande data la precisione richiesta da questi strumenti; vedremo una sola applicazione del concetto ora esposto. In generale m è un numero intero positivo incognito che, come vedremo, si può ottenere impiegando più di una frequenza di modulazione.

3. — Esaminiamo ora le parti fondamentali di un distanziometro a luce modulata. Anzitutto come sorgente di energia luminosa sono stati adottati tre sistemi: o una potente lampada, spesso a vapori di mercurio, che dà quella che si chiama comunemente luce bianca, oppure una sorgente laser a luce rossa o finalmente uno speciale diodo ad arseniuro di Gallio, il quale emette una radiazione infrarossa quando è percorso da corrente. Col primo metodo, l'unico adottato sino ad una decina d'anni or sono, si possono

ottenere strumenti che hanno una portata notevole di notte, ma che è molto ridotta di giorno per evidenti ragioni; inoltre la vita media della lampada è piuttosto breve e richiede una notevole quantità di energia e quindi batterie assai capaci. Il laser in un certo senso è la sorgente ideale, poiché l'apertura del fascio emesso può essere molto ridotta, sino a 10^{-4} rad, cioè a circa 0.6° , ciò che consente di concentrare sui riflettori una notevole quantità di energia; basti pensare che un fascio di 10^{-4} rad. dà una macchia di 10 cm ad 1 Km di distanza.

Poiché la luce è rossa, praticamente monocromatica, risente poco l'influenza della luce diurna e quindi permette di misurare grandi distanze anche di giorno; finalmente il laser ha una vita media assai lunga; assorbe però una quantità sensibile di energia, anche se minore delle sorgenti a luce bianca, è relativamente costoso e richiede qualche cura nel suo impiego.

Finalmente i diodi hanno, contro grossi vantaggi, l'inconveniente di emettere potenza molto esigua e quindi di consentire portate limitate al massimo a pochi chilometri, per cui possono essere utilizzati solo per i distanziometri più propriamente topografici.

I grossi vantaggi di queste nuove sorgenti sono, anzitutto di dare raggi infrarossi ($\lambda \approx 0.9 \mu\text{m}$), adatti all'impiego anche con leggera foschia, di richiedere una energia di alimentazione molto limitata e finalmente di prestarsi ad una modulazione diretta molto semplice. L'apertura del fascio è assai superiore a quella del laser e non scende al di sotto di $20 : 30^\circ$.

E' facile comprendere da quanto si è detto, che quasi tutti i piccoli distanziometri usano diodi all'infrarosso, quelli per grandi distanze usano dei laser, mentre la luce bianca è ormai impiegata solo in alcuni strumenti speciali.

Un secondo costituente essenziale di un distanziometro è costituito dal generatore di frequenza, che è sempre un quarzo piezoelettrico, il quale oscilla con frequenze variabili tra 15 e 500 MHz , circa; le lunghezze di onde corrispondenti sono rispettivamente di 20 m e 0.6 m; l'ultima frequenza è adottata per ora solo in un particolare strumento di alta precisione di cui diremo oltre; per gli strumenti di rilievo topografico non si superano 150 MHz , cioè la lunghezza d'onda di 2 m. Tanto più elevata è la frequenza, maggiore è la precisione della misura, perché, come si è detto, si possono solo rilevare le frazioni di λ con una certa approssimazione. Ad esempio se $\lambda = 20$ m e lo sfasamento è misurato con l'approssimazione relativa di 10^{-3} , si ha per x uno s.q.m. di 2 cm e per la distanza di 1 cm; con 75 MHz e con una precisione di $5 \cdot 10^{-4}$, lo s.q.m. della distanza è di 1 mm.

Negli strumenti di alta precisione e costruiti per misurare grandi distanze, il quarzo è posto in termostato per assicurare la costanza sino a una o due unità di 10^{-7} del valore nominale; negli strumenti usati per distanze non superiori a pochi chilometri la stabilità della frequenza è assicurata con una precisione relativa di alcune unità di 10^{-6} , in generale sufficiente.

Tutti i quarzi presentano il fenomeno della *deriva* cioè di una lenta variazione di frequenza propria, per cui è necessario procedere a periodiche tarature, tanto meno distanziate nel tempo quanto maggiore è la precisione e la massima distanza da misurare.

L'uso di frequenze elevate impone d'altra parte di avere a disposizione più frequenze, diverse da quella fondamentale, per determinare, come vedremo tra poco, m .

La modulazione in ampiezza del fascio luminoso, cioè la variazione periodica della sua intensità da un valore quasi nullo a quello massimo è operazione delicata e viene effettuata in diverse maniere. Il metodo più vecchio, ancora usato in alcuni strumenti, si giova della famosa cellula di Kerr, cioè di una ampolla contenente nitrobenzene, sottoposto ad un campo elettrico variabile derivato dall'oscillatore; in presenza del campo elettrico, il nitrobenzene diviene birifrangente e fa ruotare il piano di polarizzazione di un fascio, già polarizzato da un nicol; la luce che passa attraverso un secondo nicol in quadratura con il primo e posto a valle della cella, ha quindi intensità variabile con la stessa frequenza e la stessa fase della oscillazione del quarzo.

La cella di Kerr non può essere impiegata per frequenze superiori a 30 MHz , per cui in alcuni strumenti si utilizza un cristallo di fosfato di potassio di deuterio (KDP), le cui caratteristiche ottiche variano quando è sottoposto ad un campo elettrico; il fenomeno è analogo a quello delle cellule di Kerr, ma si possono raggiungere frequenze di modulazione superiori.

In uno strumento di alta precisione di costruzione recente, il Mekometro, è stato utilizzato un certo tipo di modulatore, contenente una cavità a risonanza, il quale permette di giungere ad una frequenza di 500 MHz , necessaria in tal strumento ad avere un alto grado di stabilità.

Tutti e tre questi procedimenti servono per modulare tanto la luce bianca quanto quella del laser; se la sorgente è viceversa il diodo, la modulazione è semplicissima, poiché l'intensità di radiazione emessa è praticamente proporzionale alla corrente che lo attraversa; la modulazione può dunque essere diretta, cioè consiste nell'applicare ai capi del diodo una tensione variabile direttamente ricavata dal circuito di cui fa parte l'oscillatore a quarzo; non esistono praticamente limiti di frequenza, poiché si è già giunti a modulazioni dirette con frequenza di 75 MHz .

I ricevitori sono o dei fotodiodi o, come abbiamo già accennato, dei fotomoltiplicatori, cioè specie di fotocellule molto sensibili, le quali trasformano le variazioni di energia luminosa ricevuta in variazioni di tensione, che vengono poi convenientemente amplificate, per essere confrontate con tensioni prelevate dal circuito di modulazione, per misurare le frazioni di lunghezza d'onda.

Questa misura può essere fatta secondo due principi, come abbiamo già detto, ossia determinando lo sfasamento ϕ oppure determinando l'intervallo di tempo Δt .

Nel primo caso si adotta un procedimento analogico, cioè si varia attraverso appositi circuiti elettronici, detti linee di ritardo, la fase di una tensione prelevata dall'oscillatore sino a che non è in fase o in opposizione di fase rispetto al segnale di uscita del fotomoltiplicatore. La variazione di fase è comandata a mano e la condizione di uguaglianza delle fasi è verificata da un apposito galvanometro inserito come strumento di zero. La precisione relativa che si raggiunge difficilmente supera 10^{-3} .

Per misurare il tempo Δt è necessario diminuire fortemente la frequenza delle due onde da confrontare nello stesso rapporto, mantenendo costante la differenza di fase; ciò perché se la frequenza è ad esempio di 15 MHz, il periodo corrispondente è di 67 n sec e per poter apprezzare anche solo un millesimo di periodo, bisognerebbe poter misurare il tempo con la approssimazione di circa 0.07 n sec, cosa assai difficile da ottenere.

Dal punto di vista concettuale si ottiene qui elettricamente quello che si fa per la lettura di un cerchio graduato con un micrometro a scala, in cui l'immagine del cerchio viene proiettata molto ingrandita sul piano del reticolo del microscopio. Non insistiamo naturalmente sulla realizzazione elettronica dei dispositivi usati. Una volta diminuita la frequenza, cioè ingrandito l'intervallo da misurare, si può inserire una scala graduata, costituita da una serie di brevissimi impulsi ad intervalli noti, i quali iniziano all'istante in cui il segnale in partenza passa per la fase 0 e terminano quando lo stesso avviene per il segnale di ritorno (fig. 2). Come si vede, è proprio il principio del microscopio a scala che viene adottato. In questo modo, ripetendo il conteggio qualche migliaio di volte e mediando i risultati dei singoli conteggi, si raggiunge una precisione relativa nella misura di Δt e quindi di x , pari a 10^{-4} ed oltre. Se $\lambda = 20$ m, lo s.q.m. di x è dunque 2 mm ed il corrispondente errore nella distanza 1 mm.

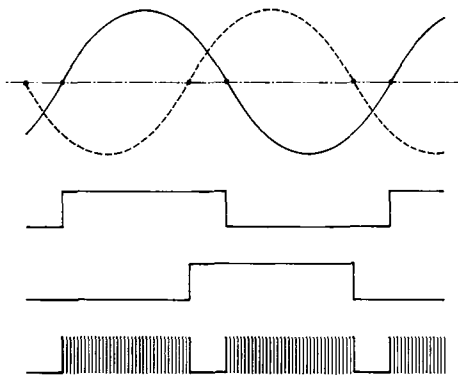


fig. 2

Il risultato della misura, comunque venga fatto, viene oggi sempre rappresentato in forma numerica in vario modo; solo in qualche strumento le ultime cifre si leggono su di una scala o tamburo graduati.

Resta ora da vedere come si determina il numero m di intere lunghezze di onda contenute nel raggio della distanza da misurare. Il procedimento più largamente seguito negli strumenti di recente costruzione, consiste nel disporre di più frequenze sottomultiple una rispetto alla precedente secondo il rapporto 10 o 100 e quindi di lunghezze d'onda multiple negli stessi rapporti. Ricordo a questo proposito che non è necessario avere più oscillatori, ma che le frequenze più basse si ottengono per divisione elettronica da quella più alta che è la fondamentale. Supponiamo di avere le

seguenti lunghezze d'onda $\lambda = 20 \text{ m}$, $\lambda_2 = 2000 \text{ m}$, $\lambda_3 = 200000 \text{ m}$, corrispondenti alle frequenze di 15 MHz , 150 KHz , $1,5 \text{ KHz}$ circa. λ_3 è talmente grande da consentire la misura di qualunque distanza compatibile con la portata strumentale con $m = 0$; se il misuratore di fase consente una precisione di 10^{-3} , x potrà risultare errato facilmente di 200 o 400 m, per cui la misura con questa frequenza ci dà sicure le decine di chilometri ed i chilometri e una incertezza di una unità o due nelle centinaia di metri. Impiegando la seconda frequenza, la massima distanza misurabile è di 1000 m e con essa avremo sicure le centinaia e le decine di m e l'incertezza di una o due unità nei metri; finalmente usando la frequenza fondamentale potremo leggere i metri, i decimetri, ed i centimetri e quest'ultimi avranno la incertezza di circa 1 cm, corrispondente alla precisione strumentale. Un esempio numerico servirà forse a chiarire ancor meglio il concetto; si abbia:

$$x_3 = 15,3 \text{ Km}; x_2 = 437 \text{ m}; x_1 = 5,38 \text{ m};$$

la distanza è evidentemente 15435,38 m.

In alcuni strumenti la frequenza è cambiata manualmente e si fanno le singole letture di x ; in altri si cambia la frequenza a mano, ma compare solo una cifra o due in più delle prime, ad esempio: 5,38, 435,38 ecc.; altri distanziometri sono invece completamente automatici, per cui, premuto un bottone, appare sulla mostra il risultato finale dopo alcuni secondi (da 3 a 15, secondo gli strumenti).

Un secondo metodo consiste nell'impiego di frequenze prossime a quella fondamentale, tali che, entro una certa distanza, si abbia lo stesso valore di m , ma cambi solo x ; dalla uguaglianza

$$m \lambda_1 + x_1 = m \lambda_2 + x_2$$

si ricava subito

$$m = \frac{x_2 - x_1}{\lambda_1 - \lambda_2}.$$

La distanza massima a cui si può giungere è quella per cui $x_2 - x_1 = \lambda_2$; essa ha il valore

$$d_{\max} = \frac{1}{2} \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

che potrebbe essere grande a piacere se $\lambda_1 - \lambda_2$ fosse molto piccolo; m però risulterebbe errato anche di molte unità a causa degli errori sulla misura di x . Si usano allora più coppie di frequenze opportunamente distanziate, con cui ogni ambiguità viene tolta. Se ad esempio $\lambda_1 = 20 \text{ m}$ e $\lambda_1 - \lambda_2 = 2 \text{ cm}$, la massima distanza a cui si può arrivare è 10 Km; il valore di m può però risultare errato di qualche unità e quindi la distanza di alcune decine di metri; utilizzando due lunghezze d'onda più distanti, in modo che $\lambda_1 - \lambda_2$ sia ad esempio 40 cm, la distanza massima si riduce a 500 m ed il valore di m , che al massimo è 50, viene ottenuto senza errori possibili di una unità. La prima misura dà quindi il valore delle centinaia e delle decine contenute in m , mentre la seconda dà le unità. Questo procedimento non

è stato sinora del tutto automatizzato, però è possibile avere dalla prima misura direttamente la distanza approssimata entro 100 m e dalla seconda le centinaia, sino a 4 e le decine di m, mentre il resto si ricava dalla misura con la frequenza fondamentale.

Finalmente un terzo sistema, consiste nel variare la frequenza con continuità entro limiti abbastanza ampi; variando la frequenza, se ne troverà

una per cui la distanza è multipla della semi lunghezza d'onda, cioè $d = \frac{m \lambda_1}{2}$;

se si aumenta la frequenza e quindi si diminuisce λ , si troverà un'altra frequenza λ_2 per cui di nuovo lo sfasamento tra onda trasmessa ed onda

ricevuta è nulla ed allora sarà evidentemente $d = (m + 1) \frac{\lambda_2}{2}$ da cui si deduce subito:

$$m = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} .$$

La misura viene ripetuta migliaia di volte, in modo da avere una media assolutamente sicura; il geodimetro deve perciò contenere un piccolo calcolatore incorporato oltre ad un variatore automatico della frequenza. Molti sono del resto gli strumenti più o meno automatici, in cui è necessario un piccolo computer.

Quasi tutti i distanziometri hanno bisogno di una taratura interna, per tenere conto dei percorsi ottici entro lo strumento e di ritardi dovuti ai circuiti elettronici; spesso la taratura va fatta prima di ogni misura o di serie di misure, talvolta è automatica.

Per dare una idea visiva di realizzazione di questi complessi strumenti riproduciamo in fig. 3, lo schema del geodimetro AGA mod. 8, apparecchiatura eminentemente geodetica a laser, realizzata soprattutto per misura di grandi distanze, nonché, in fig. 4, lo schema del distanziometro Kern DM 1000.

4. — Dobbiamo ora esaminare brevemente le correzioni da apportare ai valori letti sugli strumenti e la loro precisione. La velocità c_0 delle onde elettromagnetiche nel vuoto è nota con un errore relativo inferiore a 10^{-6} ; la stessa velocità in un mezzo avente indice di rifrazione costante ed uguale ad n è data da:

$$c = \frac{c_0}{n} .$$

Per misurare la distanza con i metodi considerati occorre conoscere n , il quale è funzione della lunghezza d'onda della luce impiegata, della pressione atmosferica, della temperatura dell'aria e, in misura assai minore, della tensione di vapore. Ciò che si può fare in effetti senza un'enorme complicazione, è di misurare la temperatura, la pressione e, se è necessario, l'umidità relativa dell'aria alle due estremità della distanza da misurare

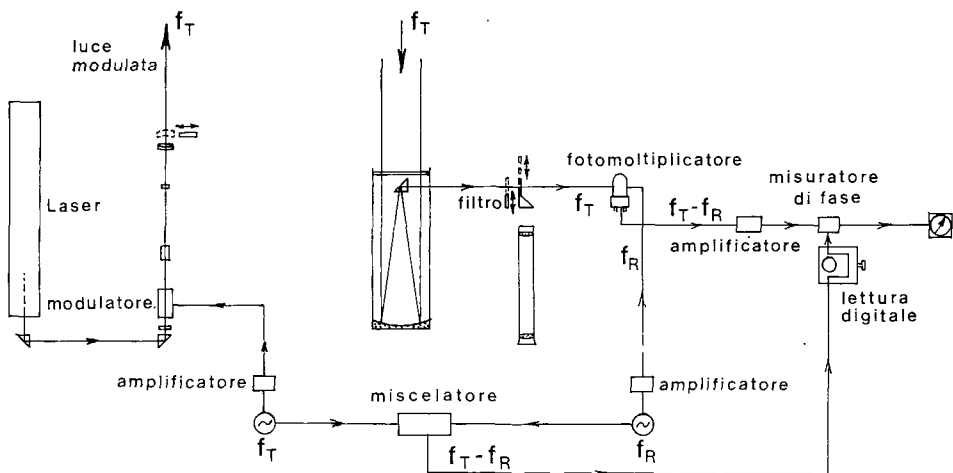


fig. 3 Schema a blocchi del Geodimetro AGA Mod. 8

e considerare le medie tra i valori ottenuti come indicative delle condizioni atmosferiche durante il percorso. Le misure vanno fatte ad una altezza di alcuni m dal suolo.

Apposite formule o grafici o tabelle consentono di calcolare addirittura la correzione che si deve apportare alle letture eseguite sullo strumento per avere la distanza corretta; in alcuni apparati la correzione relativa può essere addirittura imposta sullo strumento prima di fare la misura.

L'errore che si commette nella valutazione dell'indice di rifrazione e quindi di c , dipende dalla distanza, dal mezzo attraversato e dalle condizioni atmosferiche. Se ad esempio la misura avviene attraverso una profonda valle, è ben difficile che le superfici isoterme e quelle isobariche siano orizzontali, per cui le misure di temperatura e di pressione effettuate agli estremi possano dare degli errori sensibili.

Si dice generalmente che l'errore relativo in c e quindi in λ e quindi ancora nella distanza, è di uno o due milionesimi; in realtà può assumere valori anche sensibilmente superiori. In recenti esperimenti eseguiti in Giappone per il collegamento di due isole, si sono trovate variazioni relative della distanza, e quindi dell'indice di rifrazione, sino a $6 \cdot 10^{-6}$ con osservazioni ripetute durante il giorno ed il valore corretto non corrisponde affatto a quello medio, ma è prossimo a quello minimo. In condizioni poco favorevoli si possono dunque temere per questa causa errori sino a 5 mm per chilometro, anche se i fabbricanti di strumenti assicurano che lo s.q.m. è di uno o due milionesimi della distanza.

Le variazioni dell'indice di rifrazione interessano però solo le misure di grandi distanze; sino a qualche chilometro gli errori sono praticamente trascurabili per i normali usi topografici, perché inferiori all'errore di misura dello sfasamento ed anche alle necessità di rilievo. Ricordo tuttavia che

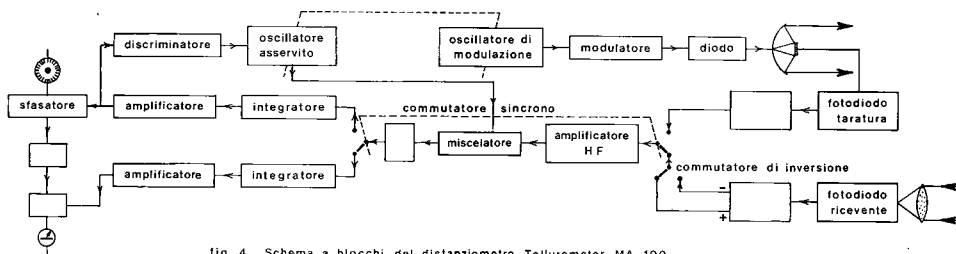


fig. 4 Schema a blocchi del distanziometro Tellurometer MA 100

la precisione con cui si misura lo sfasamento è aumentata e crescerà ancora; già oggi in alcuni strumenti lo s.q.m. di questa grandezza è ridotto a 1 o 2 mm e quindi l'errore dovuto all'indice di rifrazione è già sensibile ad 1 km di distanza.

La determinazione dell'indice di rifrazione dell'aria è il tallone d'Achille di questi distanziometri; forse le cose miglioreranno nel futuro, se certi esperimenti in corso avranno successo.

La seconda riduzione è quella all'orizzonte, poiché il valore letto è quello inclinato secondo la congiungente il centro dello strumento ed il centro del prisma o del gruppo di prismi riflettori collimati, nonché la riduzione all'ellissoide, come per tutte le misure di distanza. Nel caso dei distanziometri ad onde tuttavia quest'ultima correzione va applicata più frequentemente a causa della precisione delle misure. Se la quota media è ad esempio di 600 m, la riduzione di una distanza misurata di 1 km è pari a ben 10 cm.

La riduzione all'orizzonte implica naturalmente la misura della distanza zenitale sufficientemente precisa, affinché non introduca, tenuto conto della inclinazione della visuale, errori maggiori di quelli della misura della distanza; occorre per questo che lo s.q.m. della distanza zenitale non sia mai superiore a 10^{cc} e talvolta inferiore.

Finalmente se le coordinate dei vertici devono essere calcolate in un sistema cartografico, ad esempio sulla proiezione di Gauss, occorre tenere conto del modulo di deformazione lineare, che può differire da 1 anche di $4 \cdot 10^{-3}$.

Come si vede l'esecuzione di misure di precisione esige anche una cura particolare nella determinazione di dati accessori e di tenere conto di tutte le possibili correzioni.

5. — Passiamo ora in rivista alcuni dei distanziometri oggi in uso. Dico subito che non intendo fare una rassegna completa e che la scelta di uno o di un altro strumento da indicare non significa preferenza rispetto a quelli non citati. Ho cercato solo di fare una piccola selezione per mostrare la molteplicità delle soluzioni adottate e mettere in evidenza certi campi particolari di applicazioni.

Anzitutto penso che i distanziometri possano essere divisi grossolanamente in tre categorie, in relazione alla loro portata massima; quelli essen-

zialmente topografici, con portata di alcune centinaia di metri, quelli già adatti a piccole triangolazioni o a importanti poligonali con portata da 2 a 5 km e finalmente quelli d'impiego geodetico, che possono misurare distanze che vanno da 25 a 60 km ed oltre.

Tra gli strumenti della prima categoria i più semplici sono lo Akkuranger MK2 della Scintrex e l'SDM-1 della Sökkisha; entrambi usano diodi come sorgente luminosa ed una sola frequenza di modulazione, che nel primo è di 0.5 MHz ($\lambda = 600 \text{ m}$) e nel secondo di 1.5 MHz ($\lambda = 200 \text{ m}$). Sono possibili perciò misure senza ambiguità sino a 300 m e 100 m rispettivamente; le portate degli strumenti sono tuttavia maggiori, poiché il primo può raggiungere 1500 m ed il secondo 600 m, quest'ultimo con tre prismi riflettori.

Usando l'Akkuranger, per misurare distanze superiori a 300 m occorre conoscere un valore approssimato della distanza, come accadeva nei primi geodimetri; la Sökkisha fornisce invece un teodolite con tratti distanziometrici a cui corrisponde una costante di 400 ed una semplice stadia orizzontale con tratti colorati della lunghezza di 25 cm ciascuno.

La misura dello sfasamento deve essere più precisa nell'Akkuranger a causa della maggiore lunghezza d'onda; essa è ottenuta per conteggio elettronico, in entrambi gli strumenti, ma nell'Akkuranger la durata di ciascun impulso è di soli 0.02 n sec e si può ottenere una precisione relativa nello sfasamento di $3 \cdot 10^{-6}$.

La precisione di entrambi gli strumenti, che possono essere montati facilmente sopra un teodolite, è di 1 cm.

Il tempo di misura è rispettivamente di 3 e 6 secondi.

Particolari caratteristiche ha il Kern DM 500, poiché, invece di sovrapporsi al teodolite, può essere inserito tra le braccia dell'alidada, a cavallo del cannocchiale, naturalmente di un teodolite Kern DKM-2 per il quale il distanziometro è stato progettato; il suo peso, senza batterie, montate sul treppiede, è di soli 1.6 kg. Usa due frequenze, una di 15 MHz e l'altra di $0,15 \text{ MHz}$, con rapporto 100; il tempo di misura, completamente automatica, è di 15 sec. La precisione della misura dello sfasamento è di 4 mm. Impiega un prisma sino a 300 m, due sino a 400 m e tre sino a 500 m. Alquanto curioso è il collegamento di un distanziometro di piccola portata, decisamente topografico, con un teodolite di grande precisione, adatto a triangolazioni almeno sino al 2° ordine.

L'ultimo di questi piccoli strumenti è il Distomat Wild DI3, applicabile su vari teodoliti Wild; anche esso, come i precedenti, è a diodo; il distanziometro è collegato ad un piccolo elaboratore elettronico posto sotto la base del teodolite. Questo calcolatore, una volta introdotto a mano il valore della distanza zenitale, dà automaticamente la distanza ridotta all'orizzonte ed il dislivello. La precisione è di $5 \div 10 \text{ mm}$, naturalmente indipendente dalla distanza; i valori sono espressi in forma digitale sino al mm. Le frequenze impiegate sono 15 e 0.15 MHz ; lo sfasamento è misurato con conteggio elettronico;

Suddivideremo gli strumenti della seconda categoria in due gruppi; quelli che danno un'approssimazione, nella misura dello sfasamento, di $5 \div 10$

mm e quelli invece di maggiore precisione, anche perché questi ultimi sono adatti, oltre che ai normali impieghi topografici, a misure di tipo particolare.

E' giusto dare la priorità, parlando di questi strumenti, al Distomat Wild DI-10, poiché è, a quanto sappia, il primo distanziometro topografico prodotto, nel 1968. E' l'unico strumento che funziona con frequenza variabile con continuità da 13.5 a 15 MHz, circa. Anche esso, come tutti gli strumenti di questo tipo che citeremo, ad eccezione di uno, impiega come sorgente luminosa un diodo ad arseniuro di Gallio. La sua portata, inizialmente di 1 km, raggiunge ora 2 km, con l'impiego di 9 prismi. Può essere sovrapposto ad un teodolite Wild, sostituito ad esso con centramento forzato e finalmente montato sopra una speciale base inclinabile di $\pm 30^\circ$. La misura, dopo alcune tarature interne, è completamente automatica e richiede circa 15 secondi. Lo strumento, dato il suo principio, necessita di un piccolo calcolatore elettronico, che è posto a terra, su cui si legge anche il valore della distanza approssimata al centimetro. Lo s.q.m., praticamente indipendente dalla distanza, è di 1 cm. L'altro strumento collegabile con un teodolite è il nuovo Zeiss ELDI 2, che può essere tuttavia anche montato su un apposito supporto. E' molto piccolo e contiene nel suo interno le batterie ricaricabili; il peso, incluse le batterie, è di 3,5 kg. Viene fornito in due versioni, che si differenziano per l'ottica, la prima detta standard, e la seconda, munita di un teleobiettivo, il quale consente di aumentare la portata; inoltre, con ogni ottica si possono scegliere due diversi campi di misura, detti vicino e lontano. Le precisioni intrinseche e le portate in condizioni atmosferiche medie sono le seguenti, secondo i dati forniti dalla casa costruttrice:

Ottica standard	} vicino	portata 2000 m	} precisione	5 mm
		» lontano		» 3000 m
Ottica tele	} vicino	» 3000 m	} »	5 mm
		» lontano		» 5000 m

E' completamente automatico ed esegue la misura in meno di 5 sec; col teleobiettivo e nel range 2, si possono misurare distanze di 1.5 km con un solo prisma. Usa frequenze 15 MHz e 75 KHz e conteggio elettronico degli sfasamenti; la lettura è al millimetro.

Il distanziometro 3800 B della Hewlett Packard può anche esso essere sovrapposto ad un teodolite od essere montato su supporto proprio; usa quattro frequenze in rapporto 1:10 rispetto a quella precedente, a partire dalla frequenza fondamentale, che è di 30 MHz. Lo strumento è semiautomatico nel senso che con la prima frequenza si leggono direttamente le prime quattro cifre (dai m ai mm); inserendo a mano le altre frequenze e regolando un microamperometro, appaiono successivamente le cifre dei decimetri, ettometri, chilometri. L'uso è molto semplice e la misura completa richiede circa 2 minuti. La portata massima è di circa 3 km e lo s.q.m. di misura è di 5 mm per temperature comprese tra -10° e $+40^\circ$.

Il distanziometro Kern DM 1000 è il fratello maggiore del DM 500 già descritto, anche se la forma esterna è completamente diversa e può essere montato solo su un apposito supporto. Come il fratello minore usa le due frequenze 15 MHz e 0.15 MHz, per cui si possono leggere distanze solo sino a 1000 m; per distanze maggiori, poiché la portata dello strumento è di circa 3 km, bisogna conoscere un valore estremamente grossolano della distanza.

Le letture sono date al mm, con una precisione di circa 5 mm. Lo strumento è completamente automatico e di uso semplicissimo.

Il SDM-3 della Sökkisha ricalca schemi precedenti: uso delle frequenze 15 MHz e 0.15 MHz, cambiamento automatico di frequenza, lettura sino ad 1 km, approssimata al cm con 3 prismi riflettori; tempo di misura 3 sec. Rispetto agli analoghi strumenti europei ed americani è tuttavia più pesante e più ingombrante.

Diamo finalmente un cenno sul distanziometro EOK 2000 della VEB Karl Zeiss di Jena, che ha una portata di 2 km, montato su supporto proprio, ma sostituibile per centramento forzato con segnali e teodoliti. La frequenza fondamentale è di 30 MHz e le altre sono di 33 e di 30.3 MHz; attraverso battimenti con la fondamentale, si ottengono frequenze in rapporto 1:10 e 1:100 rispetto alla prima. La misura dello sfasamento è fatta attraverso una linea di ritardo.

Degli strumenti di precisione per brevi distanze citerò due soli e cioè il Tellurometer MA100 ed il Mekometro ME 3000 Kern.

Il primo può essere tranquillamente usato per le normali operazioni di campagna, mentre il secondo è destinato in modo particolare a misure di spostamenti o deformazioni.

Il Tellurometer MA100 ha una frequenza fondamentale di 150 MHz e quattro altre rispettivamente di 15, 1.5 e 0.15 MHz; la frequenza fondamentale è generata da un quarzo in termostato, che assicura una costanza di poche unità per 10^{-7} . Il sistema di taratura interna è molto curato per ottenere la precisione necessaria.

Le misure fini vengono eseguite in due posizioni, dette diretta ed inversa, con cui si correggono gli sfasamenti generali nei circuiti a bassa frequenza. La media delle due letture è esente da questi errori ed è espressa con quattro cifre decimali, cioè sino al decimo di millimetro.

E' necessario apportare una correzione di zero strumentale, pari a circa 20 mm, data dalla casa, ma facilmente verificabile. Lo sfasamento è misurato con conteggio elettronico, dopo aver ridotto le frequenze dei segnali a 10 KHz con la precisione di $2 \cdot 10^{-4}$.

Lo scarto quadratico medio di una misura è dato dalla casa in 2 mm; in realtà alcune prove sembrano dimostrare una precisione circa doppia. Lo strumento è semiautomatico, poiché le frequenze minori si inseriscono a mano e si leggono ogni volta due cifre di cui la prima nuova sicura e la seconda approssimata che dovrebbe coincidere con la prima della lettura precedente.

Nelle figure 5 e 6 sono riportati due risultati ottenuti da H. Dölscher (1); nella prima sono rappresentati gli errori di misura su un tratto di 2 m, di 10 in 10 cm, alla distanza di 100 m, con segnale forte (a) e debole (b); nel primo caso è risultato $\sigma = 0.7$ mm, nel secondo $\sigma = 1.0$ mm. La figura 6 dà invece gli errori osservati sul terreno per distanze sino ad 1 km; lo scarto

(1) H.D. Hölscher: *Un appareil electro-optique de grande précision pour mesurer courtes distances*. National Institute for Telecommunications research.

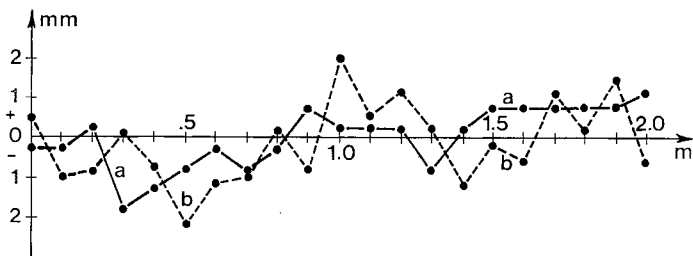


fig. 5

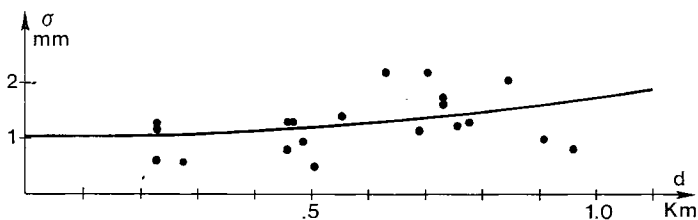


fig. 6

quadratico medio generale è di circa 1.5 mm ed aumenta leggermente con la distanza.

Lo strumento richiede circa 15 minuti per il riscaldamento a regime, onde ottenere tutta la precisione che può dare. Può essere usato per misurare spostamenti di manufatti, purché l'approssimazione di 1 mm, ottenibile con un numero conveniente di misure, sia sufficiente.

Un posto completamente a sè è tenuto dal Mekometro, lungamente studiato e realizzato in tre prototipi nel National Physical Laboratory di Teddington (Londra) ed ora costruito dalla Kern. Esso opera in luce bianca e può misurare distanze sino a 3 km. La frequenza fondamentale, di circa 500 MHz, a cui corrisponde una lunghezza d'onda di 60 cm, è ottenuta in una speciale cavità risonante, la quale determina propriamente una determinata lunghezza d'onda, indipendentemente dalle condizioni metereologiche nel punto di stazione.

Le correzioni dovute alle variazioni di lunghezza d'onda sono molto piccole e causate essenzialmente dal dislivello tra gli estremi della distanza da misurare. La modulazione è diretta, attraverso un cristallo KDP, pilotato dalla cavità di risonanza. Si ottiene così una stabilità eccezionale nella lunghezza d'onda.

Lo sfasamento è misurato variando la lunghezza di un percorso ottico interno; ciò è consentito dal piccolo valore di λ e d'altra parte permette di raggiungere una precisione estremamente elevata, poiché lo s.q.m. di una

distanza è effettivamente non superiore a 0.2 mm, oltre alla parte proporzionale alla distanza, che è di un milionesimo della distanza stessa.

Naturalmente lo strumento è piuttosto pesante e molto costoso. A mio parere non è uno strumento per rilievo topografico, anche di alta precisione, ma renderà preziosi servizi per misure di spostamenti o deformazioni di manufatti, eliminando le fastidiose misure angolari ed in molti casi aumentando la precisione dei risultati.

Riassumendo quanto abbiamo visto finora, possiamo dire che esiste oggi un'ampia possibilità di scelta tra i distanziometri topografici, tutti di facile uso, con precisioni che vanno da poco più di 1 mm a $1 \div 2$ cm, con portate variabili da poche centinaia di metri ad alcuni chilometri; diversi di essi sono sovrapponibili ad un teodolite, in modo che si possa effettuare la misura contemporanea di angoli e distanze, altrimenti sono quasi sempre sostituibili al teodolite stesso col metodo del centramento forzato.

La scelta di uno di tali strumenti può essere fatta, oltre che con criteri di semplicità di uso, di fiducia o simpatia per una ditta produttrice, in base al tipo di lavoro cui si pensa di destinarli ed alle metodologie prescelte.

Diamo finalmente un breve cenno sui distanziometri di grande portata, limitandoci a pochissimi. L'AGA ha modificato il ben noto modello 6 ed ha posto sul mercato il mod. 6BL, in cui la sorgente luminosa è un laser ed ha accresciuto notevolmente la sua precisione; attualmente può misurare anche di giorno distanze sino a 25 km, mentre la precisione della determinazione dello sfasamento è dell'ordine di 2 mm, analoga a quella del Tellurometer MA 100; è dunque uno strumento di notevole interesse per i topografi che debbono eseguire triangolazioni estese. Notissimo è ormai il mod. 8 della stessa casa, pure a laser, che raggiunge distanze sino a 60 km ed oltre; la modulazione è fatta per mezzo di cristallo KDP; la misura dello sfasamento è ottenuta con variatore di fase; finalmente la frequenza principale di modulazione è di 30 MHz; le altre tre frequenze, secondo il metodo tradizionale AGA, differiscono dalla fondamentale di piccole quantità, in modo da poter determinare il numero intero di lunghezze d'onda con le formule che abbiamo visto all'inizio. La precisione delle misure è di 5mm più 1 milionesimo della distanza; quest'ultimo dato è tuttavia molto dubbio, poiché, come abbiamo già detto, gli errori dovuti alla non esatta determinazione del coefficiente di rifrazione dipendono per lunghe distanze essenzialmente dal mezzo attraversato e non dalla stabilità della frequenza, che è assicurata con un errore non superiore a $5 \cdot 10^{-7}$. Lo strumento non è automatico e richiede perciò dei calcoli, che sono stati tuttavia semplificati rispetto ai modelli precedenti.

Uno strumento abbastanza nuovo e di caratteristiche eccezionali, è il Geodolite della Spectra Physic, poiché ha una portata diurna di oltre 60 km e notturna di circa 80 km; inoltre ha un potere risolutivo di 1 mm; le distanze sono lette sino al decimo di mm. Come si vede, è uno strumento di carattere universale, che accoppia cioè una grande portata ad una grande precisione, per cui riceve svariatissimi usi; dall'esecuzione di grandi trilaterazioni, alla misura di deformazioni di strutture. La sorgente è un laser, la frequenza fondamentale di modulazione, ottenuta con un cristallo, è circa 50 MHz, precisa sino a 10^{-7} ; le altre frequenze consentono una misura senza ambiguità sino a 30 km. Non mi sono note le altre quattro frequenze usate e quindi il metodo per determinare lo sfasamento (certamente a conteggio elettronico con riduzione della frequenza base pari a diecimila volte). Lo strumento è molto pesante (in totale

circa 70 kg), grande (è lungo oltre 1 m e largo 40 cm) e terribilmente caro; è dunque uno strumento eccezionale in ogni senso. Il geodolite è costruito anche nella versione aerea per fornire la distanza aereo terreno, molto utile nei rilievi aerofotogrammetrici a piccole scale per dare la scala ai modelli quando i punti d'appoggio sono assai scarsi.

Un breve cenno va fatto del nuovo tellurometro CA 1000 che utilizza onde elettromagnetiche con lunghezza d'onda portante di 3 cm; le frequenze di modulazione sono comprese tra 19 e 25 MHz. La stazione lontana, ricetrasmittente, non può funzionare da master.

La portata raggiunge 20 km e la precisione di lettura è di circa 1,5 cm. E' incredibilmente piccolo e leggero e segna indubbiamente un deciso miglioramento rispetto ai modelli precedenti, anche per l'accresciuta precisione. Naturalmente conserva i due inconvenienti fondamentali degli strumenti ad onda portante centimetrica, cioè i disturbi dovuti alle riflessioni parassite e la sensibilità dell'indice di rifrazione alle variazioni di umidità dell'aria; per contro ne ha anche il vantaggio di poter operare in presenza di densa foschia.

6. — Era logico che dai distanziometri sovrapponibili o sostituibili ai teodoliti si passasse a strumenti integrati, capaci cioè di misurare contemporaneamente angoli e distanze; appare anche logico il passo successivo della registrazione dei valori letti, poiché essa è la fase iniziale dell'automazione nel rilievo topografico ed evita errori di lettura e di trascrizione, oltre a rendere più veloci le misure.

Il primo strumento integrato, destinato principalmente ai rilievi catastali di precisione, è il Reg Elta 14, munito di un sistema ottico distanziometrico coassiale con il cannocchiale del teodolite. Il distanziometro è di tipo ormai standard, con sorgente formata da un diodo di arseniuro di gallio, la cui luce è modulata con la frequenza fondamentale di 15 MHz e quella secondaria di 0.15 MHz; la commutazione delle frequenze è automatica e completamente automatico il funzionamento del distanziometro. Può misurare distanze sino ad 1 km con tre prismi e sino a 2 km con 19 prismi; la portata dello strumento è dunque praticamente di 1 km o poco superiore, con l'approssimazione di 1 cm.

Estremamente brillante è la soluzione adottata per la misura degli angoli; i gradi interi sono dati dallo spostamento di una corona dentata di 400 denti, rispetto ad una fissa; è adottato cioè il principio con cui vengono costruite le moderne macchine a dividere, il quale elimina praticamente gli errori dei denti; le frazioni di grado sono misurate con un cuneo ottico, letto con procedimento elettro-ottico. I valori dei due angoli e della distanza inclinata sono letti su una serie di sei tubi Nixie, ma possono essere automaticamente registrati su un nastro perforato a 5 od 8 canali, insieme ad indicazioni di codice convenientemente scelti. L'approssimazione delle letture angolari è di 10^{cc} per il cerchio azimutale e di 20^{cc} per quello zenitale.

Al Reg. Elta ha fatto seguito l'AGA 700, più compatto e leggero, ma la cui scatola di comando e lettura, nonché le batterie, sono separate.

Il distanziometro, la cui ottica è anche in questo caso coassiale con quella del cannocchiale, ha come sorgente un laser di piccola potenza (1 mW) e quindi raggiunge agevolmente la distanza di 5 km con soli 6 prismi. La fre-

quenza fondamentale è di 30 MHz; una seconda frequenza di 0.3 MHz consente di effettuare misure sino a 500 m, mentre per calcolare i multipli di 500 m si usa una terza frequenza prossima alla fondamentale. Il funzionamento è automatico sino a 500 m, mentre per le distanze maggiori, occorre un semplicissimo calcolo. L'approssimazione delle distanze è di 5 mm, a parte il termine proporzionale alla distanza.

I cerchi sono graduati a codice; la lettura, digitale, è approssimata a 5^{cc} per il cerchio orizzontale e a 10^{cc} per quello verticale. Sul lettore appaiono contemporaneamente due valori che possono essere: o le due letture azimutale e zenitale, oppure la lettura azimutale e la distanza ridotta all'orizzonte (sino a 500 m di distanza) o, finalmente, la distanza inclinata e la distanza zenitale. E' possibile anche la registrazione su nastro, mediante una unità apposita.

Anche la Sökkisha ha ricavato dal distanziometro SDM-3 il teodolite digitale SDT-1; la portata del distanziometro è quella del SDM-3; i cerchi sono magnetici e consentono una precisione di 10^{cc} per gli angoli azimutali e di 20^{cc} per quelli zenitali. Le letture possono essere registrate sopra un nastro ad 8 canali. Caratteristiche di questo strumento, accanto alle sue limitazioni, sono la grande semplicità e rapidità d'uso.

I due principali teodoliti distanziometri, il Reg-Elta e l'AGA 700 sono attualmente piuttosto ingombranti e pesanti; infatti il Reg-Elta, senza registratore pesa 20 kg e nell'AGA 700 il solo strumento pesa 14.5 kg e le due casse con le batterie e l'unità di lettura pesano 6 kg (il consumo del laser è assai notevole). E' indubbio però che si è all'inizio nella realizzazione di questo tipo di strumenti e che è lecito attendere progressi abbastanza rapidi. Il fermento ideativo delle case costruttrici è febbrile, la strada da percorrere è ormai nota e sicura, per cui si può essere certi che gli strumenti di un prossimo futuro avranno miglioramenti sostanziali rispetto a quelli attuali, che pur lasciano attoniti per l'ingegnosità e la perfezione con cui sono stati realizzati.

La rassegna, ripeto, incompleta, si ferma alle mie conoscenze alla data di scrittura di questa relazione, cioè ai primi di marzo 1974. Certamente vi saranno novità prima del Convegno della SIFET, novità che già sono nell'aria; lascio alle comunicazioni speciali, cioè ai produttori, il compito ed il piacere di presentarvele.

7. — Consentitemi, dopo questa lunga e forse noiosa rassegna, pochissime considerazioni riassuntive. Con teodolite e distanziometro ad onde elettromagnetiche si può determinare per coordinate polari un punto distante 1 km dalla stazione con uno s.q.m. che va da meno di 1 cm a 2-3 cm al massimo; è dunque possibile una tacheometria di precisione ad ampio raggio, di grande importanza per i rilievi catastali, per la determinazione dei punti d'appoggio fotogrammetrici e per molti altri usi. Ugualmente le poligonali non sono più le umili anelle delle triangolazioni, ma possono sostituirsi ad esse autorevolmente, entro certi limiti; la trilaterazione o almeno la triangolazione con un grande numero di lati misurati diviene cosa semplice ed estremamente precisa. Oggi non ha più senso parlare di errori medi nelle coordinate dei vertici dell'ordine dei decimetri, ma si parla correntemente di cm e pochi. Mi sono fermato a considerare gli schemi classici di misura topografica, ma è evidente che nuove metodologie saranno

sviluppate, le quali renderanno le operazioni ancora più rapide e precise; il compito di illustrarvele o di farvele intravedere spetta tuttavia ai relatori che mi seguiranno.

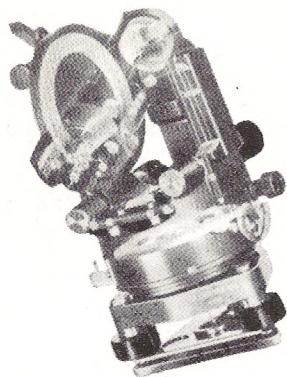
L'ultima considerazione è relativa all'automazione, problema estremamente complesso che non posso trattare. Mi basta di dirvi che essa dovrà essere sempre più spinta e che il calcolatore elettronico deve entrare in casa di tutti i topografi; già la Karl Zeiss ha costruito un piccolo calcolatore da unire al Reg-Elta, il quale esegue immediatamente semplici, ma interessantissimi calcoli di grande valore per l'operatore in campagna.

L'altro calcolatore, più completo, ma sempre piccolo, deve stare a casa ed essere capace di eseguire compensazioni abbastanza complesse col metodo dei minimi quadrati. Il tempo delle compensazioni empiriche, dei logaritmi, delle tavole trigonometriche è e deve essere definitivamente tramontato.

L'era dell'automazione è appena iniziata in Topografia, ma deve procedere spedita; c'è tanto da fare e quindi bisogna fare presto e bene.

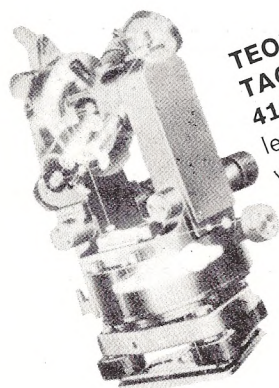
Chiudo con un dato letto in un rapporto ufficiale delle Nazioni Unite. Se si dovesse fare la carta in scala 1:50000 di tutta la terra, con i sistemi ed attrezzature attuali, occorrerebbero 300 anni! L'automazione, oltre a mezzi di impiego geodetici particolari, cioè basati sull'osservazione dei satelliti artificiali, è l'unica via per dotare tutte le Nazioni di una cartografia sufficiente. Gli italiani, oltre ai loro problemi, devono pensare a questo grandioso sforzo internazionale e per partecipare in forze devono prepararsi adeguatamente.

Non voglio ricominciare con le prediche iniziali, perciò Vi ringrazio dell'attenzione e mi scuso di avervi annoiato.

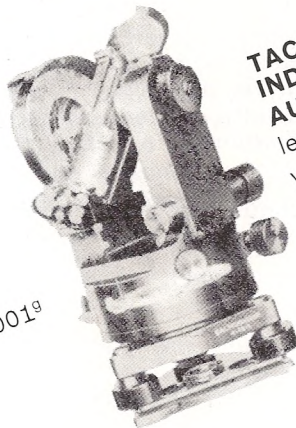


**AUTORIDUTTORE
'TARI' 4180**
 ± 3 cm sulle distanze
 ± 1 cm sui dislivelli
 $\pm 0,001^g$ in azimut

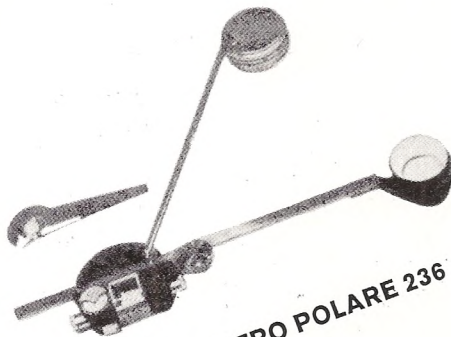
SALMOIRAGHI



**TEODOLITE
TACHEOMETRO
4150/NE**
letture al cerchio
verticale ed
orizzontale: $\pm 0,001^g$



**TACHEOMETRO AD
INDICE ZENITALE
AUTOMATICO 4149/A**
letture al cerchio
verticale ed
orizzontale: $\pm 0,002^g$



PLANIMETRO POLARE 236
ad unità variabile
precisione: $\pm 0,2\%$

HEWLETT  PACKARD
 SALMOIRAGHI

DISTANZIOMETRO
MOD.
3800 B

Portata:

1.500 m con un solo prisma

3.000 m con tre prismi (in ore notturne, tali distanze possono essere raddoppiate)

Precisione:

valore minimo apprezzabile, 1 mm e.q.m. \pm (3 mm + 5 mm/km) per temperature comprese fra -15 e $+40^{\circ}\text{C}$. Tempo medio per una misura: 1 minuto. Correzione automatica frequenze per condizioni ambientali varie.



Potenza consumata:

12 Watts
batteria al piombo od al Ni-Cd, con carica batteria incorporato.

Dimensioni:

distanziometro, 33x26x15 cm
batteria, 17,5x17,5x22 cm

Pesi:

distanziometro, 7,5 kg
batteria, 5,8 kg



FILOTECNICA SALMOIRAGHI S.p.A.
20122 MILANO - VIA S. LUCA, 10 - TEL. 8474841-2-3-4

una organizzazione capillare di vendita presente coi propri negozi in tutto il Paese

ALESSANDRIA

Via Migliara 1 - Tel. 51104

ANCONA

Corso Garibaldi 80 - Tel. 31415

BARI

Piazza Umberto I, 7 - Tel. 219476

BOLOGNA

Via Indipendenza 3 - Tel. 229401

CATANIA

Via Etna 201/203 - Tel. 228121

FERRARA

Corso Martiri Libertà 79/81 - Tel. 33927

FIRENZE

Via Calzaiuoli 73/75 - Tel. 294956

FOGGIA

Corso Cairoli 7 - Tel. 22209

GENOVA

Via XX Settembre 204/R - Tel. 565743

Via XXV Aprile, 30-32/R - Tel. 206855

LA SPEZIA

Corso Cavour 39/41 - Tel. 34421

MILANO

Via Orefici 5 - Tel. 871564/871174

MILANO

Corso Buenos Aires 1 - Tel. 265893

NAPOLI

Via Roma 244/245 - Tel. 391120

NAPOLI

Piazza Vanvitelli 1 - Tel. 377012

PESCARA

Corso Umberto I, 9 - Tel. 26370

REGGIO CALABRIA

Corso Garibaldi 240/242 - Tel. 22902

ROMA

Via Nazionale 200 - Tel. 481961

SAVONA

Via Paleocapa 102/R - Tel. 20850

SIENA

Via Banchi di Sopra 53/R - Tel. 2486'

SIRACUSA

Corso Matteotti 82/84 - Tel. 26581

TARANTO

Via Di Palma 13 - Tel. 29191

TERNI

Corso Tacito 22 - Tel. 420202

TORINO

Via Roma 27 - Tel. 540007

VENEZIA

Mercerie del Capitello, 4959 - Tel. 28084

Kern
SWISS

MEKOMETRO ME 3000



ecco alcune applicazioni possibili:
microgeodesia
controlli di strutture
moderna topografia industriale
basi con precisione di $\pm 0.2 \text{ mm} \cdot 10^{-6}$

precisione:

$\pm 0.2 \text{ mm} + (1 \text{ p.p.m.})$

portata:

fino a 1500/2000 m con 1 prisma

fino a 2500/3000 m con 3 prismi

alimentazione a 12 Volts:

con pile al Nichel Cadmio ricaricabili

o con accumulatori d'automobile

VENDITA • LEASING • DIMOSTRAZIONI • ASSISTENZA



KOH-I-NOOR Hardtmuth spa

STRUMENTI PER DISEGNO, INGEGNERIA E TOPOGRAFIA

DIVISIONE AUTONOMA APPARECCHIATURE SPECIALI

20121 MILANO - Via G. Sestini, 5/7 - Tel. 8739231 - 00108 ROMA - Via Tarpisio, 2 - Tel. 866503