

SULLE UTILIZZAZIONI DEI SISTEMI RADAR NEI RILIEVI AEROFOTOGRAMMETRICI A PICCOLA SCALA

GEOM. ARTURO DE BONIS

I moderni metodi per la misura diretta delle grandi distanze hanno ormai superato nel campo della geodesia e della topografia (con la realizzazione di insensibili progressi della tecnica elettronica e con l'approfondirsi degli studi sulle leggi di propagazione delle onde elettro-magnetiche e degli effetti di riflessione negli strati di ionizzazione dell'atmosfera) la fase sperimentale e sono entrati in quella delle pratiche realizzazioni teoriche ed operative.

Tra i vari complessi Radar costruiti ed impiegati per fini esclusivamente bellici durante l'ultima guerra, lo Shoran ed il Loran (americani) ed il Decca (inglese) sono, almeno per ora, quelli che sembrano destinati (con ulteriori perfezionamenti ed adattamenti degli apparati di trasmissione, di ricezione e di misura dei tempi) a portare entro breve tempo alla topografia in genere ed alla aerofotogrammetria in particolare grandiosi contributi.

È noto che uno dei problemi più importanti dell'aerofotogrammetria è quello relativo alla esatta ricostruzione, mediante la proiezione di due fotogrammi, del modello ottico simile al terreno che si vuole rappresentare; è necessario infatti imporre alle due lastre la stessa posizione spaziale reciproca (orientamento esterno) che esse avevano all'istante della presa, onde ricostruire (con l'ausilio dell'orientamento interno) tutti i punti del terreno stesso come intersezione di raggi omologhi.

Nei rilievi a grande e media scala (mappe catastali e carte tecniche) il ripristino dell'orientamento esterno dei fotogrammi si ottiene esclusivamente mediante un certo numero di particolari punti del terreno (punti di riferimento ben individuabili sulle lastre) dei quali siano state precedentemente determinate le coordinate plano-altimetriche.

Gli elementi necessari per il ripristino dell'orientamento esterno possono essere ricavati o per via analitica (mediante lunghi e laboriosi calcoli per la risoluzione del « problema del vertice di piramide ») o mediante rapide ed economiche soluzioni ottico-meccaniche. Una delle soluzioni (fotocartografo Nistri) consiste in una logica serie di movimenti impressi (una volta noto l'orientamento interno delle due camere fotografiche) ai due proiettori per ottenere

che i raggi luminosi, corrispondenti ai punti noti del terreno, passino ordinatamente per essi nel modello ottico che si vuole ricostruire.

Un'altra soluzione (stereocartografo Santoni) consiste nell'utilizzare valori approssimati della base e degli elementi angolari (noti dai dati di volo) e nel procedere poi – mediante tentativi sistematici e previo ripristino dell'orientamento relativo – alla variazione di scala del modello. In questo sistema i raggi visuali sono materializzati da due « bacchette » mobili nello spazio e le componenti della base si impongono spostando, secondo le direzioni dei tre assi, i supporti delle camere in maniera da ripristinare, sulla scorta dei valori dei punti fotografici di riferimento determinati sul terreno, la base nella sua vera posizione nello spazio.

In entrambi i procedimenti necessitano teoricamente, per ogni coppia di lastre, almeno tre punti di riferimento del terreno; in pratica però, per ottenere una sufficiente esattezza e per facilitare la compensazione di errori residui, si utilizzano per ogni coppia quattro, cinque, sei o un numero ancora maggiore di punti. Questi vengono determinati con gli ordinari metodi di triangolazione terrestre, infittendo notevolmente la rete fondamentale.

A) METODI ATTUALMENTE UTILIZZATI PER IL RIPRISTINO DELL'ORIENTAMENTO ESTERNO NEI RILIEVI AEROFOTOGRAMMETRICI A PICCOLA SCALA E NELLA REDAZIONE DI CARTE SPEDITIVE.

Volendo procedere con gli usuali metodi adottati per il tracciamento di carte a grande e media scala (ripristino dell'orientamento esterno delle lastre per mezzo dei punti di riferimento, preventivamente segnalati e triangolati sul terreno, in numero di almeno quattro per ogni coppia di fotogrammi) la spesa necessaria per la segnalazione e per la determinazione di un grandissimo numero di punti di riferimento rappresenterebbe un onere talmente forte da rendere antieconomico il rilevamento aerofotogrammetrico per carte a piccola scala.

Si è cercato perciò di eliminare la necessità di dover determinare, mediante una triangolazione terrestre fitta e razionale, una rete di punti di riferimento di alto costo e di difficile esecuzione, rete la cui durata di effettuazione renderebbe inoltre molto lento il ritmo dei lavori di rilievo di vaste zone. Vi sono poi particolari circostanze (rilievi di territori coloniali seminesplorati, di zone desertiche, di grandi foreste vergini, di territori soggetti ad azioni belliche, ecc.) in cui è praticamente impossibile effettuare triangolazioni terrestri per la determinazione del grande numero di punti di riferimento occorrenti. Le scarse vie di comunicazione, le asperità del terreno, le avversità del clima e delle condizioni sanitarie, accrescono sovente le difficoltà tecniche che si debbono superare e rendono necessaria la costituzione di vere e proprie spedizioni particolarmente attrezzate in uomini e mezzi. In questi casi è evidente che le operazioni di triangolazione dei punti di riferimento comportano enormi spese notevoli periodi di tempo.

Per questi motivi si è tentato di ridurre il fattore economico, inizialmente del tutto sfavorevole per levate aerofotogrammetriche di precisione a piccola scala, mediante lo studio e la realizzazione di nuove apparecchiature e di nuovi metodi miranti ad una sempre maggiore semplicità ed alla abolizione parziale, o totale, dei lavori topografici a terra. Il Boykow, ad esempio, cercò (molti anni or sono e con scarso successo) di realizzare la presa di vedute combinate da due aerei volanti in collegamento ottico e dotati di una speciale stadia aerea.

L'abolizione parziale dei punti di riferimento determinati a terra è stata però in questi ultimi tempi consentita (sia pure ancora in via sperimentale) da particolari accorgimenti tecnici che hanno permesso sensibili perfezionamenti ai procedimenti di triangolazione aerea (radiale e spaziale). Malgrado ciò i notevoli lavori a terra ancora necessari per il rilevamento aerofotogrammetrico di estesi territori continuano a gravare in forte misura specialmente nei rilievi a piccole scale ed il problema della convenienza economica non può dirsi ancora risolto.

Gli incoraggianti risultati delle prime applicazioni dei complessi Radar alla geodesia ed alla topografia, hanno però quasi improvvisamente fatto intravedere la concreta possibilità di poter entro pochi anni risolvere con pieno successo, sia per economia di costi che per precisione, il problema della determinazione delle coordinate spaziali dei punti di presa dei fotogrammi aerei. Dal 1945 in poi si è venuta così gradatamente creando una nuova tecnica aerofotogrammetrica, che appare fin da ora interessantissima, e d'alta comodità e praticità, specialmente per i rilievi a piccola scala di vasti territori.

Eminentissimi studiosi di tutto il mondo contribuiscono, con passione sorretta da larghezza di mezzi, agli studi di questa nuova ed originale branca della fotogrammetria e della geodesia, che si profila sempre più precisa dal punto di vista tecnico e conveniente dal punto di vista economico.

B) RECENTI APPLICAZIONI DEI COMPLESSI RADAR ALLA AEROFOTOGRAMMETRIA NEI RILIEVI A PICCOLA SCALA.

Negli Stati Uniti, nel Canada, in Inghilterra, nei Paesi Scandinavi e nei Paesi dell'America del Sud sono in corso da pochi anni vasti ed interessanti esperimenti per selezionare e perfezionare i complessi Radar ai fini geodetici ed aerofotogrammetrici.

Nel campo strettamente aerofotogrammetrico gli esperimenti sono intesi:

- 1°) ad ottenere notevoli perfezionamenti, mediante la guida dei Radar, nell'esecuzione dei voli in maniera che le « strisciate » risultino perfette, con l'esclusione assoluta di vuoti o di eccessi di sovrapposizione fra fotogrammi;
- 2°) a svincolare l'aerofotogrammetria, mediante la determinazione diretta delle posizioni spaziali dei diversi punti di presa, dalla determinazione preventiva di numerosi punti di riferimento del terreno da utilizzarsi per il ripristino dell'orientamento esterno delle lastre.

I risultati finora conseguiti, oltre che confermare sempre più la bontà dei diversi metodi, consentono di modificare e di adattare sempre meglio i diversi complessi Radar impiegati, che poco differiscono ancora da quelli che erano in dotazione, per fini quasi esclusivamente bellici, agli eserciti durante l'ultima guerra. È prevedibile, sin da ora, che entro pochi anni – alla luce di nuove esperienze fatte nel frattempo in condizioni sempre migliori per impiego di attrezzature ulteriormente selezionate e per maggiore specializzazione del personale tecnico – i risultati saranno tali da far ritenere superati, ai fini del ripristino dell'orientamento esterno dei fotogrammi nei rilievi a piccola scala, gli attuali procedimenti di aerotriangolazione.

UTILIZZAZIONE DEL COMPLESSO SHORAN

Il complesso Shoran, basato sulle impulsioni di onde corte (lunghezza di onda di circa 1 metro), si compone di un radar «interrogatore-ricevitore» opportunamente sistemato nell'aereo (che rappresenta il punto incognito che si vuole determinare in un dato istante del volo) e di due radar «a risposta» collocati su due punti del terreno, dei quali si conoscono le coordinate.

Per procedere ad un moderno volo aerofotogrammetrico (Radar guidato) su di una vasta zona di territorio da rappresentare in piccola scala, occorre anzitutto provvedere alla scelta di due punti (*A* e *B*) della rete geodetica a larghe maglie, punti sui quali si dovranno collocare durante il volo i due radar «a risposta». La quota di volo dell'aereo e le quote dei punti *A* e *B* debbono essere scelte in maniera che l'angolo α (fra le visuali dell'aereo alle stazioni radar «a risposta» fisse al suolo in *A* ed in *B*) sia sempre tra i 60° ed i 120° (vedere fig. n. 1).

Mediante la guida del complesso Shoran l'aereo può effettuare le varie

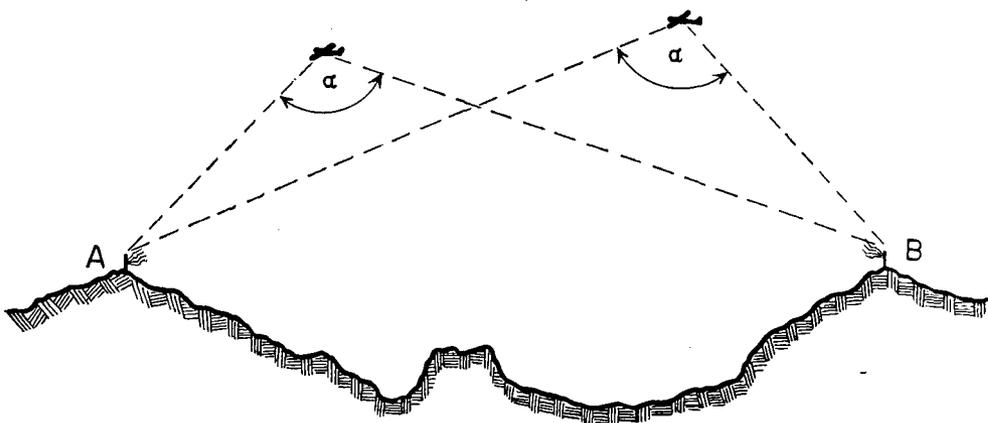


FIG. n. 1
Relazione tra quota di volo e quote dei punti (*A*) e (*B*)
(angolo α compreso tra 60° e 120°)

strisciate nel senso $A - B$ in perfetta linea retta e la quota di volo può essere mantenuta pressoché costante, con variazioni che generalmente non superano i 30 metri.

Una volta effettuate le strisciate contigue longitudinali, si potrà facilmen-

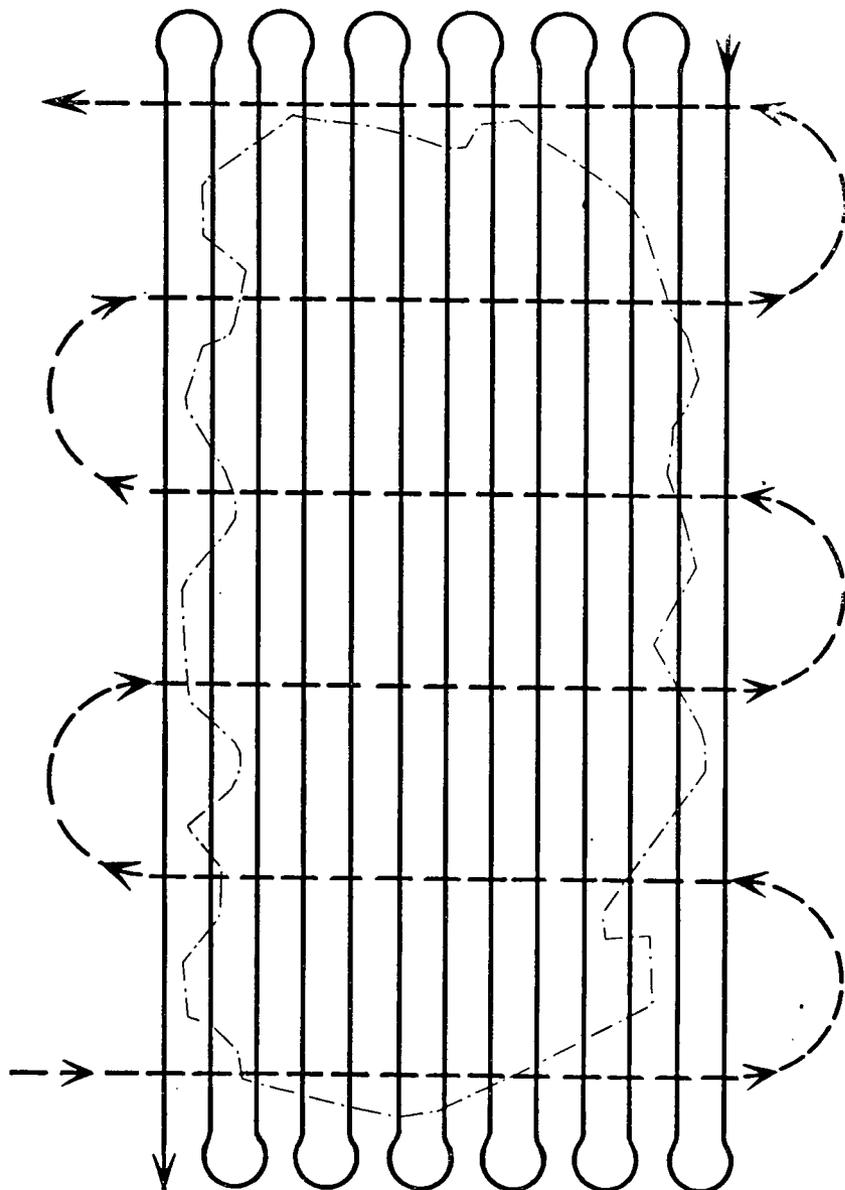


FIG. n. 2

Schema di volo aerofotogrammetrico, con guida radar, per rilievi a piccola scala

— — — strisciate longitudinali

- - - strisciate trasversali di collegamento

te effettuare (mediante la guida radar) alcune strisciate di collegamento trasversale facendo in modo (vedere fig. n. 2) che queste nuove strisciate passino per gli estremi di singoli « blocchi » di un certo numero di fotogrammi (6 o 8) delle « strisciate » longitudinali. Questo nuovo accorgimento permette di poter procedere ad una efficace compensazione degli errori in sede di ripristino dell'orientamento esterno delle coppie di fotogrammi.

Durante il volo dal radar « interrogatore-ricevitore », situato nell'aereo, viene automaticamente emesso a determinati intervalli un impulso elettrico ed i « riflettori radar », posti in A e B , ai due estremi della zona da riprendere, rimandano l'impulso, sotto forma di eco, all'« interrogatore » che lo riceve. La durata dell'interrogazione è di $1/30$ di secondo per ogni « risponditore », separata da una pausa di silenzio di $1/60$ di secondo. Le distanze dell'aereo da A e B compaiono allora su di uno speciale schermo ricevente, munito del tubo di Braunsch, ed un dispositivo cinematografico registra, all'attimo dello scatto di ogni singolo fotogramma, le osservazioni e le immagini ottenute dallo Shoran e le indicazioni dell'altimetro di precisione. Riportando le osservazioni così fotografate su di un grafico, si ottiene una parabola il cui minimo corrisponde alle letture per le distanze cercate da A e B . Si conoscono in tal modo le distanze l_1 e l_2 del punto di presa dalle due stazioni terrestri (vedere fig. n. 3)

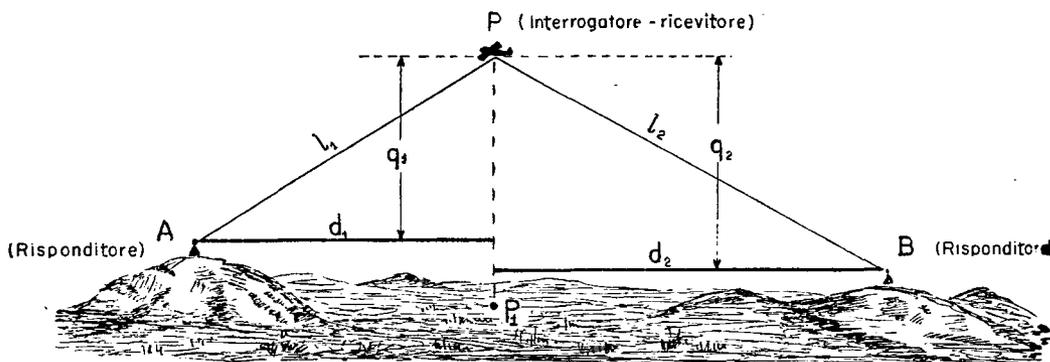


FIG. n. 3
Determinazione di un punto di presa col procedimento Shoran

e, mediante le correzioni apportate in base alla quota dell'aereo ed alle quote di A e di B , è possibile calcolare le due distanze (d_1 e d_2) ridotte all'orizzonte che necessitano per determinare la posizione planimetrica del punto di presa del fotogramma. La quota di questi viene data direttamente dall'altimetro di precisione di bordo. La riduzione all'orizzonte di l_1 l_2 può essere celermente effettuata graficamente (mediante proiezioni cartografiche denominate « doppiamente equidistanti ») in funzione della distanza tra i due punti noti A e B e le quote di A , di B e dell'aereo. Questo metodo di calcolo grafico sem-

bra consentire di determinare in pochissimi minuti la posizione planimetrica di ogni singolo punto di presa dei fotogrammi delle varie « strisciate ».

Dai primi risultati degli esperimenti finora eseguiti con il complesso Shoran, si può ritenere che la posizione assoluta dei punti di presa dei fotogrammi di « strisciate » riprese ad alta quota di volo (circa 6.000 metri) sia affetta da un errore medio sistematico di circa 10-12 metri e che l'errore medio accidentale nei singoli punti di presa si aggiri sui 40 metri.

Per la restituzione dei fotogrammi vengono utilizzati apparati restitutori multipli (a sei proiettori) che permettono il ripristino dell'orientamento esterno per « blocchi » di sei fotogrammi per ogni « strisciata » longitudinale, in maniera di poter effettuare le rigorose ed opportune ripartizioni di errori e di permettere il miglior concatenamento dei fotogrammi. Inoltre, utilizzando le « strisciate » trasversali passanti per gli estremi dei singoli « blocchi » di sei fotogrammi, è possibile effettuare la compensazione anche per « blocchi » e non per intere « strisciate » longitudinali.

Poiché le onde corte si comportano come i raggi della luce e si propagano in linea retta, la portata del complesso Shoran è limitata soltanto dall'orizzonte e varia quindi in relazione alla quota dell'aereo.

Il procedimento Shoran ha finora dimostrato una elevata esattezza, che ha sovente raggiunto la precisione di ± 3 metri, sulle distanze misurate e controllate con preesistenti reti (esperimenti effettuati nel 1948 nel Canada). Gli esperimenti ancora in corso tendono ad una accurata regolazione delle principali cause di errori (variazioni della velocità di propagazione delle onde ed imperfezioni strumentali) mediante rapidi e precisi controlli.

L'apparecchiatura di un complesso Shoran ha il grande pregio di risultare, per il suo peso relativamente piccolo (Kg. 520 compresa l'antenna e due generatori a benzina), facilmente trasportabile su normali autocarri; il complesso « interrogatore-risponditore » da collocare sull'aereo pesa poco più di 120 Kg. Per l'impiego del procedimento Shoran necessitano inoltre appena 3 operatori (uno a bordo dell'aereo e due a terra).

UTILIZZAZIONE DEL COMPLESSO LORAN

Notevoli risultano anche le possibilità di utilizzazione ai fini aerofotogrammetrici del sistema di radice-localizzazione Loran, che appartiene al gruppo dei sistemi detti di « navigazione iperbolica ». Il funzionamento del Loran è fondato sulla misura delle differenze di tempo tra due o più segnali in arrivo, emessi contemporaneamente da radio-stazioni di posizione plano-altimetrica nota. Il Loran utilizza frequenze comprese fra i 1.700 e i 2.00 Kc sec. ed impiega impulsi, di elevata potenza, della durata di circa 50 microsecondi.

Il complesso Loran è costituito da 4 stazioni terrestri radio trasmettenti (che emettono impulsi, con una cadenza di elevata precisione, a radio frequen-

za in tutte le direzioni dell'orizzonte) ed un apparato «ricevitore-indicatore» sistemato a bordo dell'aereo.

Per determinare durante il volo aerofotogrammetrico la posizione spaziale dei singoli punti di presa delle lastre, occorre la conoscenza della esatta posizione plano-altimetrica di tre punti del territorio.

In uno dei punti noti (A) si collocano due stazioni radio trasmettenti (doppia stazione principale) ed in ciascuno degli altri due punti noti (B e C) si colloca una stazione radio trasmettente (stazione ausiliaria).

Le due radio poste in A (A_1 e A_2) emettono, durante il volo dell'aereo, impulsi a radio frequenza in tutto il giro di orizzonte; essi sono suddivisi in due gruppi, differenziati dalla diversa cadenza di emissione. Un impulso emesso da A_1 viene ricevuto dalla stazione ausiliaria B che, dopo un determinato intervallo di tempo, emette a sua volta un identico impulso con la stessa cadenza di A_1 . Gli impulsi emessi da B hanno quindi un ritardo (vedere fig. n. 4), su

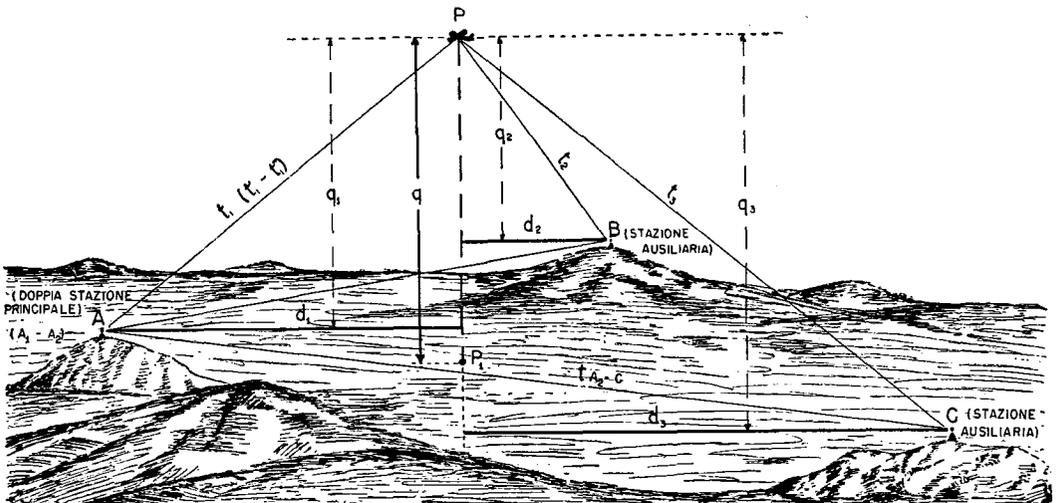


FIG. n. 4

Determinazione di un punto di presa col procedimento Loran

quelli emessi da A_1 , pari alla somma del tempo t_{A_1B} (impiegato dall'impulso a percorrere la distanza $A_1 B$) e del ritardo δ_1 con cui la stazione B ritrasmette l'impulso all'aereo. L'apparato «ricevitore-indicatore» sistemato a bordo dell'aereo raccoglierà i segnali emessi da A_1 e B con un ritardo diverso per le due stazioni trasmettenti ed i due impulsi vengono riportati sullo schermo di un oscillografo a raggi catodici, in maniera di poter misurare con una precisione maggiore di un microsecondo la differenza dei tempi in arrivo. I tempi misurati dall'oscillografo di bordo sono automaticamente riportati, mediante una apposita cine-camera su di una pellicola.

Contemporaneamente ed analogamente operano le stazioni A_2 e C , con una cadenza di impulsi poco diversa.

Indicando con t_1 il tempo A_1P , con t_2 il tempo BP , con t_{A_1B} il tempo A_1B e con δ_1 il ritardo in B , la differenza dei tempi in arrivo in P nell'attimo dello scatto della lastra viene espresso dalla formula:

$$\Delta T_1 = (t_{A_1B} + \delta_1 + t_1) - t_1'$$

e analogamente per le stazioni $A_2 C$:

$$\Delta T_2 = (t_{A_2C} + \delta_2 + t_3) - t_1''$$

Speciali carte Loran permettono poi, in funzione delle differenze di tempo ΔT_1 e ΔT_2 e delle posizioni cognite di A , di B e di C , di individuare la prima e la seconda linea di posizione del punto P ; l'intersezione di queste due linee

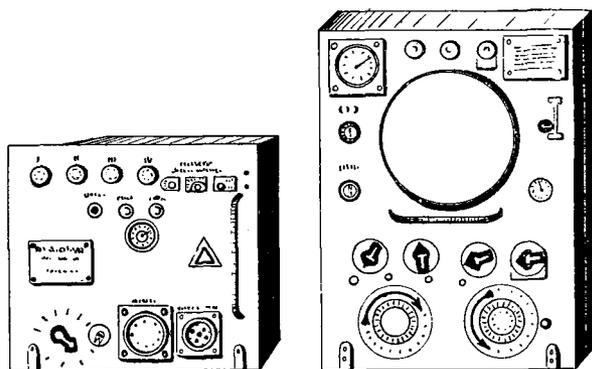


FIG. n. 5

determina planimetricamente il punto P cercato. La quota di volo in P viene automaticamente fornita dall'altimetro di precisione dell'aereo.

In questi ultimi tempi si sono sperimentati con discreto successo due speciali dispositivi automatici che semplificano le complesse operazioni a bordo dell'aereo.

Uno speciale apparato detto « indicatore doppio a lettura diretta » consente il confronto contemporaneo tra le due coppie di impulsi e l'automatica lettura delle differenze di tempo nell'istante in cui gli impulsi stessi sono portati in coincidenza.

L'altro dispositivo, il più recente, denominato « Loran plotting board » permette di tracciare automaticamente, per mezzo di uno speciale collegamento di un indice tracciatore con i comandi dei due indicatori delle differenze di tempo, la rotta dell'aereo corretta dagli errori provocati dalla non costante velocità dell'aereo e dalle deviazioni dovute agli agenti atmosferici (correnti o venti). Questo nuovissimo dispositivo dovrebbe consentire di conoscere in

qualsiasi istante la posizione dell'aereo rispetto ai punti noti del terreno sui quali sono collocate le stazioni radar.

Il complesso Loran risulta avere una portata massima utile (con onda diretta) di circa 1.200 Km. nelle ore diurne.

L'apparato ricevitore-indicatore Loran per aerei (vedere fig. n. 5) risulta per il suo peso relativamente molto piccolo (Kg. 30) facilmente sistemabile sull'aereo.

Il complesso di dimensioni minori (a sinistra nella figura) contiene il «ricevitore» vero e proprio e «l'alimentatore-stabilizzato» mentre quello di dimensioni maggiori (a destra nella figura) è «l'indicatore» che comprende l'oscillografo a raggi catodici ed i circuiti di deflessione e di cadenza.

L'attenzione dei geodeti è attualmente rivolta al recente tipo di Loran «a bassa frequenza» (circa 180 Mc/sec.) il quale mediante la «comparazione di cicli» permette di determinare con grandissima precisione la differenza di tempo cercata.

Da esperimenti recentemente eseguiti sembrerebbe che gli errori medi per misurazioni di distanze dell'ordine di diverse centinaia di chilometri effettuate con il nuovo tipo di Loran a bassa frequenza si aggirino su alcuni metri (più o meno 3 m.) Se questi risultati saranno confermati da applicazioni pratiche potrà veramente dirsi che il Loran porterà un grandioso ed insperabile contributo nel campo delle applicazioni del radar all'aerofotogrammetria ed alla geodesia.

NOTA BIBLIOGRAFICA

- A. M. WILSON, *Shoran for the Photogrammetrist*. «Photogrammetric Engineering», n. 1, vol. XVI, anno 1950.
- U.S.A., «Rivista Electronics», dicembre 1945 e gennaio 1946.
- A. VULLO, *Il Radar nelle applicazioni geodetiche*, «Bollettino di Geodesia e Scienze affini», anno IX, n. 4.
- G. BOAGA, *Le applicazioni geodetiche del Radar*, «Annali di Geofisica», Roma, 1949.
- A. DE BONIS, *Dalla triangolazione alla trilaterazione. Sulle possibilità delle misure dirette di lunghi archi di meridiano.*, «Bollettino S.I.F.E.T.», 1952, n. 1.
- C. A. HART, *Modern mapping. Including the employment of radio techniques and with special reference to economic development.*
- G. CASSINIS, L. SOLAINI, *Note di fotogrammetria*, Pubblicazione n. 1 della «Rivista del Catasto e dei SS.TT.EE.», 1938.
- P. BELFIORE, *Cartografia coloniale ed impiego della fotogrammetria.*, «Riv. del Catasto e dei SS.TT.EE.», anno 1936, n. 3-4.