

RISULTATI DI UN RECENTE CONVEGNO SULLA TRIANGOLAZIONE AEREA

Prof. Ing. LUIGI SOLAINI

Negli ultimi giorni dello scorso mese di marzo, un gruppo di studiosi e di tecnici fotogrammetrici si è riunito a Bruxelles per fare il punto sulle ricerche e sulle applicazioni della triangolazione aerea e per preparare i programmi dei contributi e delle discussioni del prossimo Congresso internazionale di Fotogrammetria, che si terrà a Washington nel 1952.

Il Convegno è stato molto interessante, perché le discussioni, svoltesi in ambiente ristretto di competenti specifici della materia e in una atmosfera direi quasi familiare, hanno potuto avere un'ampiezza difficilmente realizzabile in sede congressuale. Poiché gli sviluppi di questa moderna tecnica di rilievo assumono ormai una importanza applicativa di primo ordine, credo utile riassumere per i topografi e i fotogrammetri italiani il lavoro della riunione.

Siccome non tutti i topografi sono perfettamente al corrente dei metodi più recenti della fotogrammetria, mi sia consentito un breve richiamo sul principio della triangolazione aerea.

Tutti sanno che la formazione delle carte topografiche per via fotogrammetrica avviene con la presa di una serie continua di fotografie del terreno da rilevare, per mezzo di una camera fotografica installata a bordo di un aeroplano e con la deduzione dalle fotografie stesse degli elementi metrici necessari a disegnare la carta. Questa seconda operazione viene effettuata in quei bellissimi strumenti che si chiamano *restitutori* e a sua volta consta di due fasi: anzitutto occorre sistemare i fotogrammi (sempre a coppie, poiché ogni punto del terreno deve comparire in due fotografie successive, prese quindi da due punti distinti dello spazio), in modo che abbiano le stesse posizioni che possedevano all'istante della presa; in un secondo tempo si passa al tracciamento della carta.

La prima operazione viene detta del ripristino dell'*orientamento esterno dei fotogrammi*, o del *modello ottico* in forma e posizione o, come hanno proposto i francesi, dell'*immagine plastica del terreno*. Poiché la posizione della camera fotografica ad ogni presa e la sua orientazione spaziale sono assolutamente incognite, la determinazione degli elementi necessari al ripristino del-

l'orientamento esterno nel restitutore è affidata ad alcuni punti noti del terreno, le cui immagini compaiono sui fotogrammi. Naturalmente ciò conduce a dover rilevare sul terreno questi punti con gli ordinari metodi topografici, generalmente con triangolazioni. Le operazioni a terra rappresentano un onere non indifferente; specialmente nei rilievi a piccola scala esso incide in modo notevole sul costo totale del rilievo.

I tecnici fotogrammetrici si sono perciò mobilitati per eliminare, almeno in gran parte, questo gravoso lavoro e sono giunti a due soluzioni di diversa portata. La prima soluzione consiste nell'eseguire una vera e propria triangolazione lungo la strisciata, misurando però gli angoli sui fotogrammi anziché sul terreno; si tratta di un collegamento planimetrico approssimato a causa della non orizzontalità delle fotografie, ma che dà buoni risultati per rilievi a piccola scala in terreni non troppo accidentati. La seconda soluzione consiste nell'attaccare ogni fotogramma ai precedenti, utilizzando la porzione di terreno fotografato in comune, cioè orientando ogni fotogramma sul precedente già orientato; si tratta di una successiva formazione di modelli ottici tra loro concatenati in modo da svincolare dalla necessità di conoscere punti del terreno. La messa a punto di questi metodi ha richiesto molti anni di esperimenti e di perfezionamenti di apparecchiature e di metodi. Ormai, come vedremo, siamo giunti a soluzioni veramente soddisfacenti.

Sul primo metodo, detto della *triangolazione radiale*, sono state presentate a Bruxelles due relazioni, una tedesca di Brücklacher, l'altra svedese di Fagerholm.

Entrambe si riferiscono ad un particolare procedimento detto delle *sagome a fessura*, consistente nel preparare delle lastre di cartone o di alluminio, una per ciascun fotogramma, su cui le direzioni osservate sono rappresentate da fessure di larghezza costante. Le direzioni che su diverse sagome vanno allo stesso punto sono collegate da pioli, che lasciano un leggero gioco, cosicché la triangolazione assume automaticamente la sua forma. Ponendo lo schema così formato sopra un tavolo vibrante, le varie sagome si adattano in modo da realizzare in modo semplice una compensazione. Il metodo, benché a prima vista sembri complicato per la necessità di preparare tante sagome con notevole precisione, si è tuttavia dimostrato pratico perché risolve in modo rapido il problema della compensazione della triangolazione, assai complesso per il grande numero di equazioni di condizione.

I tedeschi, con la costruzione delle sagome in alluminio e con alcuni accorgimenti tecnici, hanno cercato di aumentare la precisione del metodo, mentre gli svedesi hanno studiato meticolosamente tutte le numerose cause di errore e cercato di ovviarvi; tra l'altro, buoni risultati sono stati ottenuti, effettuando la vibrazione per la compensazione con la tavola inclinata in quattro diverse direzioni e prendendo come posizione di ciascun punto la media di quelle trovate nelle quattro posizioni. Gli esperimenti svedesi sono in pieno sviluppo e certamente all'epoca del Congresso internazionale si avranno altri interessanti risultati.

Più importanti sono i risultati conseguiti negli studi sul secondo metodo, detto della *triangolazione spaziale*, perché più generalmente applicabile in qualunque condizione e suscettibile di migliore precisione.

Un elemento fondamentale di successo del metodo è costituito dall'orientamento dei fotogrammi, ossia dalla buona formazione dei vari modelli ottici. Il procedimento generalmente usato, valevole però rigorosamente per fotogrammi quasi verticali e per terreno piano, si deve al compianto prof. von Gruber, insigne fotogrammetra tedesco. Mentre la prima condizione è abbastanza bene soddisfatta, la seconda lo è molto meno; il procedimento è ugualmente applicabile anche in terreni accidentati, ma richiede una lunga serie di approssimazioni successive, per cui, da una parte il tempo necessario all'orientamento diviene lungo, dall'altra i risultati finali possono non essere perfetti. Particolari procedimenti sono stati allora studiati per rendere spedito l'orientamento anche quando il terreno presenta notevoli dislivelli. Ed ecco infatti tre contributi sull'argomento presentati al Convegno. Uno è del prof. Pauwen, belga, l'altro del nostro ing. Santoni, l'ultimo dell'ing. Poivilliers, francese.

La esposizione dei metodi proposti dai tre insigni uomini riuscirebbe incomprendibile ai non iniziati; mi basta ricordare la loro importanza pratica. Il metodo di Pauwen è stato abbondantemente discusso ed è risultato che, mentre in certi casi può richiedere successive approssimazioni, consente tuttavia di ottenere l'orientamento in modo brillante e rapido in altri casi in cui la formazione del modello ottico si presenta particolarmente difficile.

Il metodo di Santoni consiste nell'eseguire delle misure sulle lastre e di calcolare poi le rotazioni da dare alla camera su cui è fissato il fotogramma da orientare per mezzo di un apparecchietto ingegnoso e di facile uso (1).

Finalmente il metodo di Poivilliers si basa su costruzioni grafiche, simili a quelle in uso per risolvere il problema di Snellius con la tavoletta pretoriana; le soluzioni grafiche sono, anche in Fotogrammetria, predilette dai francesi, che ne fanno largo uso. La discussione di queste relazioni ha portato lontano, poiché ha condotto ad esaminare la convenienza di costruire speciali apparecchi appositamente studiati per l'esecuzione di triangolazioni aeree di grande precisione. Il problema è già stato considerato da Santoni tanti anni or sono; nuove idee sono intanto maturate, la cui realizzazione è tuttavia ostacolata dal grande costo delle apparecchiature e delle esperienze.

Mi sia concessa a questo proposito una osservazione un po' amara. In Italia, Santoni ha studiato con grande passione e con grandissima intelligenza un metodo di triangolazione aerea, il quale utilizza il Sole « punto » noto in ogni istante, per rendere più spedite le operazioni e soprattutto per diminuire gli errori. Il metodo non è stato ancora sufficientemente sperimentato per mancanza di mezzi e di spirito di collaborazione da parte di chi dovrebbe for-

(1) Il metodo è descritto nei suoi particolari nell'articolo E. SANTONI, *Contributo alla teoria*, ecc. comparso nel numero precedente del Bollettino.

nirli, malgrado il grande impegno dell'ideatore. Così, mentre in Francia e anche in Svizzera si è già giunti, come dirò tra poco, ad una fase sperimentale-applicativa in grande scala, da noi siamo ancora agli esperimenti preliminari, mentre il procedimento solare ha tutte le possibilità, dimostrate dai risultati sinora conseguiti, di rappresentare uno dei metodi più fecondi e più precisi tra quelli esistenti.

Se, ascoltando le relazioni dei tecnici stranieri, ci siamo compiaciuti del grande sviluppo che hanno avuto negli ultimi anni gli studi sulla triangolazione aerea, noi italiani non abbiamo potuto esimerci da deplorare le incomprensioni che impediscono alla nostra scienza e alla nostra tecnica di affermarsi nel mondo come dovrebbe e di portare il contributo di cui è capace allo sviluppo civile.

Due relazioni hanno mostrato i notevoli progressi che sono stati fatti, come ho detto prima, in Francia e in Svizzera.

L'Istituto Geografico Nazionale francese, adottando un procedimento di triangolazione studiato da Poivilliers, ha eseguito rilievi su due zone di terreno, ciascuna di 1000 km², con risultati più che lusinghieri; infatti gli errori medi altimetrici, i più temibili nella triangolazione aerea, dopo la compensazione non superano 1 metro. Ciò significa che la triangolazione aerea può essere applicata tranquillamente per grandi estensioni in rilievi anche a scala 1:5000. Se si pensa che le *strisciate*, ossia le strisce di terreno ricoperte da una serie di fotogrammi tra loro concatenati senza punti a terra (tolti quelli alle estremità), hanno lunghezze che raggiungono 60 km e che i rilievi consistono di diverse strisciate adiacenti e intersecantesi, e che le fotografie sono prese a qualche migliaio di metri di altezza, si comprende facilmente a quale perfezione siano giunti i procedimenti di triangolazione aerea.

Lo stesso Istituto ha attualmente in corso il rilievo di una area assai più grande, che probabilmente raggiungerà i 12000 chilometri quadrati.

Mi preme far rilevare che questi lavori non sono eseguiti da un Istituto scientifico per puro amore di ricerca, ma da un Ente cartografico nazionale, il quale ha chiaramente compreso l'importanza pratica della triangolazione aerea e sta mettendo a punto un metodo di rilievo del terreno che accoppi una notevole velocità alle necessarie esigenze di precisione della cartografia ufficiale di un Paese.

Il prof. Zeller, del Politecnico di Zurigo, ha invece illustrato i procedimenti di compensazione elaborati nel suo Istituto, dell'insieme di parecchie strisciate ricoprenti vasti territori. La compensazione, di carattere empirico come quella delle ordinarie poligonal topografiche, è abbastanza rapida, pur consentendo una buona uniformità di distribuzione degli errori. Il prof. Zeller ha anche descritto i metodi operativi in uso in Svizzera, metodi che vengono attualmente collaudati con esperimenti di portata abbastanza ampia.

Anche l'Istituto Geografico Militare belga sta eseguendo lavori molto interessanti e con ottimi risultati, benché in scala minore rispetto a quelli francesi.

Un problema molto importante nella triangolazione aerea, come in un

qualunque procedimento topografico, è lo studio della propagazione degli errori. Qui il problema è particolarmente acuto, perché bastano errori piccolissimi in ciascun concatenamento per portare a deformazioni molto forti nel modello ottico complessivo. Inoltre la questione è complicata dalla presenza contemporanea di errori sistematici e di quelli accidentali, i quali hanno un comportamento molto diverso e che non è facile separare. Per un lungo periodo di tempo si è ritenuto, e credo a ragione, che gli errori più temibili fossero quelli sistematici; oggi invece, poiché col perfezionamento degli strumenti le cause sistematiche di errore sono sensibilmente diminuite, gli errori accidentali hanno attirato fortemente l'attenzione degli studiosi. In particolare lo svizzero prof. Bachmann ne ha fatto oggetto di uno studio assai profondo, dimostrando che possono raggiungere valori cospicui.

La determinazione delle leggi di propagazione degli errori ha una importanza pratica notevole, poiché influisce sui criteri di compensazione delle strisciate e guida costruttori e tecnici operatori nella lotta per la conquista di una sempre maggiore precisione.

A margine degli argomenti di stretta pertinenza del Convegno, il prof. Pauwen ha finalmente riferito sulla realizzazione di barometri molto sensibili e stabili, i quali consentano buone e rapide determinazioni delle quote di un certo numero di punti dei terreni soggetti a rilievo aerofotogrammetrico, punti che servono di appoggio per l'orientamento dei fotogrammi e di controllo.

Questo in breve il lavoro svolto in tre giorni di Convegno. Come si vede, lavoro fruttuoso, svolto in una atmosfera di serena amicizia, quale solo la scienza può creare. I colleghi belgi hanno accolto i partecipanti con grande cortesia e cordialità; le giornate di Bruxelles hanno lasciato in tutti gli intervenuti un ricordo estremamente simpatico.

Noi italiani abbiamo avuto tra l'altro la soddisfazione di vedere negli uffici degli Istituti cartografici belgi numerosi strumenti restitutori di Santoni, universalmente lodati e ammirati.

Auguriamoci che l'Italia continui a tenere alto il suo nome anche nel campo della Fotogrammetria in cui ha sempre primeggiato e che al prossimo Congresso internazionale si presenti con una messe di nuove realizzazioni, tali da competere vittoriosamente, in nobile gara, con le altre Nazioni.

DISTRIBUZIONE DELLE TESSERE SOCIALI

Quanto prima verranno inviate ai Sigg. Presidenti delle varie Sezioni (ovvero ai Sigg. *Soci Delegati* per le Sedi nelle quali le Sezioni non sono ancora costituite) le Tessere Sociali ed i relativi *bollini* per l'anno 1951.

Si pregano i Sigg. Presidenti e Soci Delegati di voler provvedere, con cortese sollecitudine, per la consegna di tali tessere ai singoli Soci, che abbiano versato la quota sociale dell'anno corrente.