

L'INFLUENZA DELL'AEROTRIANGOLAZIONE ANALITICA ESEGUITA MEDIANTE GLI STEREOCOMPARATORI E LE CALCOLATRICI ELETTRONICHE, NELLA COSTRUZIONE E NELL'IMPIEGO DI RESTITUTORI FOTOGRAMMETRICI ⁽¹⁾

Dott. Ing. UMBERTO NISTRI

Parecchi anni or sono e precisamente nel 1935, parlando agli allievi del I Corso di Fotogrammetria presso il Politecnico di Milano, accennai ai problemi industriali della nuova attività fotogrammetrica, che allora faceva i primi passi, ed indicai le possibilità che si presentavano in relazione alla strumentazione esistente.

Oggi torno sull'argomento, poiché l'avvento delle calcolatrici elettroniche ha provocato una rivoluzione destinata a condizionare la strumentazione fotogrammetrica ed il suo impiego pratico.

È noto che il problema economico della industria fotogrammetrica è costituito dalla riduzione, per quanto possibile, delle operazioni sul terreno per cui viene affidata, agli stessi restitutori, l'esecuzione della triangolazione che deve fornire gli elementi necessari per la ricostruzione del modello ottico e per il suo orientamento assoluto. È noto che questa necessità impone ai restitutori del primo ordine particolari caratteristiche ed una notevole accuratezza nella costruzione per raggiungere il più alto grado di precisione, che ne determinano l'alto costo e ne diminuiscono il rendimento economico, aggravando inutilmente la prestazione fondamentale, cioè la restituzione.

L'avvento degli stereocomparatori registratori, in unione con le nuove macchine calcolatrici elettroniche, risolve questo problema ed apre la via a nuove prospettive sia nella tecnica di impiego e sia nella realizzazione dei restitutori, al fine di ridurre i costi fin qui troppo elevati, per le ragioni anzidette.

Lo stereocomparatore, integrato dalla calcolatrice elettronica, è destinato a sostituire i restitutori della precisione del primo ordine, nella esecuzione della triangolazione aerea.

Lo stereocomparatore è uno strumento assai più preciso del restitutore del primo ordine, poiché esso non ha le esigenze ottiche e meccaniche che sono richieste per la formazione del modello ottico in siffatte operazioni. La precisione media che esso può fornire è dell'ordine di due micron, limite che è largamente superiore all'approssimazione consentita nella determinazione della

⁽¹⁾ Conferenza tenuta dall'Ing. UMBERTO NISTRI al IX Congresso Internazionale di Fotogrammetria, in Londra (1960).

posizione dei punti singoli sui fotogrammi, a causa della natura del mezzo impiegato per la presa.

Lo stereocomparatore fornisce ad un tempo la registrazione dei dati in chiaro e la banda (o la scheda) perforata, secondo il codice desiderato, che può essere direttamente introdotta nella calcolatrice, la quale esegue tutte le operazioni all'uopo predisposte.

Il tempo richiesto per le operazioni di misura è assai inferiore a quello normalmente impiegato con i restitutori, perché è evitata la formazione del modello ottico; infatti i fotogrammi vengono disposti nei loro telai come se fossero complanari e in tale posizione rimangono nel corso delle operazioni di misura.

Il problema è quindi risolto nel più semplice e nel migliore dei modi e, quando saranno migliorate le condizioni della presa e la rettifica della camera per l'orientamento interno del fotogramma, il procedimento potrà fornire la maggiore garanzia di precisione, nella determinazione degli elementi dell'orientamento esterno del fotogramma.

Volgiamo ora lo sguardo ai restitutori. Una volta sottratto al restitutore il compito di eseguire la triangolazione aerea, quali economie si possono raggiungere nella loro realizzazione ?

Anzitutto è ovvio che molte parti, ora necessarie per quella prestazione, diverranno superflue e quindi potranno essere abolite. Inoltre anche la precisione ora richiesta per quella operazione potrà essere ridotta, a beneficio della maggiore stabilità e del costo del restitutore.

Potranno essere conservati, per alcuni usi particolari, i restitutori universali, ma poiché l'uso normale è quello dei fotogrammi planimetrici, la maggior parte dei restitutori potrà limitare il proprio impiego a questi fotogrammi solamente.

Un orientamento in questo senso si è da tempo verificato con la creazione dei restitutori semplificati, destinati al solo impiego di fotogrammi quasi naturali e nei quali, per ragioni di economia, sono state ridotte le prestazioni. Ma l'avvento dei nuovi procedimenti numerici apre la via ad ulteriori semplificazioni.

Il metodo analitico mediante gli stereocomparatori e le calcolatrici elettroniche fornisce i seguenti elementi:

a) la posizione (coordinate spaziali) dei punti di riferimento scelti sui fotogrammi per il loro concatenamento;

b) gli elementi della posizione del fotogramma nello spazio, cioè gli angoli ω , φ e κ ;

c) le componenti b_x , b_y , b_z della base, per ogni coppia di fotogrammi della serie.

Quali e come questi elementi possono essere usati nei restitutori per la formazione del modello ottico ?

Naturalmente i punti di riferimento, per ogni fotogramma, la cui posizione è ricavata secondo il nuovo procedimento. In queste caso tutti i restitutori attuali potranno essere impiegati secondo la normale prassi.

Ma importanti semplificazioni potranno essere conseguite nella realizzazione dei restitutori fotogrammetrici seguendo i concetti che esporrò e che tendono ad utilizzare non già i punti del terreno, ma gli elementi dell'orientamento esterno del fotogramma forniti dal calcolo.

È da escludersi la imposizione dell'orientamento esterno del fotogramma, usando le graduazioni dei supporti delle camere, poiché ciò richiederebbe una precisione ed una condizione di rettifica dello strumento da rendere il suo costo assai più elevato di quanto lo sia oggi ed il suo impiego ancor più precario, poiché per correggere gli eventuali inevitabili residui errori nella ricostruzione del modello ottico, occorrerebbe fare ricorso ai punti noti del terreno rendendo così superflua la prima operazione.

Ma la conoscenza degli elementi dell'orientamento esterno del fotogramma può dar luogo, mediante uno strumento ausiliario, alla preparazione di nuovi fotogrammi con i quali verrebbero ridotte o addirittura eliminate le lunghe operazioni, oggi necessarie, per la formazione e l'orientamento assoluto del modello ottico, con grande beneficio del costo e del rendimento del restitutore e quindi, in definitiva, con vantaggio economico della impresa.

Infatti con gli elementi forniti dalla calcolatrice e con il nuovo strumento ausiliario si potranno ottenere:

- a) fotogrammi sui quali sarà indicata la posizione del punto nadirale,
- b) fotogrammi raddrizzati e cioè resi equivalenti a fotogrammi presi con asse verticale.

L'indicazione sul fotogramma della posizione del punto nadirale può consentire, come già dissi ⁽¹⁾, la formazione del modello ottico ed il suo orientamento assoluto con estrema rapidità e praticamente senza il ricorso ai tentativi sistematici. I restitutori attuali sarebbero tutti in grado di adottare il nuovo procedimento il quale richiede solamente di portare, in partenza, il punto nadirale sulla perpendicolare al piano di orizzontamento del restitutore.

Meglio ancora se, nei nuovi restitutori, i supporti delle camere saranno dotati della rotazione che io ho chiamato ρ , cioè attorno ad un asse perpendicolare al piano di riferimento orizzontale del restitutore o asse nadirale del fotogramma. In realtà io adottai fin dal mio primo Fotocartografo (1924) questa rotazione; nel Fotocartografo infatti vi erano, oltre alla rotazione κ , la

(1) *Un procedimento pratico per la esecuzione della triangolazione aerea spaziale.* Estratto dal « Bollettino di Geodesia e Scienze Affini », Rivista dell'Istituto Geografico Militare, Anno XIV, n. 3, luglio-agosto-settembre 1955.

A Practical procedure to carry out spatial stereotriangulation. Reprinted from Photogrammetric Engineering, March, 1955.

detta rotazione ρ ed una sola inclinazione della camera, secondo un asse che passava per il centro ottico della camera e che giaceva in un piano parallelo al piano di riferimento orizzontale dello strumento.

Recentemente, per consentirne l'impiego sia secondo il metodo ormai universalmente accettato per la formazione del modello ottico e sia secondo quello da me preconizzato, mediante il punto nadirale, nel Fotomultiplo DIII, oltre alle rotazioni indicate, cioè κ e ρ , ho introdotto anche le due rotazioni ω e ρ le quali però, a differenza di quanto avviene nei comuni restitutori, variano di orientamento nel piano, con la rotazione ρ , con la quale sono solidali.

La rotazione ρ , come già dissi, serve egregiamente per orientare la figura proiettata sul piano senza variarne né la forma geometrica né l'ingrandimento, poiché avviene attorno ad un asse perpendicolare al piano di riferimento orizzontale dello strumento. La rotazione ρ e la rotazione κ si identificano quando l'asse principale della camera è perpendicolare al piano di riferimento orizzontale del restitutore.

Naturalmente per ottenere la scala del modello ottico occorrerà conoscere la distanza fra due punti del terreno oppure imporre alle camere la componente b_x della base ricavata anch'essa dal calcolo. Sembra più conveniente a tale scopo servirsi della conoscenza della distanza fra due punti noti del terreno, poiché in tal caso lo strumento diviene di una estrema semplicità perché non necessiterebbe di alcuna indicazione nei supporti delle camere, la cui funzione sarebbe così unicamente di fare assumere alle camere la posizione desiderata.

Per la condizione di rettifica e di controllo dello strumento, occorrerebbe accertare in partenza, mediante una livella, la posizione del punto di intersezione, con il piano di riferimento orizzontale, dell'asse passante per il centro della ottica della camera e perpendicolare al detto piano, onde poter portare il punto nadirale del fotogramma in coincidenza con questo punto del piano.

Ma una più suggestiva possibilità si presenta, la quale consentirebbe la semplificazione decisiva dei restitutori fotogrammetrici, riportandoli alla loro unica e vera funzione, che è la restituzione, cioè il tracciamento autografico della carta topografica. Questa possibilità può essere raggiunta mediante la trasformazione del fotogramma originale nel corrispondente ad asse verticale ed avente caratteristiche geometriche prestabilite e che potranno essere comuni a tutti i restitutori, qualunque siano quelle della camera di presa.

Per questi restitutori sarà sufficiente che il supporto della camera consenta la sola rotazione ρ cioè attorno all'asse perpendicolare al piano di riferimento orizzontale, e sarà necessario e sufficiente, come condizione di rettifica e di controllo, che l'asse della camera coincida con questo asse perpendicolare al detto piano. Questi supporti potranno conservare i movimenti necessari per la imposizione delle componenti della base, ma in realtà sarà sufficiente conservare la sola componente b_x della base.

Per raggiungere questa possibilità si rende però necessario, come abbiamo detto, uno strumento ausiliario il quale consenta di ottenere i nuovi fotogram-

mi rispondenti alle condizioni indicate. Lo strumento esiste ed è il Fotoriproduttore telescopico da me proposto e realizzato.

Si tratta di uno strumento che deve possedere doti particolari di precisione poiché deve ripetere i dati dei valori ω e φ ricavati dal calcolo, e l'orientamento interno della camera, che condiziona a sua volta il nuovo fotogramma. Ma poiché queste rigorose condizioni sono applicate ad una sola camera, la cui funzione, fra l'altro, è assai più semplice di quella che hanno le camere nei restitutori, il suo costo sarà sempre di gran lunga inferiore a quello di un restitutore della precisione del primo ordine.

Inoltre si tratta di un solo strumento con il quale potranno essere serviti numerosi restitutori di maggior rendimento ed aventi caratteristiche assai meno impegnative degli attuali.

Col « Fotoriproduttore telescopico » si otterranno, come ho già indicato, fotogrammi aventi caratteristiche geometriche uniche e determinate, per cui sarà possibile unificare tutte le camere dei restitutori, raggiungendo così una ulteriore economia nella loro costruzione e nell'impiego pratico, poiché potranno essere aboliti tutti i dispositivi oggi in uso per adattarle ai fotogrammi delle diverse camere di presa.

Non descriverò in questa sede lo strumento che ho chiamato « Fotoriproduttore telescopico », poiché esso è già stato descritto ⁽¹⁾ ma accennerò al modo come esso potrebbe entrare a far parte della nuova tecnica d'impiego industriale della fotogrammetria.

Io vedo sorgere dunque organizzazioni specializzate per la esecuzione della sola triangolazione aerea, le quali forniranno i dati necessari alle organizzazioni industriali per la restituzione fotogrammetrica. Si creeranno così, come vuole la prassi industriale che significa ricerca del più basso costo e per rendere maggiormente accessibili i servizi, settori industriali specializzati i quali si perfezioneranno sempre di più nel genere del loro lavoro, e tenderanno a fornire sempre meglio ed a miglior costo i propri servizi.

Alla organizzazione che provvederà alla esecuzione della triangolazione aerea, e che sarà equipaggiata con lo stereocomparatore, sarà certamente devoluto anche il compito di preparare i nuovi fotogrammi mediante l'uso del Fotoriproduttore telescopico, poiché essa è maggiormente in grado di apprezzare la delicatezza e la importanza della nuova operazione.

Questo è il processo evolutivo che io intravedo nel prossimo futuro e che le ferree leggi economiche imporranno. Tuttavia debbo concludere che simili prospettive non possono non essere considerate allettanti per chi, come per molti di noi, vide gli incerti inizi e soffrì le conseguenze di un misoneseismo che oggi, come sempre accade quando un nuovo processo scientifico e tecnico si afferma, sembra assurdo.

(1) GINO PARENTI: *The Nistri-OMI Telescopio. Photoprinter-rectifier.* (Telerecprinter). 26th Annal Meeting American Society of Photogrammetry, March 23-26-1960

Non posso chiudere questa mia modesta relazione senza dare uno sguardo sempre più lontano. Si tende infatti a giungere direttamente al tracciamento autografico della carta topografica, analogamente a quanto si compie con i moderni attuali restitutori, senza passare attraverso la formazione del modello ottico, affidando alla calcolatrice elettronica il compito di risolvere le relazioni intercorrenti fra la coppia stereoscopica e la proiezione ortogonale del modello ottico.

Gli studi e la realizzazione di questo strumento la cui impostazione teorica è dovuta al Prof. Blachut e al Dr. Helava del National Research Council di Ottawa, sono in corso con la collaborazione dei tecnici della O.M.I. e della Bendix Computer.

Al prossimo Congresso vi sarà così una nuova e vasta materia di interesse; fin da ora dobbiamo inviare un reverente omaggio al Prof. Dolezal che, con la chiarezza dei pionieri, ebbe la grande idea di fondare la nostra Società, cui si deve in gran parte lo sviluppo della fotogrammetria.

VII Convegno Nazionale della S.I.F.E.T.

Il VII Convegno Nazionale della S.I.F.E.T., che – per i noti motivi – non ha potuto avere luogo nel 1960, sarà tenuto a Ferrara nel mese di aprile 1961, nei giorni 15, 16 e 17.

Vedere a pag. 46 il programma preliminare del Convegno.