

RILEVAMENTO SPEDITIVO DELLE NUBI CON METODI FOTOGRAMMETRICI E STEREOFOTOGRAMMETRICI

Dott. Ing. CORRADO LESCA

Siamo lieti di portare a conoscenza dei nostri lettori il presente articolo pubblicato dall'Ing. Corrado Lesca nel fascicolo numero 1/1960 della Rivista « Atti e rassegna Tecnica della Società Ingegneri e Architetti di Torino ».

Ringraziamo vivamente l'Autore, nonché il Prof. Cavallari-Murat, Direttore del citato Periodico, per il cortese assenso espresso per la pubblicazione nel nostro Bollettino.

I) GENERALITÀ

Lo studio dei fenomeni ondulatori è generalmente e strettamente collegato a formazioni nuvolose tipiche, che materializzano, per così dire, le correnti ondulatorie stesse o che comunque caratterizzano particolari situazioni meteorologiche.

Data la quasi sempre rapida trasformazione e traslazione delle nubi, l'unica possibilità di effettuare analisi metrologiche ci è offerta, come è noto da tempo, dai metodi di rilevamento fotogrammetrico e stereofotogrammetrico.

A questo proposito sono di notevole interesse i rilievi recentemente compiuti dal Prof. Koschmieder [1], i quali purtroppo però non possono trovare, a causa del costo e della complessità delle apparecchiature impiegate, quella larga possibilità di diffusione, che invece sarebbe auspicabile, se si vuole ottenere quella ricca messe di dati, che sola consente di comprovare o meno quanto ci è stato teoricamente proposto, e che sola può consentire ai ricercatori di raggiungere risultati concreti.

Come base essenziale per quanto esporremo qui di seguito, ci siamo perciò proposti di arrivare a determinare la posizione planoaltimetrica di una nube, con le seguenti approssimazioni: errore medio sulla distanza $\pm 3\%$ — errore medio sulla differenza di quota $\pm 5\%$.

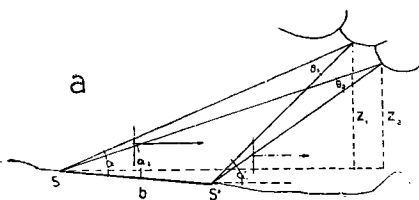


FIG. 1a — Base parallela alla direzione di presa. Caso generale: noto b ed il dislivello fra S ed S' si procede graficamente alla determinazione delle distanze e delle quote. Se gli assi delle fotocamere sono stati tenuti inclinati, occorre operare una successiva riduzione delle distanze e delle quote all'orizzonte.

Tali risultati in pratica sono già più che soddisfacenti ed hanno il grande vantaggio di richiedere apparecchiature poco costose e l'impiego di procedimenti relativamente semplici.

2) CENNI DI METROFOTOGRAFIA.

2.1. *Fotogrammetria.* Consente di determinare la posizione piano altimetrica di un numero qualsivoglia di punti.

Si può realizzare partendo da uno o due fotogrammi. Nel primo caso conviene procedere graficamente, stabilendo la posizione dei punti mediante un reticolato di Moebius [2], oppure ancora mediante un reticolato prospettico. di assai più difficile attuazione del precedente in quanto richiede la determinazione piuttosto laboriosa, oltreché dei punti di fuga, della scala delle distanze.

Sicché in generale è consigliabile procedere col metodo classico d'intersezione (fig. 1 *a, b*), che richiede la presa di due fotogrammi.

Una volta ingrandite le due fotografie, riportando sul bordo inferiore di esse, le ascisse dei punti che interessano, si effettua l'orientamento dei fotogrammi stessi (utilizzando punti noti compresi nei due fotogrammi oppure misure angolari effettuate in occasione delle riprese), indi determinando le intersezioni dei raggi corrispondenti passanti dal centro di proiezione (che si troverà ad una distanza del quadro uguale alla distanza focale dell'obiettivo

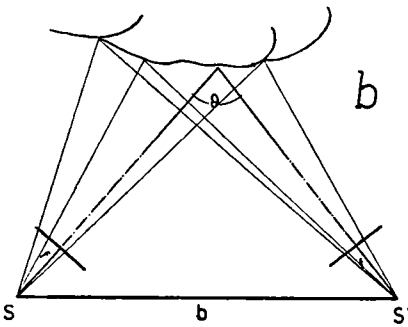


FIG. 1b - Determinazione dei punti per intersezione, secondo il metodo fotogrammetrico classico. Le quote possono essere ricavate per via analitica o grafica.

da presa moltiplicata per il rapporto di ingrandimento) con le proiezioni sul bordo del fotoquadro dei punti interessati.

La posizione delle due stazioni S ed S' deve essere nota e sul disegno verrà riportata nella scala desiderata; poiché evidentemente la determinazione delle coordinate dei due punti stazione risulterebbe piuttosto laboriosa, rendendo quindi i rilievi tutt'altro che speditivi, conviene provvedere opportunamente, scegliendoli o in corrispondenza di punti noti desumibili dalle tavole I.G.M. in scala 1:25.000, oppure predeterminando sul terreno (per esempio su di una strada o su una pista di aeroporto) i punti concorrenti in modo da consentire possibilmente differenti orientamenti della base stessa.

Tuttavia il procedimento indicato non è che di una semplicità apparente: in effetti per consentire una buona intersezione, gli angoli devono essere dell'ordine di grandezza indicato in figura 1 *a, b*. Ne discende per esempio (caso *a*) che per una distanza media della nube di 5000 m, per un'altezza media di

2000 e per un $\delta = 10^\circ$, la base risulterà lunga circa 1800 m, e per un $\delta = 20^\circ$, dovrebbe raggiungere una lunghezza di ben 2500 m circa.

È chiaro come in tal caso non sia più pensabile di effettuare separatamente le due fotografie, anche in caso di velocità molto basse delle formazioni nuvolose: occorre invece disporre di due apparecchi fotografici distinti con due operatori, i quali oltretutto devono potersi segnalare vicendevolmente il momento scelto per lo scatto, o ad ogni modo prestabilirlo esattamente, onde evitare che una parallasse di tempo renda le misure prive di significato.

Come già abbiamo sopra accennato, operando con semplici macchine fotografiche, è indispensabile introdurre nel quadro una striscia di terreno con alcuni punti di posizione nota onde poter ricostituire l'orientamento esterno del fotogramma (1).

Per ovviare a questa necessità occorre accoppiare le camere fotografiche ad un teodolite, in modo da poter determinare mediante lettura degli angoli azimutali e zenitali e basandosi sugli ordinari procedimenti topografici, l'orientamento suddetto.

Poiché per tali misure angolari è sufficiente l'approssimazione di 1' possono essere usati teodoliti relativamente poco costosi (ad esempio Galileo TG3, Askania TK, Salmoiraghi 3148, Wild TO e simili), sui quali può essere predisposto l'opportuno attacco a vite per la macchina fotografica, il cui centro ottico deve all'incirca coincidere con l'asse principale dello strumento, mentre l'asse ottico deve essere parallelo e verticalmente complanare con l'asse di collimazione del cannocchiale: condizioni queste che si possono realizzare e verificare facilmente, con gli attuali apparecchi fotografici d'uso tecnico.

In molti casi può essere sufficiente operare con un solo teodolite accoppiato con macchina fotografica, se nella seconda stazione l'operatore provvede per ogni serie di riprese a collegarsi fotograficamente con la stazione principale mediante una opportuna panoramica (occorre in questo caso piazzare l'apparecchio fotografico su un cavallo robusto, assumendo l'obbiettivo come centro di rotazione).

2.2. - Stereofotogrammetria.

Si basa sull'impiego di due stazioni S ed S' , di quota pressoché uguale, e con gli assi Y ed Y' orizzontali e normali alla congiungente $SS' = b$, le quali oltreché eliminare il più grave inconveniente della fotogrammetria, che è

(1) L'orientamento interno è completamente determinato quando si conoscano distanza principale e punto principale: la prima è facilmente ottenibile per similitudine con l'approssimazione di 0,1 mm fotografando un segmento (o più semplicemente i due punti estremi, opportunamente materializzati) ortogonale e simmetrico rispetto all'asse ottico della fotocamera, il secondo si ricava dalle due diagonali del fotogramma, determinandone il punto d'incrocio.

quello della incerta e laboriosissima identificazione dei punti sulle due immagini coniugate – specie se prese a notevole distanza e con forti convergenze – consentono una notevole semplificazione per il passaggio dalle coordinate sul piano prospettico alle coordinate bipolari sul piano d'orizzonte ed ai dislivelli per i punti rilevati.

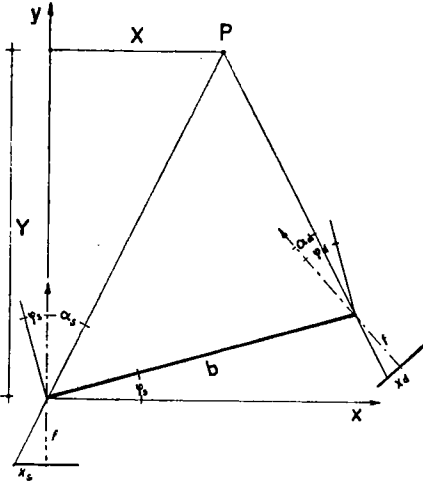


FIG. 3 – Riprese stereofotogrammetriche con assi convergenti. La determinazione delle coordinate di P avviene per via analitica con le formule usuali, previa misura sulle fotografie delle parallassi orizzontali e verticali mediante stereomicrometro accoppiato allo stereoscopio.

però i valori dell'approssimazione che abbiamo fissato in τ , la necessaria e sufficiente lunghezza della stereobase si ricava facilmente dall'equazione

$$Y = \frac{b \cdot f}{a}$$

- f = distanza principale
- a = parallasse lineare

che differenziata rispetto ad a e Y ci dà

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{m \cdot \Delta a}{f} \quad \text{dove } m = Y / b$$

Assumendo ora come valore di Δa valore dell'approssimazione nella de-

2.2.1 – Riprese speditive da terra.

Tenuto presente quanto esposto in 2, si può ammettere anche in questo caso (a meno di movimenti rapidissimi delle nubi) l'impiego di un solo apparecchio da presa, con o senza teodolite accoppiato.

L'essenziale importantissimo vantaggio offerto dalla stereofotogrammetria sta però nel ridottissimo valore che assume la base b , per cui pochi secondi o poche decine di secondi al più consentono di andare da un'estremo all'altro.

Ovviamente l'aumento della base – entro certi limiti – consente di accrescere l'effetto stereoscopico e quindi la precisione delle misure ottenibili. Dati

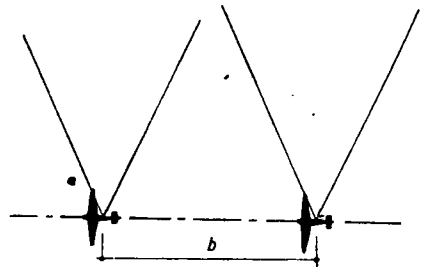


FIG. 4 – Realizzazione di una stereobase con un solo velivolo (è però necessaria una precisa misura della velocità assoluta) oppure mediante aereo di traino ed alante.

terminazione della parallasse), il potere separatore corrispondente alle emulsioni fotografiche di media sensibilità che si aggira praticamente sulle 50 linee/mm (sia per un $\Delta a = 0,05$ mm) avremo

per $m = 40$

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{40}{50 \cdot 50} = \frac{40}{2500} = 1,6 \%$$

per $m = 80$

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{80}{50 \cdot 50} = \frac{80}{2500} = 3,2 \%$$

Dal che si deduce che per restare entro i limiti da noi proposti e per nubi distanti ad esempio 5000 m, sarebbe sufficiente una base di poco più di 60 m.

Con tali distanze è chiaro che si semplifica anche notevolmente la possibilità di riprese simultanee con due o più apparecchi fotografici in quanto la segnalazione dell'istante di presa può essere comunicata con semplicissimi mezzi acustici.

2.3 - Riprese dall'aereo.

Anche in questo caso valgono gli stessi rapporti Y/b stabiliti nel paragrafo precedente, e si opera in analogia.

Utilizzando una sola fotocamera e facendo riprese con asse normale alla direzione di volo, la base si sviluppa in conseguenza dello spostamento del velivolo: noto infatti il tempo intercorso fra i due scatti successivi e conoscendo la velocità assoluta del velivolo - ricavabile dalla strumentazione di bordo (2) - la lunghezza di base è ricavabile immediatamente con la solita relazione:

$$b = \Delta Y \Delta t.$$

Tuttavia sarebbe auspicabile sui grandi aerei plurimotori la disposizione di due fotocamere con telecomando automatico (ad es. tipo Robot) poste

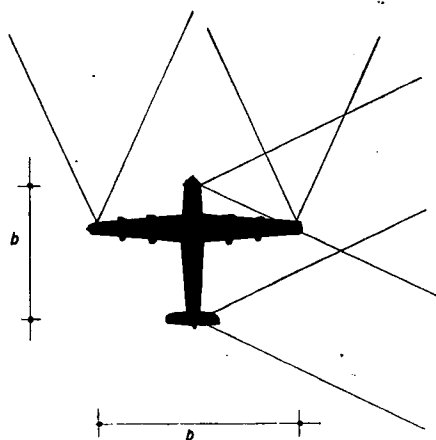


FIG. 5 - Impianto stereofotogrammetrico fisso realizzabile su un aereo plurimotore, lunghezza, della fusoliera ed apertura alare di almeno 20-25 m).

2) Desidero qui ringraziare sentitamente il Comandante FORRESTIER che mi ha fornito utilissime ed aggiornate informazioni in merito alla strumentazione attualmente in dotazione sugli aerei di linea.

rispettivamente a poppa ed a prua (con asse di presa normale alla direzione di volo) oppure alle estremità delle ali in appositi alloggiamenti (asse di presa parallelo alla direzione di volo): in tal modo sarebbe possibile ottenere stereogrammi, con base fissa, il cui orientamento esterno potrebbe essere registrato o fotograficamente o a mano desumendo i dati (inclinazione, sbandamento, direzione) dalle apparecchiature di bordo.

Peraltro i due sistemi precedenti prevedono l'impiego di attrezzature radar o di velivoli di dimensioni tali, per cui essi sono preclusi ai normali rilevatori.

Un sistema che invece si presenta di più facile attuazione nell'ambito di aeroclub e centri volovelistici, consiste nel ricorrere a due apparecchi da presa, di cui uno montato su aliante e l'altro sul velivolo di traino: la lunghezza del cavo di traino (opportunamente ridotta per tener conto dell'effetto di catenaria costituisce l'elemento fondamentale per stabilire la lunghezza della base (che in realtà è costituita dalla distanza esistente fra i due centri ottici degli obiettivi).

Le fotografie dovrebbero essere scattate quando gli apparecchi si trovano esattamente allineati ed alla stessa quota, condizione evidentemente non sempre facile a realizzarsi.

Per avere quindi un orientamento esterno più rigoroso e per poter comunque effettuare fotografie in condizioni diverse da quelle accennate, si può prevedere l'impiego di un terzo apparecchio fotografico disposto in coda al velivolo trainante con l'asse ottico parallelo all'asse longitudinale del velivolo stesso.

In tal modo sincronizzando lo scatto di questo terzo apparecchio con i due destinati alla ripresa delle nubi, sarà possibile registrare con ottima approssimazione la posizione relativa dell'aliante, di cui sono ovviamente note le dimensioni, ricavandone con metodi grafici i dati di inclinazione e di sbandamento (rispetto al velivolo di traino).

Tale procedimento è molto più semplice di altri analoghi, come il metodo « *BOYKOW* » che prevedeva l'impiego di due velivoli, trainanti due cervi volanti, che si fotografavano reciprocamente e simultaneamente [3].

Gli altri dati plano-altimetrici saranno ricavati dall'osservazione e dagli strumenti di bordo: tuttavia se si riuscirà a far comparire nei fotogrammi striscie di terreno è chiaro che l'individuazione del punto di presa e la determinazione dell'orientamento saranno notevolmente semplificate e rese soprattutto più precise.

2.2.4 - *Esame degli stereogrammi.*

Può essere effettuato con vari metodi, che, pur consentendo solo determinazioni qualitative, rendono tuttavia estremamente evidente e suggestive le caratteristiche dei vari tipi di nubi e la loro distribuzione nello spazio.

a) Osservazione con stereovisore. Consiste nella semplice osservazione di una coppia di fotogrammi di formato non superiore a 6×6 cm, possibilmente con l'ausilio di due lenti. La limitazione di formato è il più grave inconveniente di questo sistema.

b) Osservazione con stereoscopio a specchi. Sistema analogo al precedente ma per l'allargamento della base conseguente alla interposizione di prismi e specchi che consentono la visione di stereocoppie di formato fino al 24×24 – si ha una notevole accentuazione dell'effetto di rilievo (ancora aumentato dall'impiego di cannocchiali con ingrandimento $3 \div 8 \times$).

c) Osservazione con occhiali a prismi (tipo O.M.I.). Sistema poco costoso e con apparecchiatura semplicissima e di minimo ingombro.

d) Proiezione con proiettore binato e filtri polarizzatori. Ottimo procedimento, non eccessivamente costoso, che consente la visione a più persone su grande schermo e a colori.

e) Osservazioni con un solo specchio – di due fotogrammi di cui uno, normale, è osservato a occhio nudo, mentre il secondo, invertito, è osservato con l'intermediario dello specchietto.

In questo caso è bene eseguire un ingrandimento del negativo da invertire in quanto la stampa effettuata dal lato supporto riesce sensibilmente meno nitida (3). Con l'ingrandimento si ottiene inoltre il vantaggio di accentuare l'effetto plastico.

2.2.5 – *Restituzione.*

Se la stereofotogrammetria consente di effettuare prese molto più rapide ed agevoli che non i vecchi metodi fotogrammetrici, tuttavia presenta il suo vantaggio maggiore in fase di restituzione, quando occorre provvedere a tradurre graficamente il risultato delle registrazioni fotografiche: in tal caso apparecchi restitutori provvedono molto rapidamente e con notevole grado di precisione al tracciamento automatico delle curve di ugual quota e dei contorni delle nubi.

Per misure e determinazioni meno impegnative è sufficiente ricorrere a stereomicrometri, accoppiati agli stereoscopi a specchi: la determinazine

(3) Vedi a questo proposito le stereocopie pubblicate su «*Ali*» n. 23, anno VIII, pag. 573 e seguenti.

per punti, così effettuata, risulta ovviamente alquanto laboriosa, ma può essere in molti casi preferibile, sia per il minor costo, sia per la possibilità di disporre immediatamente dei dati di massima.

3) APPARECCHIATURA FOTOGRAFICA.

Qualunque apparecchio fotografico di qualità è utilizzabile.

Per quanto è possibile, conviene dare la preferenza ai formati maggiori (6×6 o meglio 6×9), e agli obiettivi non molto luminosi ma di massima incisione (es. Symmar Schneider, Apo Lanthar Voitgländer e simili) possibilmente quadrangolari. Occorre infatti tener conto delle incertezze di puntamento quando si opera con due operatori e con due macchine fotografiche.

Nel caso della ripresa stereo in particolare conviene disporre di alcune marche disegnate nel campo mirino (ad esempio una centrale e quattro angolari) in modo da poter collimare facilmente a qualche prestabilito e lontanissimo dettaglio del paesaggio: in tal modo è possibile realizzare un discreto parallelismo dei due assi di presa.

Una piccola livella sferica, facilmente inseribile in quasi tutti gli apparecchi moderni nell'apposito attacco standard, consente inoltre, nel caso che si lavori con treppiede, di eliminare lo sbandamento del fotogramma, semplificando ulteriormente le operazioni di restituzione.

In quasi tutte le riprese è consigliabile l'impiego di filtri arancioni o rossi che consentono una resa molto più contrastata delle nubi del cielo [4].

Nel caso di fotografie a colori, conviene spesso ricorrere al filtro polarizzatore, in modo da ottenere lo scurimento del cielo.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] H. KOSCHMIEDER e H. MEYER, *Wolkenphotogrammetrie*, Atti della X Assemblea generale dell'Associazione Internazionale di Meteorologia, Londra, 1955.
- [2] H. KOSCHMIEDER e H. SCHULZ, *Wolkenwalzen, Beitrage zur Physik der Atmosphaere*, 3, 1957.
- [3] F. VALLE ed F. PORRO, *Fotografia aerea*, Milano 1932.
- [4] M. PONZIAN, *Il materiale fotografico in fotogrammetria*, Milano 1938.