

GLI ORTOFOTOPIANI

Ugo Bartorelli*

Nell'ultimo nostro Convegno si sono avute comunicazioni e discussioni su un metodo aerofotogrammetrico di grande attualità, la formazione delle carte topografiche mediante gli ortofotopiani. Siccome l'argomento dell'ortoproiezione dei fotogrammi aerei è ancora poco diffuso da noi (1), è stato stabilito di pubblicare sul nostro Bollettino questa nota *introduttiva* sull'argomento, che esponga il nuovo metodo in forma di ragionamento, da non riuscire troppo faticosa a chi non sia specialista nella materia.

Per la comprensione di questa nota è sufficiente la conoscenza dei principi della fotogrammetria e del metodo di restituzione mediante gli strumenti restitutori classici; e di cosa sia la carta topografica, ben s'intende.

Si ritiene necessario, per ragioni ovvie, di parlare, prima, della fotogrammetria ad un solo fotogramma per l'allestimento delle carte mediante i fotopiani, e concludere, poi, con un esame critico, del nuovo elaborato aerofotogrammetrico, agli scopi cartografici di territori di tipo europeo.

LA FOTOGRAMMETRIA AD UN SOLO FOTOGRAMMA. L'aerofotogrammetria *ad un solo fotogramma* è nata quale semplificazione del metodo a due fotogrammi, di generale applicazione; essa è possibile nei rilevamenti di terreni *piani* o *pianeggianti*, ossia, in pratica, di terreni orizzontali o che presentano dislivelli contenuti in una determinata tolleranza.

Infatti se il terreno è orizzontale e la presa aerea è *nadirale* (figura 1),

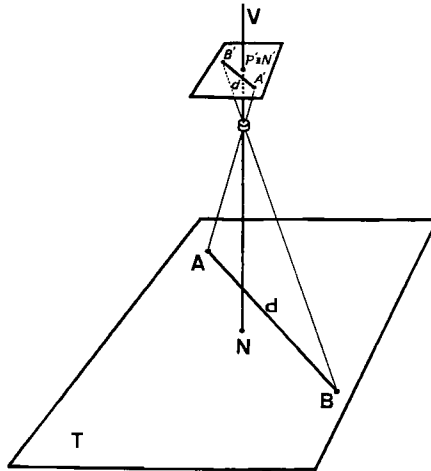


Figura 1. La presa nadirale.

il fotogramma è già *simile* alla superficie del terreno e quindi rappresenta la immagine *planimetrica* del terreno (supposta nulla la distorsione dell'attrezza-

* Università di Padova

(1) Sul nostro bollettino si è parlato di tale metodo in una recensione del N. 1, 2, 3 del 1962 (U: Bartorelli « La automazione in fotogrammetria ») e in due relazioni del N. 4 del 1968 (U. Bartorelli « Risultati scientifici e tecnici del Congresso Internazionale di Fotogrammetria di Losanna e della Mostra Strumentale » pagine 32-36, e Franco Bernini « Relazioni sui Lavori delle Commissioni I-IV-VII della S.I.P. » pagine 48-50).

tura di presa), sicché è sufficiente la conoscenza della distanza d fra *due* punti A, B del terreno fotografato, per dedurre la scala del fotogramma; meglio ancora per trasformare il fotogramma ad una scala assegnata $s = 1/S$ con un suo semplice ingrandimento o rimpicciolimento, in modo da ottenere le immagini dei due punti suddetti alla distanza d/S .

In pratica non è ancora ottenibile una presa aerea che sia nadirale con scarti massimi (dell'asse della camera dalla verticale) dell'ordine del primo sessagesimale circa, come è generalmente necessario per garantire, alla planimetria della carta da allestire, il rispetto del graficismo; per carte di tolleranze più ampie però la detta trasformazione del fotogramma può essere accettata come planimetria, ed allora, per realizzarla, si usano strumenti detti «ingranditori» o «fotoriproduttori» o «trasformatori d'immagini», che oltre a trasformare *similmente* i fotogrammi li correggono anche dalle eventuali distorsioni della camera di presa.

Se il terreno è orizzontale e la presa non è rigorosamente nadirale (figura 2), o con scarti massimi di pochissimi gradi come in pratica è possibile otte-

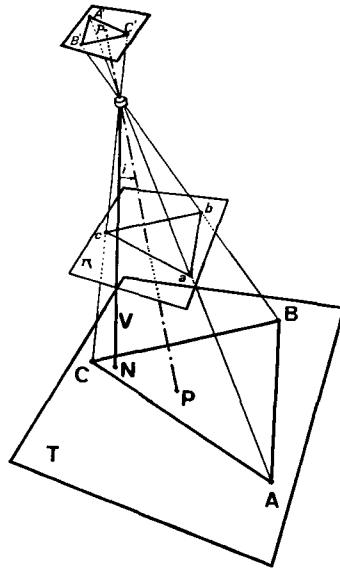


Figura 2. Schema del raddrizzamento.

nere, od anche volutamente inclinata di qualche diecina di gradi, il fotogramma non è simile al terreno ma è possibile trasformarlo, con una proiezione fotografica su un piano π , ad un nuovo fotogramma (positivo) che risulti *simile*, ad una scala assegnata, al terreno fotografato. Per questa trasformazione si usano complessi strumenti di proiezione ottica, detti *raddrizzatori*. Siccome non è nota con la precisione necessaria l'inclinazione i del fotogramma, i punti di appoggio, di posizione nota sul terreno, necessari e appena sufficienti alla operazione, non sono più due soli, ma in numero di *tre* (A, B, C) quando si fa ricorso alla conoscenza degli elementi dell'orientamento interno della camera di presa (caso della figura 2, ma allora le immagini proiettate sul piano π sono nitide solo quanto è possibile ottenere nel campo della profondità di fuoco degli obbiettivi di proiezione); sono invece in numero di *quattro*, quando (per dare un vincolo in meno alla proiezione ottica di tali strumenti) si rinuncia a fare uso della distanza principale della camera di presa, al fine di avere le condizioni ottime di focamento dell'immagine proiettata.

Le trasformazioni fotografiche così ottenute, dette fotogrammi *raddrizzati*, tutte alla *medesima scala*, possono essere poi immosaiccate su un supporto rigido, dando l'immagine della planimetria di una vasta zona di terreno orizzontale senza *soluzioni di continuità*, ossia con rigorosa « tornatura » degli attacchi fra fotogrammi limitrofi. Una tecnica ormai raffinata consente perfino di ottenere impressionata su ogni raddrizzamento la quadrettatura chilometrica della rappresentazione cartografica adottata.

IL FOTOPIANO. Una immagine rigorosamente planimetrica così compilata per un elemento cartografico della zona da rilevare viene detta *fotopiano* (2).

Il fotopiano apporta quindi una grande semplificazione in una delle fasi del processo cartografico, quella riguardante la planimetria; infatti nell'allestimento del fotopiano si esaurisce tutto l'aspetto geometrico del rilevamento quando il terreno è orizzontale. Per ottenerne la carta planimetrica basta dare veste cartografica alle immagini dei particolari del terreno (ad esempio su un supporto trasparente sovrapposto al fotopiano), fotointerpretati osservando in uno stereoscopio i fotogrammi aerei originali e, naturalmente, chiariti da una ricognizione come per qualsiasi rilevamento. Alla *fotointerpretazione* ed alla *ricognizione* è infatti affidato il perfezionamento del finale delineamento della planimetria dei particolari, perché, anche se si dà il caso di terreno orizzontale (3), tuttavia su di esso si presentano sempre particolari ad andamento verticale che, quando figurano alquanto fuori della verticale di ogni fotogramma, assumono un *aspetto prospettico* che evidentemente nemmeno col raddrizzamento può essere trasformato in planimetrico.

Infatti il raddrizzamento è possibile per tutto ciò che è al livello del terreno, per ipotesi piano. Ad esempio dei tetti delle case non avremo le immagini raddrizzate, ossia in planimetria, perché sono più alte del terreno; inoltre, sui bordi dei fotogrammi, delle *case* si vedono non soltanto i tetti, ma anche alcune pareti. Il cartografo quindi, nel ricavare dal fotopiano la planimetria della casa, deve interpretarla dal contorno al suolo delle sue pareti visibili e dalla forma del tetto; per far questo non ha a disposizione soltanto il fotopiano, ma anche i fotogrammi originali (almeno due) da osservare allo stereoscopio, ognuno con un'immagine prospettica differente, della casa. Si tratta quindi della *stessa fotointerpretazione* che anche l'operatore di un restitutore classico è sempre tenuto a fare. Di solito quindi il cartografo ha tutti gli elementi geometrici per fotointerpretare correttamente, aiutato anche dalla ricognizione se questa è preventiva, o controllato poi dalla ricognizione, se questa è successiva alla formazione del fotopiano e alla sua fotointerpretazione.

Naturalmente le carte ottenute dai fotopiani devono essere sempre integrate dalla rappresentazione altimetrica (di solito il piano quotato, soltanto) ottenuta da determinazioni dirette eseguite sul terreno. Non per questo il metodo dei fotopiani è da scartarsi; difatti in terreno piano la tolleranza altimetrica è assai ristretta, sicché per rispettarla con una normale restituzione fotogrammetrica, la quota di volo dovrebbe essere tenuta assai bassa, mentre ai fini della formazione dei fotopiani tale quota può essere molto alta (l'immagine dei fotogrammi originali sopporta bene fino ad 8 ingrandimenti!) realizzando così notevole economia in ogni fase del lavoro.

Un pregio del fotopiano consiste principalmente nella uniformità della sua precisione, che ne fanno un prodotto industriale di alta qualità perché tutto

(2) Con « fotomosaico » si denomina il mosaico di fotogrammi non rigorosamente raddrizzati su punti di appoggio, od anche di terreni non piani; vi si hanno quindi forti discontinuità fra le immagini di fotogrammi limitrofi.

(3) Anche se il terreno non è orizzontale, come abbiamo finora supposto, il fotopiano può darne ancora la planimetria corretta, purché i suoi dislivelli siano contenuti in ben determinati limiti che sono funzione della tolleranza del graficismo, alla scala della carta, e del campo angolare della camera di presa.

controllato in ben determinata tolleranza; infatti la sua precisione, una volta verificata sui punti di appoggio dei diversi fotogrammi (controllo assai rapido in virtù di speciali accorgimenti della prassi), risulta garantita per tutta la sua estensione.

Altro pregio consiste nell'offrire la possibilità di affiancare alla carta, che se ne allestisce, la vera immagine fotografica del terreno, utilissima alle indagini di varie scienze e tecniche. Infatti i segni convenzionali cartografici, necessariamente sintetici, sufficientemente descrittivi per l'uso corrente delle carte, non si prestano all'analisi delle caratteristiche del terreno quale è richiesta dagli specialisti (ingegneri, geologi, minerari, idraulici, agrari, forestali, progettisti di strade, di ricostruzione fondiaria, ecc.) e quale invece può offrire il fotopiano, che oggi giorno può essere anche a colori.

Nel complesso quindi il metodo del raddrizzamento risulta vantaggioso anche economicamente nei rilevamenti di terreni pianeggianti, anche se il raddrizzatore, nelle sue realizzazioni moderne ad alto grado di automaticità, è strumento costoso quasi quanto i restitutori analogici della fotogrammetria a due fotogrammi (in pratica nel raddrizzatore ogni fotogramma viene trattato in un tempo brevissimo). Grandi pianure della Terra (e della Luna!) sono state rilevate con questo metodo; in Italia è applicabile solo in poche regioni; ottimi risultati ha dato nel rilevamento 1:25 000 del Tavoliere delle Puglie.

L'ORTOPROIEZIONE. Fin dai primordi dell'aerofotogrammetria si è pensato alla possibilità di generalizzare il metodo di rilevamento con fotopiani a terreni comunque conformati, di poter ottenere cioè fotogrammi raddrizzati anche di terreni montuosi.

Lo Scheimpflug all'inizio del secolo aveva già posto strumentalmente il problema (4), ripreso successivamente da realizzazioni di Brock-Weymuth (1926), di Ferber (1928) e Lacmann (1929). Il metodo però non poteva avere successo di applicazione fino a che non fossero diventati di portata pratica gli automatismi della raffinata elettronica moderna, che già negli anni 50, agli specialisti, avevano fatto ritenere attuabile la restituzione automatica.

Anche in questo caso è avvenuto che l'inventiva ha precorso le possibilità di realizzazione, proprio come il problema fondamentale della fotogrammetria fu proposto e risolto geometricamente (Monge) prima ancora che la fotografia fosse inventata!

E' di Bean (1955) l'*ortofotoscopia* che ha dato il via alla produzione, da parte di importanti case costruttrici, degli strumenti che chiameremo genericamente *ortoproiettori*, capaci di allestire gli ortofotogrammi, veri e propri fotogrammi raddrizzati di terreni anche montuosi. Di ortoproiettori ne sono stati realizzati già una dozzina, otto dei quali già sul mercato.

Rendiamoci conto, dapprima concettualmente, di come avviene l'ortoproiezione di un fotogramma. Evidentemente non si tratta più della fotogrammetria ad un solo fotogramma, anche se il prodotto finale, l'ortofotopiano, ha tutte le caratteristiche del fotopiano; per conseguire l'ortofotogramma è necessario invece disporre del modello del terreno ottenuto da una coppia di fotogrammi, orientati assolutamente in un restitutore aerofotogrammetrico del I o del II ordine. Della porzione, di uno qualsiasi dei due fotogrammi formante detto modello, è possibile ottenere l'ortofotogramma.

I procedimenti adottati sono già diversi; noi cercheremo ora di illustrarne la struttura comune, allo scopo di facilitare la comprensione delle descrizioni

(4) O.V. Gruber « Trait  de photogramm trie » 1931 pag. 156.

che le case costruttrici hanno presentato dei loro ortoproiettori, anche nell'ultimo nostro Convegno (5).

Si supponga allora di disporre di un restitutore analogico (parte sinistra della figura 3), su cui sia già orientata assolutamente la coppia di fotogrammi

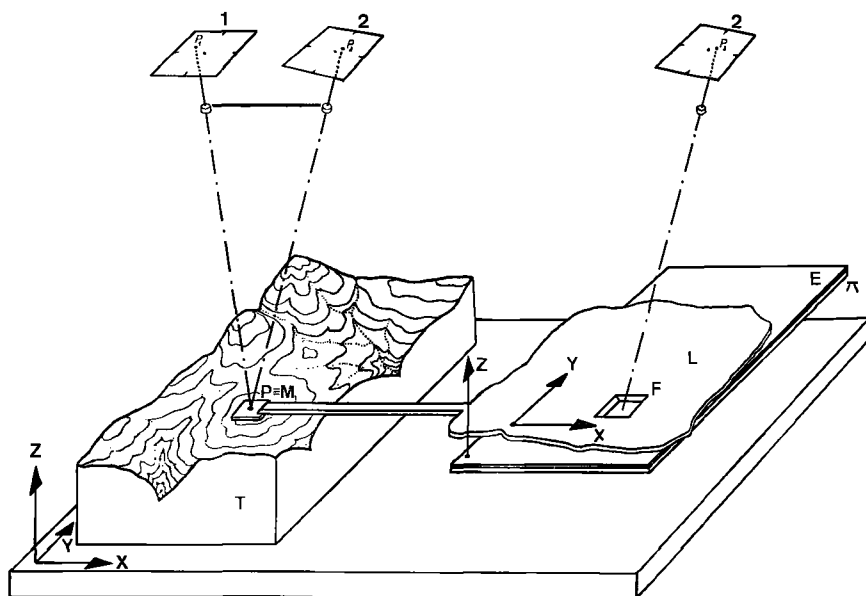


Figura 3. Schema dell'ortoproiezione.

1-2 formanti il modello T di un terreno comunque conformato. Per fissare le idee nella maniera più semplice possibile, supponiamo che il restitutore sia a doppia proiezione ottica diretta e che quindi ogni punto generico P del modello venga « restituito » da una *marca M*, posta al centro di uno *schermetto* orizzontale, portando tale marca a coincidere con l'intersezione dei raggi omologhi del punto stesso, in virtù delle possibilità di traslazione dello schermetto sul piano strumentale orizzontale XY e secondo la verticale Z.

Sappiamo che sullo schermetto si intersecano non soltanto i raggi omologhi di P, ma tutte le coppie dei raggi omologhi di un intorno di P. Infatti, se la porzione di terreno che appare sullo schermetto fosse orizzontale ciò avverrebbe manifestamente addirittura per tutti i raggi omologhi dei due fasci luminosi che lo investono; se invece non fosse orizzontale ciò avverrebbe sempre (figura 4) per i punti, di detta porzione, appartenenti alla *curva di livello* passante per P, ma, accettando una certa tolleranza nel dislivello fra la intersezione dei raggi omologhi e la superficie dello schermetto, anche per tutto un intorno della *curva di livello* del punto P (figura 5).

Questo intorno ovviamente risulta tanto più piccolo quanto maggiore è la pendenza del terreno, fino a ridursi alla curva di livello laddove l'andamento

(5) Per una informazione completa vedansi le pubblicazioni « International Symposium on Photo Maps and Orthophoto Maps » 1967 del gruppo di lavoro IV-3 della Società Internazionale di Fotogrammetria, gli Atti del Congresso Internazionale di Fotogrammetria di Losanna (Commissioni II e IV, 1968), la memoria « La restitution Photographique » di U.L.W. Troembecke su « Photogrammétrie » della Società Belga (N. 96), le ultime dieci annate del « Photogrammetric Engineering » della ASP, e il N. 5-1969 di « Bildmessung und Luftbildwesen ».