

ORTOPROIETTORE A CAMERA SINGOLA

Comunicazione presentata al XIV Convegno Nazionale della SIFET

Giuseppe Birardi *

N.d.R. — Nella sua impostazione originale la presente comunicazione doveva comprendere una parte — redatta dal Prof. Bruno Astori del Politecnico di Torino — relativa alla progettazione di massima di uno strumento rispondente ai criteri sotto esposti, ed alla costruzione del relativo prototipo.

Detta parte comparirà su questo Bollettino in una Nota successiva.

I — CONCETTO GENERALE

1. — Gli ortoproiettori a tutt'oggi esistenti possono essere classificati nelle seguenti categorie: a) - *ortoproiettori ottici*, pilotati da strumenti restitutori analogici o analitici; b) - *ortoproiettori elettronici*, pilotati da strumenti restitutori analitici automatici.

I primi utilizzano un sistema diottrico per proiettare su un supporto sensibile l'immagine fornita da un fotogramma, mentre i secondi ottengono lo stesso risultato utilizzando il principio della televisione a circuito chiuso. Gli uni e gli altri sono inseparabilmente accoppiati ad uno strumento restitutore, nè è concepibile che l'ortoproiettore operi isolato.

L'eliminazione della distorsione d'altezza è infatti ottenuta in funzione della quota attualmente restituita dei singoli punti ortoproiettati; per il che è necessario eseguire una vera e propria restituzione altimetrica (generalmente mediante scansione per linee parallele ad uno degli assi strumentali) del modello plastico fornito da una coppia di fotogrammi convenientemente orientati. E' concettualmente indifferente che tale eliminazione venga ottenuta mediante spostamenti meccanici del quadro o del portastre, in quota o in planimetria, comandati dal coordinatometro di uno strumento analogico o dalla memoria di un calcolatore elettronico; il fatto è che in questi strumenti l'operazione di « ortoproiezione » è inscindibilmente accoppiata a quella di « restituzione », e comporta necessariamente l'impiego di due fotogrammi stereoscopici, e di due camere di proiezione.

2. — In realtà si proietta un solo fotogramma; il secondo serve solo a fornire l'altimetria, ai fini anzidetti. Sorge a questo punto spontanea la domanda se sia *possibile* e *conveniente* eliminare il secondo fotogramma, qualora l'altimetria venga fornita allo strumento per altra via, ad esempio da una carta preesistente.

Che la cosa sia possibile non ci sono dubbi. Ammesso di possedere soltanto il tipo (1) delle curve di livello della carta preesistente, e di avere riportato su questo un congruo numero di punti d'appoggio, determinati in planimetria e quota, sarà sempre possibile orientare assolutamente su esso il fotogramma e quindi comandare i movimenti del quadro — o equipollenti — destinati ad eliminare la distorsione d'altezza, in base alle quote fornite dalle curve di livello. Ciò può esser fatto, ad esempio, scandendo per linee parallele il tipo delle

* Istituto Geografico Militare - Firenze.

(1) Con il termine « tipo » si intende il foglio plastico indeformabile, opaco o trasparente, riportante il disegno cartografico definitivo, dal quale vengono tratte le matrici per la riproduzione a stampa.

curve di livello, e dando continui opportuni movimenti al quadro; ovvero eseguendo la proiezione lungo le singole curve di livello, per ognuna delle quali il quadro verrà tenuto fermo.

Quanto alla convenienza, occorre prendere in esame l'aspetto costruttivo-strumentale, e quello operativo. Dal punto di vista *costruttivo* si ha sicuramente un forte vantaggio, derivante dal fatto che in questa impostazione l'ortoproiettore ha una sola camera, con evidente guadagno di semplicità, compattezza, stabilità, rusticità, costo. Dal punto di vista *operativo* si deve tener presente la situazione cartografica del territorio in cui si opera, e lo scopo dell'ortoproiezione. In territori di alta civiltà, dove sicuramente già esiste una cartografia topografica a scala conveniente (non necessariamente uguale a quella desiderata per gli ortofotogrammi), l'ortoproiezione avrà prevalentemente scopo di aggiornamento, al caso con variazione di scala (ad es., dal 25.000 al 50.000 o al 10.000); la convenienza è qui senza dubbio sensibile, in quanto si risparmia al netto l'operazione di restituzione, sostituendole l'assai più semplice operazione di scansione o di percorramento di curve già tracciate. Per contro in territori privi di cartografia l'ortoproiezione dovrebbe esser preceduta da una normale restituzione altimetrica, eseguita a parte, onde non si avrebbe alcun guadagno operativo.

In base a questi criteri nasce un nuovo tipo di ortoproiettore, che non è più pilotato da uno strumento o complesso restitutore, ma da un semplice foglio su cui siano riportate le curve di livello del territorio oggetto del rilievo. Il concetto base che ne giustifica operativamente la ragion d'essere è che la morfologia del terreno rimane praticamente invariata col trascorrere degli anni, rispetto al continuo divenire delle opere dell'uomo, e che pertanto non v'è bisogno di ricostruirla ogni volta che si desidera aggiornare una carta: è inutile rifare ex-novo una carta, quando si desidera semplicemente aggiornarla. In definitiva, sembra che una simile apparecchiatura possa contribuire efficacemente a risolvere in modo rapido ed economico il problema della tenuta a giorno della cartografia topografica; problema che, come è ben noto, costituisce la prima e più grave preoccupazione dei servizi cartografici di tutto il mondo.

3. — Resta da esaminare se convenga eseguire l'ortoproiezione scandendo per linee parallele il tipo delle curve di livello, ovvero seguendo queste una per una e proiettando la fascia di terreno adiacente.

La prima soluzione, caratterizzata dal continuo movimento relativo del quadro rispetto alla camera, sembra operativamente più rapida, specialmente se si automatizza — il che non sembra difficile — la correlazione di detto movimento alla variazione di tono luminoso che si ha nella scansione ogni volta che si incontra una curva di livello. La seconda, nella quale la posizione relativa della camera rispetto al quadro resta inalterata durante la proiezione di ciascuna curva di livello, dovrebbe risultare meccanicamente più semplice e meno costosa, ed operativamente più precisa.

In quest'ultimo caso una semplice soluzione funzionale, la quale tenga presente soprattutto il costo dello strumento, può essere impostata come segue:

a) proiettare su un supporto sensibile, attraverso una fessura regolabile in orientamento e lunghezza, la lastra preventivamente orientata;

b) il piano del supporto sensibile, o il proiettore, o il portalastre, deve essere mobile in quota, con movimento comandato a mano dall'operatore;

c) impostata la quota, questi seguirà con un'apposita marca di collimazione una curva di livello del tipo; il movimento della marca sarà trasmesso alla fessura e verrà corrispondentemente impressionata una « fascia di livello » sulla carta sensibile. L'ampiezza della fascia verrà regolata dall'operatore, allun-

gando o accorciando la fessura stessa in base alla distanza delle curve di livello (e cioè alla pendenza del terreno); l'orientamento della fessura verrà sempre tenuto pressoché normale alla curva di livello in corso di proiezione.

Il procedimento sopra accennato potrebbe essere in gran parte automatizzato; si ritiene tuttavia che il guadagno operativo che se ne trarrebbe non compensi la complicazione organica e costruttiva e l'aumento di costo che ne seguirebbero.

4. — E' indispensabile, nella suddetta impostazione, un dispositivo il quale memorizzi, sul tipo stesso delle curve ed in forma immediatamente evidente per l'operatore, la fascia di livello effettivamente proiettata, in modo da consentire la giusta sovrapposizione di quella successiva, e da non lasciare soluzioni di continuità.

Tale dispositivo può essere costituito da una doppia punta scrivente, con interasse pari alla lunghezza della fessura di proiezione. Si riterrebbe tuttavia preferibile un procedimento di tipo fotografico, nel quale la marca di collimazione sia contenuta in una fessura in tutto simile a quella di proiezione; si proietterà perciò, sul tipo delle curve (trattato con speciale reagente fotosensibile a una determinata banda di lunghezze d'onda), un pennello luminoso che annerirà una fascia di livello identica a quella ortoproiettata. In tal modo resterebbe memorizzata non solo la superficie ortoproiettata, ma anche — attraverso il tono dell'annerimento — la durata dell'esposizione ricevuta da ogni elemento superficiale dell'ortofotogramma.

Al riguardo si deve notare quanto segue:

a) le saldature fra le successive fasce di livello resteranno certamente evidenziate da lievi variazioni di tono, così come avviene per le linee parallele degli attuali ortofotogrammi. A differenza di questi ultimi, però, l'effetto complessivo non dovrebbe essere sgradevole, in quanto le variazioni di tono avverrebbero all'ingrosso lungo linee di livello; ciò dovrebbe anzi dare una discreta sensazione del rilievo e, con opportune cautele, potrebbe addirittura fornire la quotazione continua dell'ortofotogramma, evitando la necessità di « ribattervi » le curve di livello;

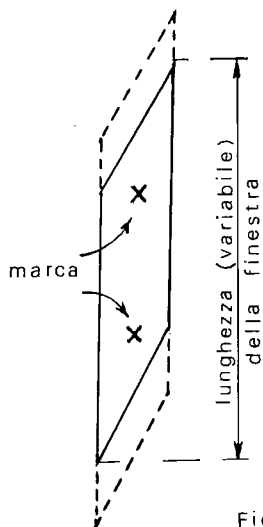


Fig. 1

b) laddove le curve di livello hanno forte curvatura, è prevedibile un addensamento di tono verso il centro di curvatura. A ciò può probabilmente porsi rimedio dando alla fessura la forma a losanga riportata in fig. 1 e operando con

opportuna accortezza. Con una fessura siffatta si otterrebbe anche una migliore sovrapposizione fra fasce di livello successive senza eccessivo annerimento ai bordi;

c) eventuali piccoli spostamenti ed errori commessi nel seguire con la marca una curva di livello non comportano grandi inesattezze nell'ortofotogramma e non ne inficiano le qualità metriche complessive; è da notare in proposito che l'ortofotogramma fornisce solo una planimetria, e che i massimi errori planimetrici sono sempre una frazione degli errori altimetrici commessi nell'impostazione della quota. (*). Converrà sempre, comunque, in specie se si opera in terreno fortemente montuoso, utilizzare la sola parte centrale dei fotogrammi, ad esempio quella tratteggiata in fig. 2; il che, accrescendo lievemente la sovrapposizione longitudinale e trasversale, riesce sempre possibile.

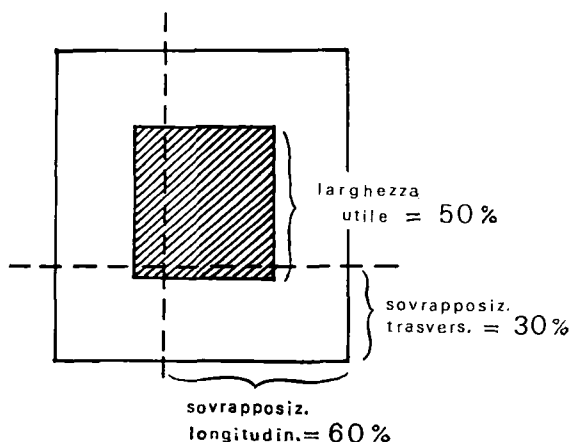


Fig. 2

II — MODALITA' OPERATIVE

5. — Le modalità operative, comprendenti le operazioni di piazzamento del fotogramma, e quelle di proiezione dello stesso, potranno essere stabilite definitivamente solo quando si sarà in possesso di un prototipo dello strumento, dopo un congruo numero di prove pratiche.

Ci si limita per ora ad accennare le modalità per un piazzamento ottico-meccanico, quali possono essere approssimativamente desunte per induzione dalle caratteristiche strumentali di massima accennate, con riserva di tornare sull'argomento in una nota successiva.

6. — La camera da presa possiede nello spazio assoluto sei gradi di libertà (x y z , φ ω χ) (**); corrispondentemente, nella disposizione organica e funzionale dello strumento, tre gradi di libertà (φ ω z) sono attribuiti alla camera di proiezione, ed i rimanenti tre (x y χ) al telaio portatipo.

(*) Ad esempio con camere 23×23 cm², $f = 152$ mm risulta ai bordi un errore planimetrico massimo $ds = \sim 0,7$ dh; e cioè per un errore altimetrico di 10 m si ha un errore planimetrico di 7 m. Nell'ipotesi che gli errori altimetrici restino sempre inferiori alla metà dell'equidistanza, gli errori planimetrici sono pressoché trascurabili.

(**) Con i simboli φ ed ι si distinguerà qui, rispettivamente, l'inclinazione in senso x e l'inclinazione in senso y .

Per la determinazione dell'orientamento assoluto della camera è necessario e sufficiente possedere tre punti d'appoggio non allineati, noti nelle tre coordinate; la soluzione del problema, cosiddetto del semplice vertice di piramide nello spazio, è ben nota e su di essa non si insisterà. Si accenna invece un semplice procedimento ottico-meccanico, valido nell'ipotesi che si disponga di quattro punti d'appoggio A B C D noti nelle tre coordinate, situati in prossimità dei quattro vertici del fotogramma.

Detti punti, ed altri eventualmente disponibili, verranno puntinati sul tipo delle curve di livello, e su un secondo foglio plastico indeformabile (o meglio ancora, su un controtipo tratto dall'originale per via fotomeccanica), di spessore τ assegnato, nella scala s desiderata per l'ortogramma. Questo secondo foglio, o controtipo, verrà piazzato sul quadro di proiezione, sopra la carta sensibile; il tipo originale verrà invece collocato sul telaio portatipo.

Ciò fatto, si imporranno alla camera i valori φ , ω , z corrispondenti alle condizioni approssimate di presa ($z = s H_r$; $\varphi = \omega = 0$ per prese nadirali) e, muovendo il quadro, si porterà il punto proiettato a in coincidenza col corrispondente punto puntinato A; indi, ruotando il controtipo sul quadro intorno al punto A, si porterà il punto b press'a poco sull'allineamento A B (fig. 3).

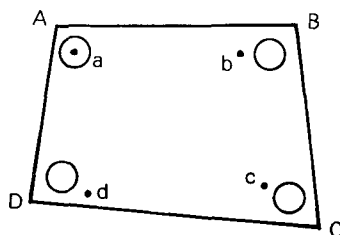


Fig. 3

- p. proiettati
- p. puntinati

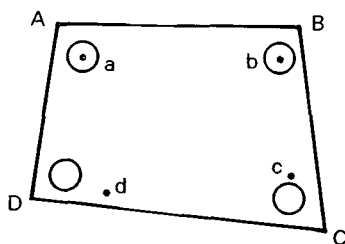


Fig. 4

Si tornerà ora su A e, perfezionata la centratura (aA), si imporrà a frizione sul contatore la quota q_A ; indi, imposta q_B , si tornerà su B e si eliminerà metà della differenza $b B$ agendo alla z , metà spostando il controtipo sul quadro lungo l'allineamento A B; si imporrà infine a frizione sul contatore il valore q_B .

Si tornerà di nuovo su A e si eseguirà la stessa operazione; e così via, finché sono realizzate le coincidenze (aA), (bB) alle quote q_A , q_B (fig. 4). Si è così orientato in prima approssimazione il lato A B.

Allo stesso modo si orienterà ora il lato C D, agendo però al movimento ω , anziché a quello z ; si otterrà la situazione di fig. 5, nella quale i punti a b sono andati fuori coincidenza.

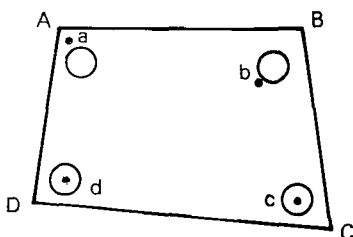


Fig. 5

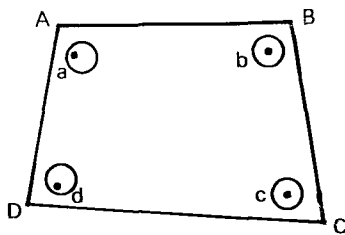


Fig. 6

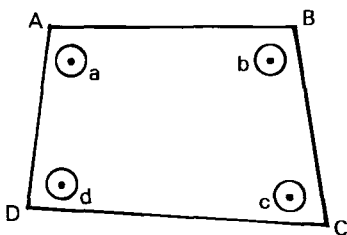


Fig. 7

A questo punto si ripeterà l'intera operazione sui lati A D, B C (iniziando da quello ove il punto proiettato è più discosto da quello puntinato), agendo questa volta alla z su un lato, alla φ sull'altro. Ammesso di terminare sul lato B C, si avrà la situazione di fig. 6, nella quale i difetti di coincidenza nei punti A D saranno notevolmente attenuati rispetto a quelli iniziali.

Si ricomincia ora il giro sui lati A B, C D, ecc., e così di seguito, finché nei quattro punti le coincidenze alle rispettive quote sono realizzate (fig. 7), a meno di piccoli residui che si cercherà di ripartire equamente sui quattro punti. Si controllerà infine su altri eventuali punti noti.

7. — A questo punto il fotogramma è orientato sul controtipo. Per passare l'orientamento al tipo, basterà effettuare successivamente la coincidenza su due punti del tipo (ad es. aA, cC) e ruotare e traslare il tipo sul suo telaio fino a far coincidere la marca di collimazione con i corrispondenti punti puntinati sul tipo stesso. Si controllerà quindi che la stessa coincidenza abbia luogo sui rimanenti due punti, e su altri eventualmente noti.

Ciò fatto, si rimuoverà il controtipo dal quadro, scoprendo la carta sensibile; e si darà alla z una variazione $-\tau$, al fine di tener conto dello spessore del controtipo. Con ciò, lo strumento è pronto ad iniziare l'operazione di proiezione.