

Invited Paper 3.3.

IL CALCOLATORE ELETTRONICO COME STRUMENTO AUSILIARIO DEL RESTITUTORE FOTOGRAMMETRICO

GIUSEPPE INGHELLERI

Prof. Istituto di topografia, politecnico Torino

Premessa

L'argomento che dobbiamo trattare rientra in quello molto più vasto del calcolatore elettronico al servizio della Fotogrammetria. Poiché ci accingiamo ad esaminare l'uso del calcolatore elettronico nel ristretto campo di utilizzazione per un restitutore fotogrammetrico dovrò necessariamente lasciare da parte la trattazione che riguarda gli stereocomparatori, le triangolazioni aeree analitiche, la compensazione delle strisciate, dei blocchi, ed in breve tutte le tecniche fotogrammetriche che richiedono perentoriamente l'uso di un calcolatore elettronico.

Il restitutore fotogrammetrico considerato come strumento produttore di carte è in effetti una unità autosufficiente, e non richiede necessariamente un calcolatore elettronico come sussidio, ma è necessario notare che negli ultimi tempi l'uso del restitutore fotogrammetrico, ed in special modo quello sprovvisto del ponte della base, si è generalizzato ed è stato chiamato ad assolvere compiti che vanno al di là della semplice produzione di carte.

In questo allargamento di compiti, in un primo momento per comodità, poi per necessità, il calcolatore elettronico si è strettamente correlato al lavoro dello strumento restitutore.

Pre procedere con ordine distinguiamo anzitutto tre differenti tecniche con cui questo apparentamento si è verificato, che poi esamineremo più profondamente una per una:

a) tecnica della rettifica e verifica strumentale; un complesso di operazioni inerenti la rettifica, la verifica o la determinazione di parametri strumentali sono state rese analitiche ed hanno quindi richiesto l'uso del calcolatore;

b) tecnica delle triangolazioni aeree; si sono sviluppati metodi di triangolazione aerea che genericamente possono essere chiamati « semianalitici »; alcuni possono essere eseguiti senza l'impiego del calcolatore elettronico, ed impiegano il calcolatore per comodità, altri invece richiedono perentoriamente l'uso del calcolatore;

c) tecniche connesse ai progetti della ingegneria civile, od alle operazioni cata-

stali; possiamo citare le progettazioni stradali, le operazioni di bonifica, la determinazione di bacini idrologici, progettazioni di dighe in terra, così pure le operazioni di Catasto numerico, del rimembramento particellare, ecc.

Si potrebbe eccepire che in quest'ultimo caso citato non si potrebbe a rigore parlare di calcolatore come sussidio del restitutore, cosa invece perfettamente lecita nei casi a e b), ma occorre notare che in quest'ultimo caso il restitutore ed il calcolatore vengono a formare una totalità organizzata; le esigenze infatti della progettazione civile o del Catasto condizionano le modalità operative allo strumento restitutore, e viceversa i dati prodotti dal restitutore non sarebbero utilizzabili senza il calcolatore elettronico.

1 - *Proiezione planimetrica di reticoli*

Riprendiamo ora in considerazione il primo punto ed esaminiamo la operazione di proiezione planimetrica dei reticoli; sono note le operazioni che vengono eseguite e che, a parte qualche differenza dovuta agli strumenti, si riducono a porre un reticolo in una camera in posizione nadirale, a leggere le coordinate dei punti proiettati con un determinato ingrandimento, a tracciare graficamente il risultato ottenuto, a ritoccare la posizione della camera, a riproiettare il reticolo e così via, sino ad ottenere una proiezione soddisfacentemente prossima a quella teorica. Analiticamente si procede invece nella seguente maniera. Si pone il reticolo nella camera in posizione all'incirca nadirale, si leggono al coordinatometro le coordinate dei punti proiettati e si affida al calcolatore elettronico la elaborazione dei dati.

L'input del programma di calcolo è costituito essenzialmente dalle coordinate lastra del reticolo e dalle coordinate dei punti proiettati lette al coordinatometro. Il programma di calcolo è in effetti il calcolo di un vertice di piramide; fornisce quindi le coordinate del punto di presa strumentale, ed i parametri angolare della camera, inoltre con questi dati calcolati, utilizzando le coordinate lastra del reticolo, esegue una proiezione analitica dei punti, che viene confrontata con quella effettivamente eseguita. Poiché di norma i punti considerati sono in numero maggiore dei tre strettamente necessari per risolvere il vertice di piramide, si metteranno in evidenza delle discrepanze che rappresentano i minimi scarti possibili nella proiezione di un reticolo. Si ha così un mezzo veramente efficace per determinare lo stato di rettifica o di funzionamento di un restitutore. L'onere dell'operatore è ridotto solo ad eseguire una accurata collimazione, e il tempo necessario ad eseguire l'operazione è dell'ordine di 15 minuti.

Si prospettano così due possibilità di uso di tale tecnica.

Un restitutore in produzione può essere periodicamente verificato senza una notevole perdita di tempo. L'operatore, ad intervalli di tempo regolari, esegue la proiezione di un reticolo per ogni camera; ogni volta che l'operazione viene eseguita possono essere imposti alle camere valori differenti dei parametri di orientamento, onde si elimina una sia pure involontaria tendenza dell'operatore ad ottenere risultati che possono essere previsti.

L'elaborazione dei dati ottenuti può essere eseguita a parte da un centro di calcolo; rimane così la documentazione dello stato dello strumento e se ne può

controllare la stabilità, il peggioramento delle condizioni di rettifica e l'eventuale usura di organi.

La seconda possibilità riguarda l'uso di tale tecnica nella fase di rettifica dello strumento, ma è resa attuabile solo se il centro di calcolo è ad immediata disposizione, ed i dati possono essere quindi elaborati senza perdita di tempo.

La proiezione planimetrica analitica dei reticoli può infatti essere eseguita con diversi ingrandimenti o con diversi valori dei parametri di orientamento della camera; l'esame e l'elaborazione delle discrepanze ottenute sui punti proiettati forniscono numerose informazioni sulle srettifiche strumentali quali ad es.: errori di perpendicolarità degli assi del coordinatometro, rettilineità delle bacchette nelle varie posizioni, eccentricità degli assi di rotazione del cardano di proiezione, stabilità degli zeri strumentali e dei parametri strumentali, rettilineità delle guide, ecc.

C'è infine da notare che nella operazione descritta l'operatore si limita a collimare i punti del reticolo e non ha modo di prevedere quali sono i risultati corretti; ne deriva che la situazione strumentale analiticamente determinata è la più oggettiva possibile.

Occorre però osservare che la situazione data dal calcolo è ricavata mediando tutti gli effetti degli errori presenti nello strumento, e che tale situazione non può essere realizzata effettivamente; ne consegue che i criteri di giudizio devono essere più stretti di quelli che vengono adottati nella normale pratica.

2. - *Proiezione altimetrica dei reticoli*

In maniera analoga a quanto esposto per la proiezione planimetrica dei reticoli si può rendere analitica la formazione di un modello altimetrico con una coppia di reticoli. Le operazioni sono le seguenti.

Si pone un reticolo in ciascuna camera posta all'incirca nadirale; si esegue un orientamento relativo approssimato in modo da ridurre le parallassi fra raggi omologhi al disotto di mezzo millimetro; si collima stereoscopicamente ogni punto del modello che si vuole formare dopo aver eliminato la parallasse nel punto con il movimento b_y di una camera; si registrano per ogni punto le tre coordinate strumentali $X Y Z$ ed il valore della componente b_y .

Questi dati, insieme ai valori delle coordinate strumentali dei punti di presa, forniti dal programma precedentemente citato, formato l'input di un programma di calcolo. Questo programma, che è in effetti il programma di calcolo della triangolazione semianalitica (v. paragrafo 4), calcola cinque rotazioni da imporre alle due stelle di raggi proiettanti, in modo da ridurre al minimo le parallassi fra raggi omologhi, e calcola le coordinate strumentali del modello così formato. In assenza di errori il modello formato dovrebbe risultare piano; si costruisce allora un piano (non importa se non è orizzontale) che renda minimi gli scarti altimetrici dei punti del modello e si ottiene una situazione che rispecchia la precisione intrinseca dello strumento.

Le operazioni descritte possono essere utilmente impiegate in occasione di collaudi di strumenti. Dato che l'apporto dell'operatore è limitato ad eseguire solo una buona collimazione, dato che i programmi di calcolo sono imparziali e forn-

scono risultati che hanno il significato di media, si ha la base piú oggettiva per un giudizio sullo strumento.

3 - *Triangolazione a modelli indipendenti*

Questa tecnica è ormai conosciuta, e non è il caso qui di riesporre le caratteristiche. Ci limiteremo a ricordare che i modelli vengono formati indipendentemente uno per uno avendo cura di non muovere i due punti di presa materializzati nello strumento e le cui coordinate strumentali vengono determinate con le modalità descritte nel paragrafo 1. Il compito di ridurre i modelli nel loro complesso ad un'unica scala e ad un unico riferimento è affidato al calcolo. I calcoli possono essere eseguiti anche a mano, ma evidentemente è piú sicuro ed economico l'uso del calcolatore elettronico; il programma è molto semplice e non è necessario che il calcolatore abbia grandi capacità. La biblioteca dei programmi per la triangolazione a modelli indipendenti che consente il ciclo completo delle operazioni comprende:

a) il programma di calcolo del vertice di piramide che consente con l'ausilio di reticoli di determinare le coordinate strumentali dei punti di presa;

b) il programma di concatenamento dei modelli; l'imput di questo programma comprende, a parte i dati generali quali ad es. le coordinate dei punti di presa, le coordinate strumentali dei punti di passaggio letti in ogni modello e gli eventuali punti di controllo. L'output fornisce la strisciata riferita allo stesso sistema a cui è riferito il 1° modello, e, per controllare la bontà delle misure fatte, le discrepanze fra i punti di riattacco di due modelli successivi. Se appaiono delle discrepanze non tollerabili, occorre riosservare due modelli per stabilire quale dei due contiene l'osservazione errata e ripetere il calcolo di concatenamento. Non è necessario ripristinare allo strumento le coordinate originarie dei punti di presa; il programma infatti prevede in qualsiasi punto della strisciata la variazione delle coordinate di questi punti;

c) il programma di orientamento assoluto della strisciata. Questo programma può far parte di quello di concatenamento precedentemente descritto; è sufficiente che prima di concatenare il 2° modello al primo si esegua l'orientamento assoluto del primo modello su punti noti, perché tutta la strisciata risulti orientata rispetto al terreno. Ciò comporta naturalmente che il primo modello contenga un numero sufficiente di punti noti, cosa che di rado accade. Nella prassi, specie nel caso di formazione di blocchi, si preferisce tenere distinti i due calcoli. Occorre piuttosto notare che normalmente le strisciate, riferite al sistema strumentale del 1° modello, possono essere disorientate di parecchi gradi; è necessario quindi che il calcolo di orientamento assoluto sui punti noti sia effettuato in modo da non separare l'orientamento planimetrico da quello altimetrico, specie per terreni montagnosi;

d) il programma di compensazione del blocco. Normalmente il programma di orientamento assoluto di ogni strisciata permette di formare il blocco di strisciate, ovvero di riferire ogni strisciata ad una unica scala e ad un unico riferimento.

Il programma di compensazione del blocco riduce al minimo le discrepanze fra i punti di appoggio per la costruzione di carte alla scala 1:5 000 e 1:10 000; per

Si sono citati questi programmi in quanto fanno parte del patrimonio tecnico che deve corredare il restitutore su cui viene eseguita la triangolazione a modelli indipendenti. Sono state già eseguite numerose applicazioni per la determinazione di punti di appoggio per la costruzione di carte alla scala 1:5 000 e 1:10 000; per ottenere risultati suscettibili di essere impiegati per cartografia a queste scale ci si è limitati a blocchi di 20-25 modelli appoggiati ai punti della rete geodetica nazionale. Non è il caso in questa sede di stabilire paragoni tecnici od economici fra il metodo a modelli indipendenti con i metodi analogici propriamente detti.

Possiamo solo richiamare il fatto che la tecnica dei blocchi di strisciate richiede comunque un calcolatore elettronico, e che quindi, operando in tal senso, si ha tutta la convenienza a utilizzare come sussidio il calcolatore anche per quelle altre fasi dell'operazione globale che a rigore non lo richiederebbero.

4 - Triangolazione semianalitica propriamente detta

È una varietà della triangolazione a modelli indipendenti.

In questa tecnica si seguono le stesse modalità della triangolazione a modelli indipendenti con l'unica differenza che ciascun modello non viene formato al restitutore in maniera definitiva. L'operatore infatti pone la coppia di lastre nel restitutore, compie due o tre passaggi di orientamento relativo in modo da ridurre le parallassi a uno o due decimi di millimetro; osserva quindi i punti del modello dopo avere per ciascuno eliminato la parallasse con il movimento b_y di una delle came; per ogni punto così determinato registra il valore delle tre coordinate strumentali e il valore della b_y (v. anche il par. 2). Il compito di *raffinare* il modello è lasciato al calcolo elettronico; si calcolano cioè piccole rotazioni delle due camere (tre per una camera e due per l'altra) in modo da ridurre al minimo le parallassi, ed in base a queste piccole rotazioni si correggono le coordinate lette per ogni punto.

Ha il vantaggio di ridurre notevolmente il tempo di osservazione di un modello e di non richiedere una spiccata abilità dell'operatore nel formare i modelli. Si potrebbe dire che è una generalizzazione della pratica dell'orientamento relativo strumentale analitico; consente però l'uso di un numero qualsivoglia di punti di orientamento.

Se invece di ridurre le parallassi ad uno o due decimi di millimetro si lasciano parallassi dell'ordine del millimetro, si può alla stessa maniera, iterando parecchie volte i calcoli, giungere alla formazione del modello. In questo caso però la mole di calcoli è notevole; perché il procedimento sia economico è necessario un grande calcolatore e lo strumento restitutore si riduce praticamente a fornire le prestazioni di uno stereocomparatore.

Nella progressione di calcoli esposta nel capitolo precedente il calcolo di raffinamento del modello prende posto immediatamente prima del calcolo di concatenamento dei modelli. Il risultato del calcolo fornisce le coordinate dei punti del modello, con significato di media, quale si sarebbero osservate nella tecnica a modelli indipendenti, e quindi pronte ad essere utilizzate per il concatenamento.

Vengono fornite anche le parallassi residue che permettono la valutazione della bontà delle osservazioni fatte.

5 - Impiego del restitutore nei lavori della ingegneria civile

Poiché parliamo del calcolatore come sussidio del restitutore, parleremo solo di quelle tecniche che permettono la meccanizzazione completa di un ciclo di operazioni, ovvero di quelle tecniche in cui la rappresentazione del terreno non è più grafica, ma numerica.

Esempi validi sono quelli forniti dalla progettazione stradale, dal Catasto numerico, dalle sistemazioni di bonifica, dallo studio di bacini idrologici, dal rimembramento particellare e dalle applicazioni all'industria meccanica per la produzione di elementi di cui si siano costruiti dei modelli.

Caratteristica comune di queste tecniche è, come si è detto, la descrizione del terreno (o di un modello) mediante le coordinate di una serie di punti caratteristici. Per le progettazioni stradali sono punti caratteristici quelli disposti nelle sezioni trasversali, per il Catasto numerico i punti di confine delle proprietà, per le bonifiche punti caratteristici della superficie da bonificare, ecc. La descrizione numerica del terreno permette altresì la meccanizzazione delle operazioni di progetto ed il calcolatore può quindi fornire il risultato ultimo desiderato dal progettista.

Le tecniche che si usano ed i vantaggi che ne derivano sono stati descritti in lavori specializzati, e non è il caso qui di riprenderli in esame. Possiamo solo dire che per ognuna delle tecniche citate la biblioteca dei programmi diventa piuttosto vasta. Per citare un esempio prendiamo le progettazioni stradali. Il numero minimo dei programmi necessario per il ciclo completo delle operazioni è dato dalla seguente lista:

- a) programma di controllo e di eventuale « plotting » eseguito per mezzo della stampante del calcolatore, dei dati strumentali rilevati per ogni sezione trasversale;
- b) programma di orientamento assoluto di un modello; serve a calcolare i valori più probabili dei coefficienti delle trasformazioni delle coordinate strumentali in coordinate terreno;
- c) programma di calcolo del profilo longitudinale; eventualmente il calcolo fornisce oltre al profilo sull'asse altri profili a destra ed a sinistra dell'asse per facilitare il lavoro del progettista nella definizione delle livellette;
- d) programma di progettazione propriamente detta; determina le sezioni di progetto secondo le indicazioni del progettista, determina le aree, i volumi di terra, di muratura, i volumi delle opere d'arte, ecc.;
- e) programma di « plotting », eseguito per mezzo della stampante del calcolatore, delle sezioni di progetto realizzate;
- f) programma di calcolo che fornisce tutti gli elementi topografici che permettono il picchettamento della strada progettata, a partire dai punti noti opportunamente disposti.

Molto semplice ed unico è invece il programma per la determinazione degli invasi di bacini idrologici.

Il terreno viene descritto con una rete di punti che ricopre tutta la zona del

bacino. Le coordinate strumentali di questi punti vengono trasformate in coordinate terreno tenendo conto dei vari modelli che ricoprono la zona. Il programma di calcolo, fissata la quota di invaso, determina la curva di livello che le compete, e procede al calcolo del volume compreso fra la superficie del terreno e la quota assegnata. Si può così, variando la quota di invaso, costruire agevolmente la scala degli invasi.

È opportuno dire che sia per la tecnica delle progettazioni stradali, che per quella sopra esposta, i grandi calcolatori sono decisamente più economici di quelli medi e piccoli. D'altra parte la economicità dei procedimenti meccanizzati è sempre maggiore dei procedimenti tradizionali qualunque sia il calcolatore usato.

Non si può terminare questa rapida rassegna senza citare lo strumento che accoppia intimamente il calcolatore elettronico allo strumento restitutore, e precisamente il restitutore analitico AP/C.

Alla luce di quanto esposto si comprende come tale strumento può permettere, se corredato di programmi, e ampliato nella capacità, l'automazione più spinta di tutti quei procedimenti in cui il terreno è descritto numericamente ed è necessaria una notevole elaborazione dei dati ottenuti. Operando con il restitutore ed il calcolatore in sedi diverse si può constatare che è necessario suddividere il lavoro in fasi diverse ognuna delle quali richiede del personale ed un controllo di dati. L'elaborazione immediata dei dati prodotti può consentire invece una riduzione sia del personale che delle verifiche e dei controlli intermedi; si può realizzare così una elevatissima produttività, di cui anche allo stato attuale l'accoppiamento del restitutore e del calcolatore elettronico offre un validissimo esempio.

