

IL COORDINATOGRFO DEI RESTITUTORI FOTOGRAMMETRICI

DOTT. UGO BARTORELLI (*)

Si è verificato, negli ultimi dieci anni, che ai restitutori fotogrammetrici sono stati dati in dotazione coordinatografi di dimensioni sempre maggiori. La ragione è nota: con l'aumentata precisione del metodo fotogrammetrico di rilevamento, si moltiplica il valore di rapporto che è possibile imporre fra la scala del fotogramma e la scala della carta; in definitiva è proprio nella grandezza di tale rapporto, che chiameremo « rapporto di rendimento », che si riflette la precisione di un restitutore. Se si pensa che la precisione grafica richiesta nel tracciamento di una carta è dell'ordine di 0,2 mm e che la precisione della restituzione planimetrica dei restitutori si può oggi considerare dell'ordine di 0,01 mm, si potrebbe concludere che il rapporto di rendimento fra carta e fotogramma, è ancora destinato ad aumentare; non certo fino al valore 20, quale si potrebbe dedurre dai due dati suddetti, ma sicuramente oltre quelli oggi in uso.

Se si vuole conservare ai restitutori fotogrammetrici la possibilità di avere le escursioni del tracciato 10 sulla carta, di ampiezza tale da coprire tutta la zona coperta dalla coppia orientata sul restitutore, come si è preteso fino ad oggi, allora sarà necessario aumentare ancora le dimensioni del coordinatografo. Cade logico domandarsi se ciò è ancora possibile od opportuno, o anche, semplicemente, se ciò è necessario.

Ad esempio supponendo di lavorare con fotogrammi $23 \times 23 \text{ cm}^2$ e con rapporto di rendimento $\times 10$, il coordinatografo dovrebbe avere dimensioni utili $X \times Y = 1,50 \times 2,30 \text{ m}^2$. A parte tutti gli altri aspetti del problema di lavorare con un rapporto così grande, se ci soffermiamo a quello solamente delle dimensioni del coordinatografo, possiamo considerare che il formato citato ad esempio sia già proibitivo. Comunque, da quanto abbiamo detto, risulta evidente che un limite nelle dimensioni del tavolo (anche così chiameremo il coordinatografo in questa nota) deve esistere, e prima o poi dovrà essere abbandonato il criterio di avere il coordinatografo capace di coprire tutta la superficie restituita dalla coppia orientata nel restitutore.

Lo scopo di questa nota è di suggerire un procedimento di lavoro che consenta di utilizzare coordinatografi comunque piccoli, in sostituzione del metodo, finora impiegato, che diremo « grafico », basato sul criterio suddetto; e di dimostrare che tale nuovo procedimento risulta maggiormente idoneo nei ri-

(*) Assistente all'Istituto di Geodesia e Topografia della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma.

guardi della precisione, non meno che della pratica di lavoro, rispetto al metodo grafico, che si può considerare ancora adatto solamente alle esigenze di quanto i rapporti di rendimento impiegati nei restitutori sono più piccoli.

Consideriamo da prima i vantaggi del metodo grafico:

1) In fase di orientamento della coppia si hanno a disposizione sul tavolo tutti i punti di appoggio che, una volta vincolato il tavolo al restitutore, servono di guida per ritrovarli e controllarli sul modello ottico.

2) Si dimensiona il modello ottico alla scala assegnata facendo coincidere la proiezione di restituzione di due punti, con i corrispondenti punti grafici della carta.

3) Si orienta il foglio sotto il coordinatografo con la medesima precedente operazione.

4) In fase di restituzione non c'è necessità di modificare il vincolo fra restitutore e tavolo, per tutta l'estensione della coppia.

Passiamo adesso agli svantaggi del metodo grafico quando si pretende di continuare ad applicarlo ai grandi rapporti di rendimento:

a) Il coordinatografo deve avere dimensioni tanto grandi che il suo costo cresce assai più che proporzionalmente ad esse, se si vuole che la precisione non degeneri.

b) Decade la possibilità, per i restitutori che la possiedono di avere un solo operatore necessario alla restituzione; infatti il grafico della restituzione non può più essere in ogni sua parte a portata di mano dell'operatore seduto davanti al restitutore.

c) I punti di appoggio e di controllo della coppia, oltre ad essere ubicati sui rispettivi vari fogli destinati a raccogliere la restituzione della coppia, devono essere ubicati con la medesima precisione, su un grande foglio ausiliario stesso quanto la coppia; ciò per poter avere effettivamente le possibilità indicate più sopra con 1, 2, 3, prima di introdurre i suddetti fogli sul tavolo, onde passare alla restituzione.

d) Effettuato l'orientamento della coppia è necessario restituire alcuni punti, la cui precisione è determinante per la precisione con la quale vengono poi orientati e situati sul tavolo i vari fogli, parzialmente restituiti dalla coppia.

e) Il dimensionamento soffre, oltre che della imprecisione dovuta al riferirsi a punti grafici, delle deformazioni subite dal foglio, mai assolutamente indeformabile, dopo la sua puntinatura; come è noto il dimensionamento eseguito graficamente sul coordinatografo, non ha precisione sufficiente quando certi punti debbano essere determinati per coordinate; in questo caso il dimensionamento deve essere sempre eseguito numericamente.

f) L'orientamento di ogni foglio, su cui si restituisce, soffre anch'esso della imprecisione dei punti grafici di riferimento, i quali sono per la maggior parte punti ausiliari restituiti.

Il procedimento che suggeriamo di sostituire a quello grafico, che ha bisogno di un tavolo grande quanto la restituzione di tutta la coppia, è quello *numerico*, usando il quale il tavolo può essere piccolo quanto un normale foglio di mappa, senza che per questo venga mai meno la possibilità di eseguire, con la precisione più grande possibile, ognuna della fasi di dimensionamento del modello ottico, di orientamento e ubicazione del foglio.

Tale procedimento numerico, per la parte che riguarda il dimensionamento del modello ottico, è quello sempre normalmente usato quando un modello ottico debba essere posto alla scala prestabilita con tutta la precisione possibile (partenza di una aero-triangolazione, restituzione per coordinate invece, o oltre, che per via grafica, ecc.); ne descriveremo inoltre ogni altra modalità adatta alla restituzione.

Si debba restituire una coppia di fotogrammi, con un rapporto di rendimento tanto grande che il coordinatografo non sia capace di comprenderla nei suoi limiti. Consideriamo le condizioni meno favorevoli determinate dal fatto che la coppia dispone di soli quattro punti di appoggio ai suoi vertici, e dal fatto che essa restituisca una zona di terreno appartenente a quattro fogli limitrofi, sicché su ognuno di essi cada uno solo dei punti di appoggio (figura 1).

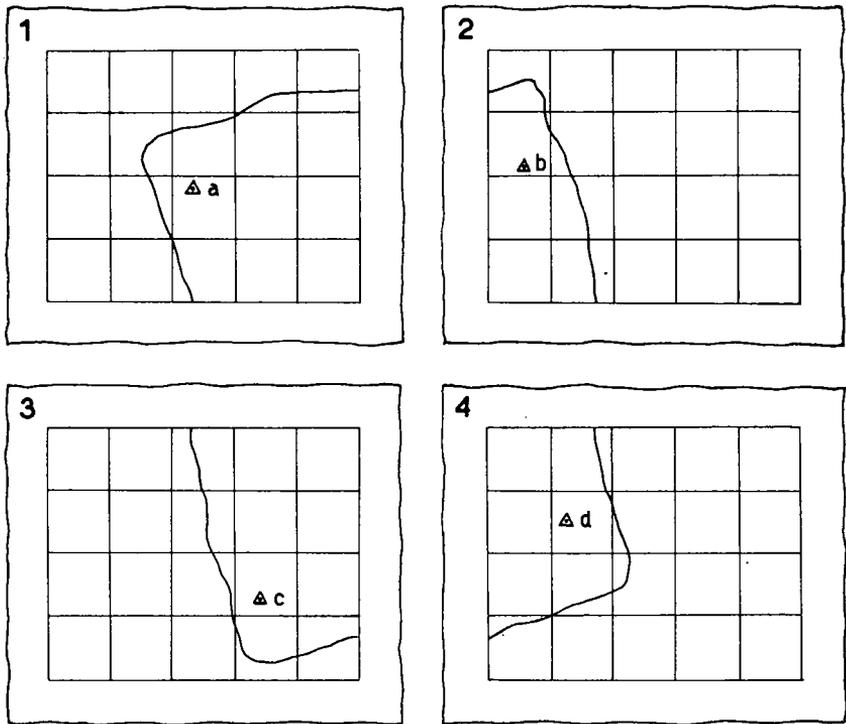


FIG. 1.

Siano i fogli delle dimensioni $1,20 \times 0,80 \text{ m}^2$, le più grandi che siano in uso, anche nel caso di restituzione per lavori di ingegneria; su tali fogli la quadrettatura (che supponiamo ortogonale) del sistema di proiezione sia già tracciata e siano già stati ubicati i punti di appoggio a, b, c, d , come normalmente in fase di lavoro preventivo alla restituzione.

Operazioni preventive. Con il procedimento grafico si deve come prima operazione ubicare i quattro punti, con tutta la precisione possibile, servendoci delle loro coordinate, su un grande foglio ausiliario come è stato detto in c ; altrimenti, volendo risparmiare questo lavoro sarebbe necessario immaiccare sul tavolo del coordinatografo i quattro fogli, a danno, però della precisione.

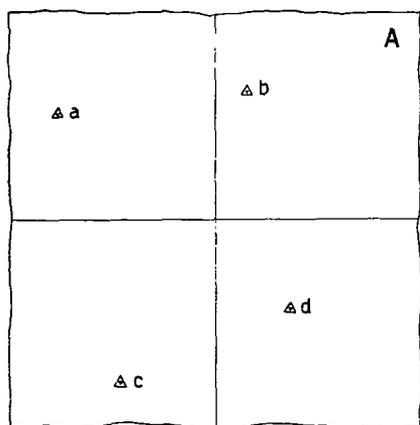


FIG. 2.

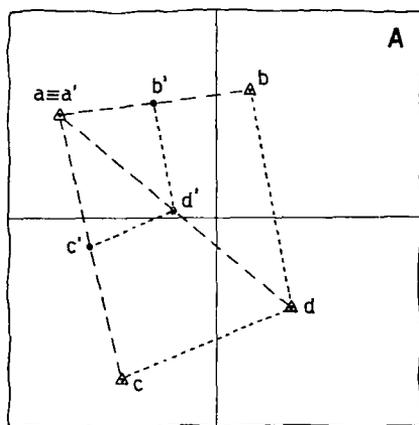


FIG. 3.

Nel procedimento numerico, invece, il foglio ausiliario non ha esigenze di precisione e viene ottenuto lucidando su un gran foglio A di carta trasparente (sul quale sono tracciate in inchiostro due assi perpendicolari, fig. 2) i quattro punti di appoggio a, b, c, d ; per far questo il foglio A viene sovrapposto successivamente, in modo ovvio, ai quattro fogli; ogni punto viene segnato a lapis, in modo che il foglio A , una volta cancellati i punti, possa servire indefinitamente allo scopo. Successivamente con la riga e la squadra si riduce, sul foglio A , l'insieme dei punti a, b, c, d ad una figura simile a sé stessa, nel rapporto $\frac{1}{2}$ oppure $\frac{1}{3}$, o $\frac{1}{4}$, fino a che essa sia di dimensioni contenute nel coordinatografo del restitutore.

Per fare la detta riduzione si ricorre alla nota costruzione geometrica (fig. 3); si unisce uno dei punti, a , assunto come polo, con tutti gli altri; si determina il punto d' , che divide per due, o per tre, o per quattro, il lato maggiore ad ; indi, conducendo per d' le parallele ai lati db e ca , si determinano sui lati ab e ac i punti b' e c' rispettivamente; ovviamente il procedimento è il medesimo anche se i punti fossero più di quattro. L'insieme ridotto dei punti

a' , b' , c' , d' ... viene lucidato su un altro foglio di carta trasparente B (fig. 4); la scarsa precisione con la quale su questo grafico sono riportati i punti dati non ha alcuna influenza, come vedremo, sul risultato finale. Il grafico B naturalmente viene eseguito preliminarmente all'orientamento della coppia sullo strumento; per la sua esecuzione non si richiedono più di 10 minuti di lavoro di un aiutante non qualificato. Altro lavoro da eseguire preliminarmente è il calcolo della distanza sul terreno e dell'azimut-rete dei due punti (ad esempio c e b) sui quali si deve eseguire il dimensionamento della coppia di fotogrammi; il calcolo è fatto in base alle coordinate note dei punti e richiede un lavoro non superiore a quello del grafico B . Si può affermare che le due operazioni preventive, ora descritte, non sono più costose della preparazione del foglio ausiliario necessario del metodo grafico.

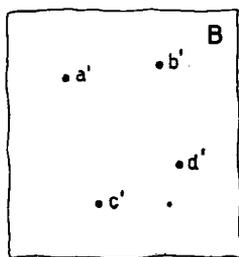


FIG. 4.

Al restitutore pervengono quindi, fra i documenti che accompagnano la coppia da restituire, il grafico B e lo stampato apposito, su cui sono indicati la distanza $a d$ (I II) in metri, sul terreno, il suo azimut rete α e il valore $\text{tang } \alpha$.

Al restitutore pervengono quindi, fra i documenti che accompagnano la coppia da restituire, il grafico B e lo stampato apposito, su cui sono indicati la distanza $a d$ (I II) in metri, sul terreno, il suo azimut rete α e il valore $\text{tang } \alpha$.

Orientamento della coppia nel restitutore. Eseguito l'orientamento relativo della coppia nel restitutore si passa a dimensionare *in prima approssimazione* il modello ottico. A ciò serve il grafico B , che viene posto sul tavolo del coordinatografo; a questo deve essere dato il rapporto dovuto, pari a $\frac{1}{2}$, o $\frac{1}{3}$, o $\frac{1}{4}$ di quello previsto per la restituzione della coppia. Il grafico B oltre a servire a dare la scala in prima approssimazione, serve di guida nella ricerca degli altri punti di appoggio durante l'orizzontamento del modello, la quale operazione può essere condotta con tutta la precisione necessaria, anche se il dimensionamento è ancora impreciso, in quanto, normalmente, i dislivelli fra i punti di appoggio sono di gran lunga più piccoli della distanza $a d$ su cui si è determinata la grandezza; naturalmente dopo il primo movimento per l'orizzontamento conviene, come sempre, dare un primo ritocco alla grandezza.

Perfezionato l'orizzontamento del modello si passa a dimensionarlo con tutta la precisione possibile. Per questo si leggono sul restitutore le coordinate dei due punti restituiti c e b , e si registrano sullo stampato apposito. Se ne calcola, con procedimento noto (1) la distanza D_r , e l'azimut strumentale α_r .

(1) Nello stampato si prevede l'impiego di una macchina calcolatrice e delle tavole dei valori naturali delle funzioni trigonometriche; senza queste tavole si può procedere nel seguente modo: la distanza D_r si calcola ricorrendo ai quadrati (teorema di Pitagora) e per l'azimut strumentale si calcola successivamente il valore di

$$\text{tg } \Delta \alpha = \text{tg } (\alpha - \alpha_r) = \frac{\text{tg } \alpha - \text{tg } \alpha_r}{1 + \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \alpha_r} .$$

Questo con la macchina calcolatrice doppia si calcola molto rapidamente, ricorrendo alla

Anche non volendo ricorrere alla macchina calcolatrice, ma avendo solo a disposizione le tavole dei logaritmi, il calcolo non comporta più di 10 minuti di tempo. Confrontando D_r con D , e letta la base b_x , si calcolano con il regolo calcolatore, analogamente a quanto si fa anche con il metodo grafico, le correzioni $d b_x$, $d\Delta X$ e $d\Delta Y$, e si registrano sullo stampato. Si apporta nel restitutore la correzione $d b_x$; si torna a ispezionare, come sempre, il modello ottico e il suo orizzontamento; si rileggono le coordinate dei due punti; si registrano sullo stampato e si verifica che le variazioni $d\Delta X$ e $d\Delta Y$ riscontrate siano uguali, nella tolleranza stabilita, a quelle calcolate con il regolo. Si noti che con questo procedimento numerico il modello ottico viene dimensionato con l'approssimazione dell'ordine del centesimo di millimetro, cui mai si può giungere con il metodo grafico; per di più durante questa fase dell'orientamento il restitutore ha lavorato in condizioni quanto mai vantaggiose, ossia senza doverne limitare la velocità di spostamento da un punto all'altro, in quanto le escursioni del coordinatometro sono ridotte di grandezza.

Restituzione.

Prima di passare alla restituzione della zona di terreno compresa in un foglio, è necessario orientare questo sul tavolo. Questa operazione viene eseguita, con precisione assai superiore a quella comunemente ottenuta con il metodo grafico, nel seguente modo. Si conosce l'angolo $\Delta\alpha$, con il suo segno, che devono formare gli assi del coordinatografo e del reticolato del foglio. Come abbiamo visto esso è stato calcolato sullo stampato, insieme al suo seno (o alla sua tangente) moltiplicato per 500 mm. Si dispone il foglio sul tavolo in modo che l'angolo sia prossimo a quello dovuto, e in modo che l'escursione del tracciato copra tutta la zona da restituire sul foglio. Indi, sostituendo al tracciato il microscopio di dotazione, si collima un incrocio dei parametri tracciati sul foglio; la lettura sull'asse X del coordinatografo sia $K I$ (fig. 5); si impone la lettura $X = K + l \cdot \text{sen } \Delta\alpha$; si libera il movimento Y del coordinatografo; si cerca di collimare l'incrocio del parametro a distanza l dal primo considerato; si atterra questo agendo al movimento Y e ruotando il foglio intorno al primo incrocio collimato; imponendo nuovamente $X = K$ si osserva se si passa ancora per il primo incrocio; si ripete l'operazione fino a realizzare le condizioni cercate con tutta la precisione possibile. Questa è superiore a quella data da qualsiasi altro sistema di orientamento; infatti si può operare con la dimensione più grande possibile del foglio.

Formula caratteristica

$$\text{tg } \alpha - \text{tg } \Delta\alpha = \text{tg } \alpha_r + \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \alpha_r \cdot \text{tg } \Delta\alpha,$$

con il seguente procedimento: si calcola $\text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \alpha_r$; si impostano $\text{tg } \alpha$ e $\text{tg } \alpha_r$ sui due totalizzatori di sinistra e di destra rispettivamente; si imposta l'unità sull'impostatore di sinistra e $\text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \alpha_r$ su quello di destra; si uguagliano i due totalizzatori. Nel contatore dei fattori troviamo il valore $\text{tg } \Delta\alpha$.

Se il coordinatografo è del tipo di piccole dimensioni, da appoggiare direttamente sul foglio, allora è il coordinatografo stesso che si deve far ruotare sul foglio, e non questo. Il valore l indicato sullo stampato è 500 mm, ma naturalmente conviene venga assunto sempre il più grande possibile. Se l'angolo $\Delta\alpha$ è

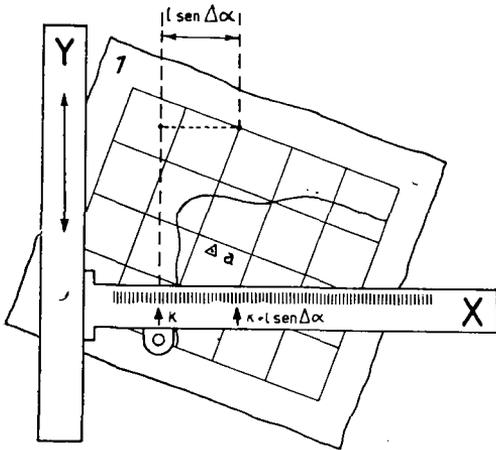


FIG. 5.

grande, fra i 25° e i 45° (il disorientamento massimo è di 45° infatti oltre i 45° conviene scambiare gli assi di riferimento), allora può convenire, invece di servirsi del valore $l \cdot \sin \Delta\alpha$, di calcolare il valore $l \cdot \operatorname{tg} \Delta\alpha$, riportare tale segmento sul foglio nel senso voluto dall'estremo di un parametro (fig. 6) e quindi orientare il foglio sotto il coordinatografo, o il coordinatografo sul foglio, in modo che il movimento lungo un asse, fermo restando l'altro, avvenga sulla direzione MN .

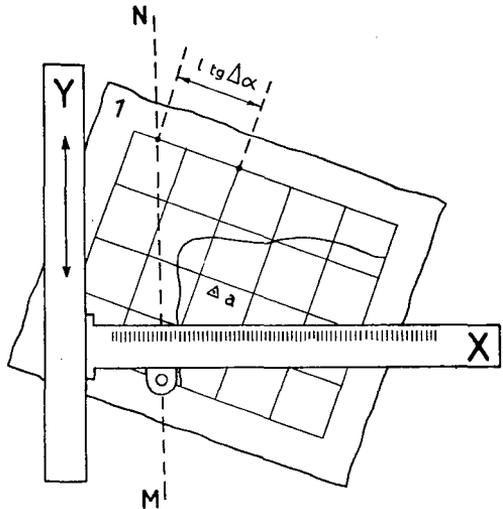


FIG. 6.

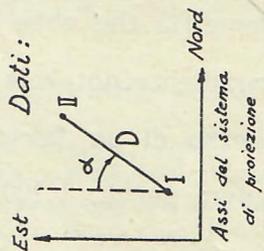
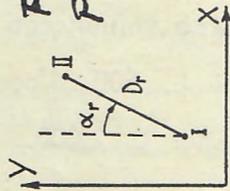
Orientando il foglio, si inserisce il rapporto dovuto di restituzione fra restitutore e tavolo, si collima nel restitutore il punto, o uno dei punti, di appoggio del foglio; si porta la punta del tracciatoio (o si collima nel microscopio, se il crocicchio di questo è rettificato) sul punto grafico corrispondente e si vincola il coordinatografo al restitutore; si perfeziona la collimazione del punto grafico, agendo ai movimenti propri micrometrici del tracciatoio rispetto al coordinatografo, e si passa a controllare gli eventuali altri punti di appoggio esistenti sul foglio; in caso di piccole differenze, conviene distribuirle razionalmente sui punti e non agire all'orientamento del foglio. Indi si può passare alla restituzione. Per gli altri fogli le operazioni sono identiche; è anche sempre uguale l'angolo $\Delta\alpha$. Se uno dei fogli non comprendesse alcun punto di appoggio, si restituiscono prima i fogli limitrofi, in modo da creare punti ausiliari di ottima identificazione sul bordo del foglio stesso, ricavati più vicini possibili ad alcuni dei punti di appoggio dati.

Fotostereografo Nistri mod Beta - Dimensionamento del modello per la coppia X11-4322, 4323 (volo secondo il meridiano)

Punti	I lettura	II lettura	I lettura	II lettura
P431	$x_I = 3040,25$	3040,57	$y_I = 7895,64$	7896,78
P436	$x_I = 2747,39$	2747,11	$x = 6983,21$	6982,37
	$\Delta x = x_{II} - x_I = + 292,86$	+ 293,46	$\Delta y = y_{II} - y_I = + 912,43$	+ 914,41
		$d\Delta x = + 0,60$		$d\Delta y = + 1,98$

Assi strumentali	$\frac{\Delta x}{\Delta y} = \text{tg} \alpha_r = + 0,320967$	$D_r = 958,28 \text{ m}$	$\alpha_r = + 17^\circ 47' 42''$
-------------------------	---	--------------------------	----------------------------------

Assi del sistema di proiezione	Dati:	$\text{tg} \alpha = 0,431391$	$D = 960,33 \text{ m}$	$\alpha = + 23^\circ 19' 57''$
		$b_x = 226,32 \text{ mm}$	$\Delta D = D - D_r = + 2,05 \text{ m}$	$\Delta \alpha = \alpha - \alpha_r = + 5^\circ 32'$
		<i>da eseguire con regolo calcolatore</i>	$d\Delta x = \frac{\Delta D}{D_r} \Delta x = + 0,63 \text{ m}$	$\text{tg} \Delta \alpha =$
		$db_x = \frac{\Delta D}{D_r} b_x = + 0,48 \text{ mm}$	$d\Delta y = \frac{\Delta D}{D_r} \Delta y = + 1,95 \text{ m}$	$\text{sen} \Delta \alpha = + 0,09642$
				$500 \cdot \text{sen} \alpha = + 48,21 \text{ mm}$



$$\frac{2,05}{958,28} = \frac{dx}{226,32} = 226,32$$

lettura strumentale - 240 mm
 base in sterco
 4 - 4 punti
 240 - lettura

Ogni altra norma per la restituzione non differisce da quella del metodo grafico.

È evidente come, con il procedimento numerico descritto, decade la necessità di coordinatografi di grandi dimensioni; anzi, a rigore, essi possono essere piccoli quanto si vuole. Effettivamente appare assurdo l'ingigantimento del coordinatografo, quando invece le carte conservano le loro dimensioni di sempre; esso è generato da una pretesa che abbiamo dimostrato che non ha ragione di essere. Il procedimento numerico è certo il più preciso, non per questo è il più complicato. Anzi è anche più agevole e più pratico del metodo grafico; solamente ne è diverso, e, naturalmente, come ogni volta che in un lavoro c'è da cambiare criterio, è necessario fare un po' d'esercizio con le operazioni e le cognizioni necessarie, prima di ricavarne tutto il rendimento.

ARCHIVIO INTERNAZIONALE DI FOTOGRAMMETRIA

È in vendita presso la S.I.F.E.T. il volume IX degli A.I.F., costituito da tre fascicoli, di cui uno suddiviso in due parti, comprendenti tutti gli Atti del V Congresso Internazionale di Fotogrammetria che ebbe luogo a Roma. Si tratta di un complesso veramente notevole di **quattro** volumi con **1812** pagine.

Il prezzo di un fascicolo è di L. 500; l'opera completa viene ceduta per L. 1.200 anzichè per L. 2.000.