

# STRUMENTI PER LA FOTOGRAMMETRIA NUMERICA

*Bruno Astori*

Le operazioni fondamentali su cui si basano i metodi fotogrammetrici per la restituzione di carte topografiche, si possono raggruppare schematicamente nei seguenti punti: orientamento interno, orientamento relativo, dimensionamento del modello ottico, orientamento assoluto e, infine, tracciamento della carta.

Ai metodi classici di restituzione modello per modello, si deve poi affiancare quella particolare tecnica fotogrammetrica denominata triangolazione aerea. Punti basilari di questa operazione sono: concatenamento dei fotogrammi, registrazione delle coordinate strumentali dei punti di passaggio e dei punti noti, calcolo delle coordinate terreno degli stessi punti, compensazione degli errori sistematici del concatenamento.

La fotogrammetria, nata necessariamente come procedimento analitico, si è orientata, causa le notevoli difficoltà di calcolo, alla risoluzione analogica dei problemi ad essa riguardanti e solo da una decina di anni, con l'avvento dei calcolatori elettronici, si è sviluppata come metodo analitico di risoluzione.

Analogici, infatti, sono stati praticamente tutti gli strumenti restitutori costruiti dalle Case, italiane e straniere, specializzate in questo campo e solo dal Congresso Internazionale S.I.P. di Londra (1960) in poi, si sono venuti affermando strumenti ed apparecchiature adatte alla fotogrammetria numerica.

Intendiamo per fotogrammetria numerica quella particolare tecnica per mezzo della quale tutti o alcuni dei vari stadi componenti i sopraddetti procedimenti fotogrammetrici vengono risolti per via puramente analitica.

Fra gli strumenti e le apparecchiature più importanti costruite ed usate in fotogrammetria numerica, dobbiamo ricordare i Mono e Stereocomparatori, forniti di sistemi di registrazione delle coordinate ed i Restitutori Analitici.

La O.M.I. è la sola ditta, e non solo fra quelle italiane, che si sia dedicata quasi esclusivamente fin dal 1956 allo studio e quindi alla costruzione di strumenti atti alla fotogrammetria numerica.

Nel giro dell'ultimo decennio sono state costruite, in collaborazione con la Bendix Research Laboratories Division (per quanto concerne la parte elettronica), quattro diverse versioni (militari e civili) di Restitutori Analitici: AP/1, AS-11 A, AP/C, C.A.D. Due Ortofotoscopi, uno a proiezione ottica, da abbinare all'AP/C e uno a proiezione elettronica: AS-11 C. Due sistemi automatici di collimazione da applicarsi rispettivamente al AS-11 A e al C.A.D. Quattro serie di Stereocomparatori a tre lastre: TA3, TA3/A, TA3/D e TA3/P. Due serie di Stereocomparatori a due lastre: R.I.C. e TA2/P. Una serie di Monocomparatori: TA1/P.

Attualmente sono in fase di studio e di progettazione un nuovo tipo di Restitutore Analitico per versione militare, mentre è in fase di avanzata sperimentazione l'Ortofotoscopio a proiezione ottica da abbinare al Restitutore Analitico AS-11 A.

Un particolare senz'altro interessante da far notare, è che tutti gli strumenti attualmente in produzione, hanno delle parti in comune fra loro, parti essenziali dal punto di vista della logica della strumentazione. In particolare abbiamo:

- a) la cinematica di tutti gli strumenti analitici oggi costruiti è concettualmente identica;
- b) l'ottica di collimazione e parte dell'ottica di trasporto degli stessi strumenti è simile e in molti casi intercambiabile.

Questo comporta necessariamente un grande vantaggio sia dal punto di vista costruttivo che funzionale. Infatti le modifiche e migliorie che sono state o sono suggerite dalle molte esperienze eseguite sui diversi strumenti, possono essere utilizzate per tutte, o quasi, le apparecchiature; questo spiega l'alto grado di

precisione e di affidabilità raggiunto dalle stesse.

Vedremo in seguito, in modo più dettagliato, quali siano le caratteristiche peculiari delle due grandi classi di apparecchiature analitiche, i Comparatori e i Restitutori Analitici; similmente passeremo brevemente in rassegna le caratteristiche fondamentali di tutti gli strumenti sopracitati, di normale produzione. Penso che per prima cosa sia opportuno fissare l'attenzione sulle sopraddette caratteristiche comuni a tutte queste apparecchiature e in special modo sul fatto che, entrambe le classi, hanno in comune uno strumento che risulta essere essenziale in fotogrammetria numerica: lo Stereocomparatore. Tale strumento è schematicamente un misuratore di coordinate lastra, utilizzando la visione stereoscopica per la collimazione di prestabiliti punti. È costituito quindi da due carrelli portafotogrammi, aventi ciascuno la possibilità di traslare secondo due direzioni x e y normali fra loro, con corse di circa 240 mm. Ogni carrello deve avere un'ottica di collimazione, con marca stereoscopica e un'ottica di trasporto che convogli ad un unico sistema binoculare le immagini provenienti dai due fotogrammi. Si deve avere, infine, la possibilità di misurare con la precisione di qualche micron le coordinate lastra x e y di qualsiasi punto comune ai due fotogrammi. Le soluzioni costruttive possono essere diverse, basate anche su diversi principi; considereremo unicamente la soluzione adottata dalla O.M.I. comune a tutti gli strumenti per fotogrammetria numerica, costruiti da tale Casa.

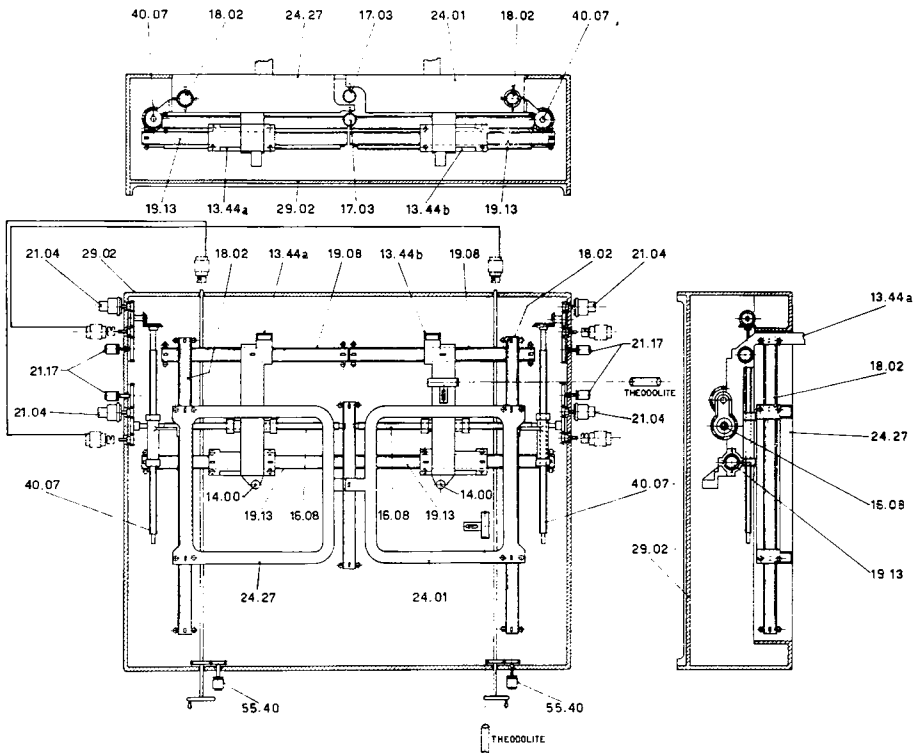


Fig. 1

La fig. 1 rappresenta il disegno cinematico del Restitutore Analitico AP C; i due carrelli portafotogrammi (24.27) e (24.01) si muovono lungo la direzione y e guidati dai tubi (18.02) e appoggiati ai tubi (17.03). Le viti (40.07) danno il movimento ai carrelli per mezzo di opportune chiocciole.

Le viti (40.07) oltre ad essere viti di trascinamento, sono anche viti di misura. Il movimento, secondo l'asse x, è completamente indipendente rispetto al carrello portafotogrammi ed è eseguito dai supporti (13.44a) e (13.44b) che portano ad un estremo l'ottica di collimazione (14.00) e dall'altro, il braccio dell'illuminatore (che non è stato disegnato nello schema). Tali supporti sono guidati dai tubi (19.13) e appoggiano sui tubi (19.08). Le viti che danno il movimento sono le (16.08) che, anche in questo caso, sono viti di misura; le due viti sono collegate rispettivamente ai due supporti (13.44a) e (13.44b) per mezzo di opportune chiocciole.

Per descrivere succintamente l'altra caratteristica comune a tutti gli strumenti per fotogrammetria numerica, l'ottica di collimazione e parte dell'ottica di trasporto, utilizziamo la fig. 2 che rappresenta la disposizione dei componenti ottici, sempre nel Restitutore Analitico AP/C.

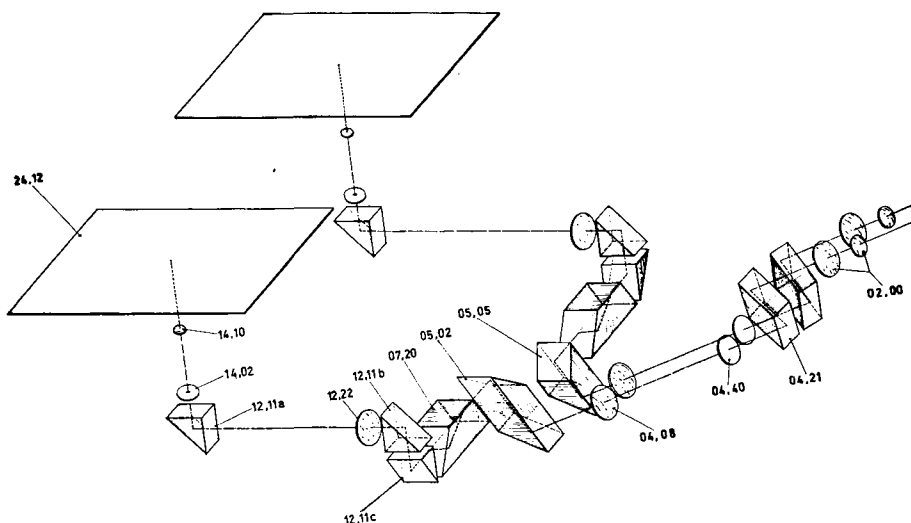


Fig. 2

L'ottica di collimazione è ridotta ai particolari schematizzati con i numeri (14.10) e (14.02); il tutto è contenuto in un conetto, facilmente asportabile dalle fusioni (13.44a) e (13.44b) della fig. 1, precedentemente considerata. Il particolare (14.10) è costituito da una coppia di obiettivi ciascuno formato da tre lenti; il complesso forma un sistema telescopico. Infatti la marca di collimazione (14.02) si trova sul piano focale del secondo obiettivo, che è fisso, mentre il fotogramma si trova sul piano focale del primo obiettivo, che è mobile per poter eseguire una precisa messa a fuoco. Fra i due obiettivi si è in regime di raggi paralleli.

Il particolare (14.02) rappresenta, come si è detto or ora, la marca opaca di collimazione. Tale marca è fotoincisa su un dischetto di vetro pian-parallelo e protetta da un condensatore ottico incollato al dischetto.

I conetti dell'ottica di collimazione sono tutti intercambiabili fra loro e comportano tre diversi ingrandimenti: 0,7x, 1x, 1,4x.

Sullo stesso conetto possono essere montate marche a diverse dimensioni: 25 $\mu$ , 35 $\mu$ , 45 $\mu$ .

L'ottica di trasporto inizia con il prisma (12.11a) e termina al gruppo degli oculari (02.00). In quasi tutti gli strumenti analitici, il cammino ottico fino al

prisma Amici-Dove (07.20) è identico anche se variano sia le distanze fra le singole parti dell'ottica piana, sia la focale e la posizione della lente (12.22). Dato che l'ottica di collimazione si muove secondo l'asse  $x$  trascinando seco il prisma (12.11a) e la lente (12.22), mentre l'ottica di trasporto, iniziando dal prisma (12.11b), è in posizione fissa, per non avere rotazione dell'immagine negli oculari è necessario che i due prismi (12.11a) e (12.11b) siano opportunamente collegati fra loro. In altre parole, durante tutta l'escursione  $x$  di 240 mm, le due superfici verticali dei due prismi in questione devono rimanere sempre affacciate, formando perciò una losanga a lunghezza variabile. Un particolare organo meccanico di collegamento è stato costruito perché sia raggiunto tale scopo.

Passiamo ora a considerare le caratteristiche fondamentali delle due più importanti classi di strumenti per la fotogrammetria numerica, cercando di mettere in evidenza i pregi fondamentali di ognuna, con particolare riferimento alle loro applicazioni nei diversi campi della cartografia e dell'ingegneria civile.

### *Restitutori Analitici*

Prima che fossero progettati e costruiti i Restitutori Analitici, tutti i restitutori fotogrammetrici universali di alta precisione erano del tipo analogico; ciò significa che lo strumento, data una coppia di fotogrammi aventi un determinato ricoprimento, permette di ottenere una ricostruzione tridimensionale della parte della superficie terrestre fotografata. Ciò a condizione che nello strumento analogico, l'operatore abbia la possibilità di imporre le stesse caratteristiche ottico-geometriche che si avevano all'atto della presa. Per far questo egli dispone di un determinato numero di rotazioni e traslazioni da apportare alle camere di restituzione ed agli organi normalmente posti sul ponte della base.

I Restitutori Analitici si basano invece su un concetto completamente diverso: le coordinate lastra di ciascun punto immagine sono legate alle coordinate del corrispondente punto sul terreno, da un'espressione matematica che dipende sia dalla posizione nello spazio della camera da presa all'atto dello scatto, sia dalla distanza focale del sistema obbiettivo, dalla distorsione delle lenti, dalla rifrazione dell'aria, dalla curvatura terrestre, dalla deformazione della pellicola e da altri fattori che possono essere espressi matematicamente.

Se siamo in grado di costruire un calcolatore elettronico digitale che possa manipolare e risolvere queste equazioni, se siamo in grado di progettare uno stereocomparatore nel quale mettere le diapositive aeree e, infine, se colleghiamo il calcolatore allo Stereocomparatore, in modo tale che il calcolatore possa conoscere la posizione, sulla carta, dell'immagine del punto che si sta osservando, abbiamo praticamente raggiunto lo scopo.

Quando il calcolatore riceve un'informazione, per esempio le coordinate  $X, Y, Z$ , di un punto del terreno, può istantaneamente calcolare, usando la propria memoria, l'equazione riguardante il punto in questione e determinare quali coordinate avranno le corrispondenti immagini sulle due lastre. Al calcolatore è poi data la possibilità di muovere le due diapositive poste sullo stereocomparatore e portare i due punti immagine in collimazione; contemporaneamente sposta un sistema tracciante, posto su un coordinatografo, per individuare graficamente la posizione del punto collimato. Tutto questo avviene in una frazione di secondo.

L'operatore non si accorge che mentre muove i volantini e la pedaliera, per esplorare il terreno, il calcolatore risolve istante per istante le equazioni e forma analiticamente punto per punto lo stereomodello.

Sintetizzando, potremmo quindi ancora dire che lo strumento analogico risolve il problema fotogrammetrico per via geometrica, mentre il Restitutore Analitico lo risolve per via numerica.

Un'altra considerazione importante è quella che riguarda l'utilizzazione del Restitutore Analitico. Tale strumentazione può eseguire qualsiasi lavoro che viene fatto con un restitutore analogico universale del primo ordine; inoltre esegue

una serie di operazioni che nessuna apparecchiatura analogica può fare.

Lo strumento permette il tracciamento continuo di carte topografiche a qualsiasi scala; profili e sezioni trasversali possono essere misurati, registrati su nastro perforato, calcolati oltre che disegnati in modo analogico; possono essere misurate, in coordinate terreno, le distanze fra due punti qualsiasi del modello; possono essere misurate, sempre in coordinate terreno, aree di qualsiasi poligono convesso; possono essere calcolati volumi. In aggiunta alle sue grandi qualità e possibilità per lavori cartografici e di ingegneria civile, il Restitutore Analitico è un ottimo triangolatore, che fornisce direttamente le coordinate terreno dei punti usati per il concatenamento. Tali coordinate devono essere sottoposte solo alla compensazione per ottenere le coordinate definitive. Alcuni tipi di Restitutori Analitici (come il modello civile AP/C e il modello militare AS-11 A) funzionano come tracciatori automatici di coordinate. Il sistema è cioè dotato di programmi che mettono in grado il calcolatore di pilotare direttamente il tavolo di tracciamento. Le coordinate dei punti che devono essere tracciate dal coordinatografo, registrate su nastro perforato, costituiscono i dati d'ingresso al calcolatore elettronico.

### *Comparatori*

A questa classe di strumenti per fotogrammetria numerica, appartengono i Monocomparatori e gli Stereocomparatori a due o a tre carrelli coordinatometrici. Tali strumenti vengono usati essenzialmente per la misura delle coordinate planimetriche strumentali di un certo numero di punti ben individuati sulle lastre; tali misure devono essere registrate su scheda o su nastro e costituiscono i dati d'ingresso al calcolatore, assieme al programma di calcolo e di compensazione di strisciate o blocchi di strisciate, in aereotriangolazione analitica.

Il programma di calcolo permette in primo luogo la formazione e la messa in scala dei singoli modelli per via puramente numerica, apportando tutte le correzioni di distorsione, curvatura terrestre, rifrazione atmosferica e deformazione rettangolare del film. In secondo luogo esegue il concatenamento dei singoli modelli, trasportando l'origine delle coordinate strumentali al primo modello. Infine, esegue la trasformazione di tali coordinate in coordinate terreno, utilizzando la serie dei punti noti.

Il programma di compensazione corregge le coordinate terreno di tutti i punti dagli errori che si presentano in qualsiasi aereotriangolazione, utilizzando gli scarti, sui punti noti, fra coordinate terreno misurate e coordinate terreno ricavate dal programma di calcolo.

I Compensatori sono quindi strumenti che vengono utilizzati quasi esclusivamente (nel campo cartografico, s'intende) per la esecuzione di triangolazione aerea con metodi numerici. La strumentazione è formata essenzialmente dal Comparatore e dalla unità di registrazione coordinate.

La ragione fondamentale per cui si costruiscono strumenti a un carrello o a due o, infine, a tre, è legata direttamente al problema dell'individuazione o meglio, alla marcatura, sulle lastre da misurare, dei punti che dovranno servire per l'esecuzione della aereotriangolazione. Tale operazione, lunga e laboriosa, deve essere eseguita prima dell'inizio delle misure, in modo che l'operatore vada a leggere solo le coordinate dei punti che sono stati marcati. Per dare un criterio puramente orientativo possiamo dire che il tempo e la cura necessarie in tale operazione preparatoria decresce con l'aumentare del numero di carrelli dello strumento; intervengono però molti fattori di varia natura a modificare il criterio su esposto, per cui è lasciata libera scelta all'utilizzatore nello stabilire il tipo di strumentazione più adatto per la propria organizzazione.

Come si è detto i Comparatori servono esclusivamente per ottenere le coordinate  $x$  e  $y$  strumentali di un determinato numero di punti del fotogramma; tali coordinate devono essere date con la precisione di qualche micron.

Tali strumenti possono essere costruiti basandosi su due principi fondamentali diversi:

- a) gli organi che muovono il coordinatometro secondo le due direzioni  $x$  e  $y$  sono sia organi di trascinamento che organi di misura;
- b) gli organi di misura sono separati dagli organi di trascinamento.

Come si è visto precedentemente (fig. 1), la O.M.I. ha scelto la prima soluzione, in tutta la sua serie di strumenti per fotogrammetria numerica. Come sempre, a parità di precisione, la scelta comporta vantaggi e svantaggi; il più importante fra i primi risulta essere la semplicità degli organi meccanici, il che è sinonimo di stabilità nella strumentazione; il più oneroso fra i secondi, nasce dal fatto che le strumentazioni devono essere tenute in locali ben condizionati. Infatti una variazione di temperatura ambiente porta come conseguenza una variazione della lunghezza delle viti di misura e quindi errori nelle coordinate strumentali dei punti collimati.

Il sistema di registrazione coordinate può essere elettronico o elettro-meccanico, a codice o a contatore. Su tutti i Comparatori O.M.I. sono montati, di serie, sistemi di registrazione a contatori bidirezionali elettronici. Il sistema è unico e varia solamente il numero degli assi, passando da uno strumento a un altro (due assi per il Monocomparatore; quattro assi per lo Stereocomparatore a due carrelli; sei assi, infine, per lo Stereocomparatore a tre carrelli). Le informazioni per la registrazione delle coordinate (costituite da 1000 impulsi per ogni giro della vite di misura, avente il passo di 1 mm), sono fornite da convertitori analogico-digitali, direttamente collegati alla vite stessa. Tali informazioni sono memorizzate da un contatore bidirezionale e trasferite al sistema di registrazione in chiaro o su banda perforata o su scheda, premendo semplicemente il pulsante di registrazione. Non appena il detto pulsante è stato premuto, l'operatore può azionare i volantini senza dover attendere la fine della registrazione. Le occordinate di ciascun asse, possono essere lette direttamente su una serie di 6 tubi indicatori Nixie messi sul pannello frontale dei contatori bidirezionali.

La cifra meno significativa corrisponde al micron.

Per concludere questa visione panoramica dei Comparatori, è bene ribadire due concetti: a) tali strumenti li dobbiamo pensare abbinati a dei calcolatori elettronici a grande capacità di memoria, perché l'esecuzione della triangolazione aerea analitica viene fatta introducendo nel calcolatore sia i dati ottenuti dal Comparatore, che i programmi di calcolo e di compensazione; b) i Comparatori, contrariamente ai Restitutori Analitici, permettono una restituzione discontinua, per punti; completato il ciclo dell'aerotriangolazione, siamo in possesso delle coordinate terreno di un numero discreto di punti.

Passiamo ora brevemente a descrivere le fondamentali caratteristiche di tutti gli strumenti per fotogrammetria numerica costruiti dalla O.M.I.

### 1. *Restitutore Analitico AP/C*

Il Restitutore Analitico AP/C (vedi fig. 3), è stato il primo strumento di questo tipo, appositamente costruito per lavori di fotogrammetria civile, apparso sul mercato mondiale.

Come è stato precedentemente accennato, l'apparecchiatura è costituita essenzialmente da uno Stereocomparatore a due lastre, collegato a un calcolatore di media potenza e a un coordinatografo, avente le dimensioni di 120 cm x 140 cm per il tracciamento delle carte.

Attraverso un pannello comandi, l'operatore comunica con il calcolatore e quindi, indirettamente, con lo Stereocomparatore stesso ed il tavolo tracciante.

Lo strumento consente di lavorare su lastre o pellicole aventi formato fino a 23 cm x 23 cm; si possono restituire fotogrammi ricavati da camere normali, grandangolari, supergrandangolari. Si può correggere analiticamente qualsiasi tipo di distorsione, purché nota; così pure si correggono le deformazioni differenziali

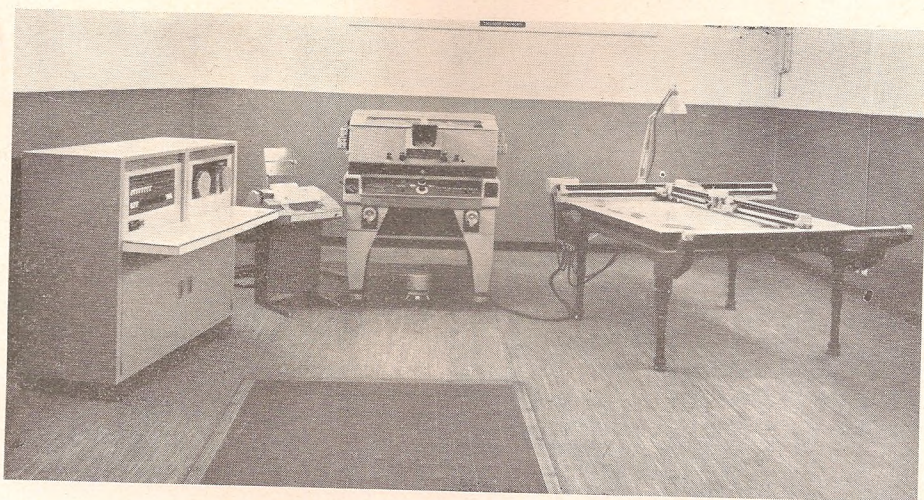


Fig. 3

della pellicola, la curvatura terrestre, la rifrazione atmosferica.

Il modello viene analiticamente costruito e memorizzato nel calcolatore elettronico a una scala avente rapporto circa 1:1, rispetto alla scala media dei fotogrammi; la precisione di lettura diretta delle coordinate, alla scala del modello, è di alcuni micron. Il sistema ottico di osservazione è quello visto precedentemente in fig. 2 ed ha un potere risolutivo (al centro del campo di osservazione) di 120 tratti per millimetro; il campo osservato ha un diametro, riportato al piano della lastra, di 20 mm, con gli oculari da 10x e 14 mm con gli oculari da 14x. La marca stereoscopica opaca, del diametro reale di circa 35 micron, è posta in posizione fissa dopo le prime due lenti obiettive, in modo che l'ottica di collimazione è ridotta alla più semplice espressione.

Come si è visto in fig. 1 i movimenti secondo gli assi  $x$  e  $y$  sono distribuiti rispettivamente tra l'ottica e il carrello porta lastre; tali movimenti, comandati da servo-motori pilotati dal calcolatore elettronico, avvengono per mezzo di carrelli guidati su tubi. La velocità di traslazione arriva fino a 10 mm/sec, mentre la velocità di restituzione è dell'ordine di  $1 \div 2$  mm/sec alla scala della lastra. I comandi per l'esplorazione del modello stereoscopico sono fatti con due volantini, per quanto riguarda la  $x$  e la  $y$  e con una pedaliera per quanto riguarda la  $z$ .

Nella fig. 4 è riportato lo schema logico di funzionamento del Restitutore Analitico AP/C. I due volantini e la pedaliera sono collegati ciascuno a un convertitore analogico-digitale che, praticamente, trasforma le coordinate modello in una serie di impulsi che vengono elaborati dalla logica del calcolatore. Il calcolatore stesso, quindi, attraverso dei servo-meccanismi, comanda il movimento dei carrelli portalastra e dell'ottica mobile, apportando a ciascuna coordinata lastra  $x_1, y_1$  e  $x_2, y_2$  le correzioni  $\Delta x_{1,2}$  e  $\Delta y_{1,2}$  derivanti dal fatto che in ciascun punto del modello devono essere soddisfatte le condizioni di orientamento relativo ed assoluto.

Il calcolatore elettronico comprende speciali accorgimenti per comunicare con l'operatore che lavora allo strumento di misura; infatti riceve, come si è detto or ora, le informazioni attraverso volantini, pedaliera e pannello comandi e invia i dati, elaborati opportunamente, attraverso servo-asservimenti, ai due carrelli dello Stereocomparatore ed all'organo tracciante la carta. La capacità di memoria è di 2560 parole.

Immagazzinati nella memoria del calcolatore elettronico tutti i programmi di orientamento, le caratteristiche di distorsione dell'obiettivo da presa, le

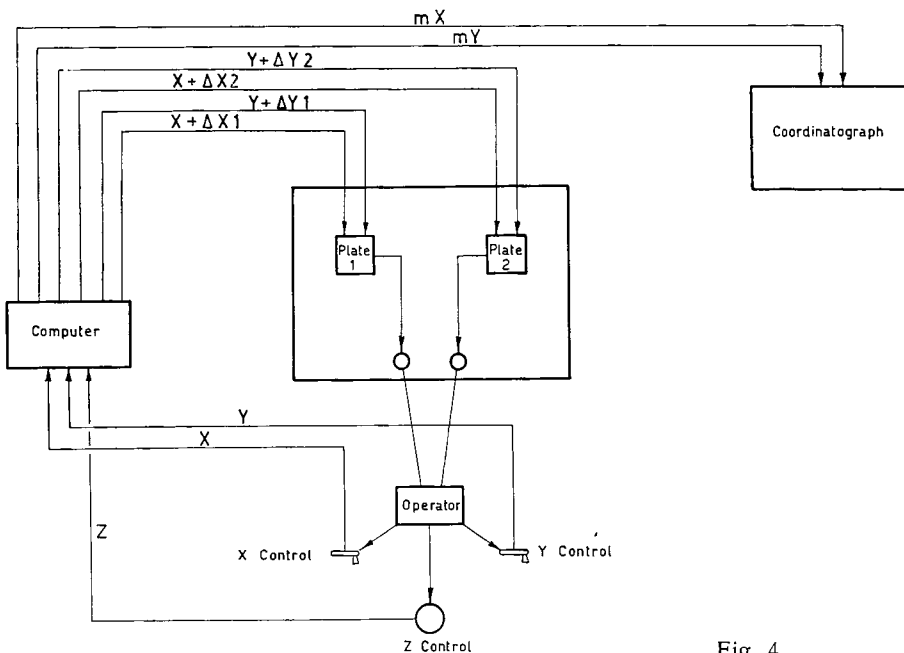


Fig. 4

correzioni per la contrazione rettangolare della pellicola e per la curvatura terrestre e la rifrazione atmosferica, vengono forniti al calcolatore stesso, per mezzo del pannello comandi, tutti i parametri necessari alle varie operazioni per giungere alla formazione del modello ottico (per esempio: distanza focale della camera da presa, componenti della base, ecc.). L'operazione dell'orientamento interno si esegue collimando successivamente le 4 marche di ciascun fotogramma e dando quindi, sempre attraverso il pannello comandi dello Stereocomparatore, il comando per l'avvio del calcolo. Vengono così calcolati e memorizzati tutti i parametri dell'orientamento interno e con un semplice comando, il calcolatore conduce i due fotogrammi sui rispettivi punti principali.

Per l'orientamento relativo è stata programmata una soluzione basata sul procedimento dei minimi quadrati. Usando questo metodo semi-automatico, il calcolatore porta successivamente le lastre sui 6 punti caratteristici delle due linee nadirali dei fotogrammi e l'operatore, volta per volta, interviene annullando la parallasse con una manopola incrementale posta sul pannello comandi (annullamento di parallasse secondo  $b_y$ ). A operazione eseguita, il calcolatore elettronico calcola per successive iterazioni i parametri dell'orientamento relativo e li memorizza.

Il procedimento di orientamento assoluto rappresenta, pure, un processo di minimi quadrati (orientamento assoluto numerico); si possono perciò avere da un minimo di tre fino ad un massimo di dodici punti noti per modello. Collimati successivamente i punti di coordinate note e introdotti i valori delle coordinate stesse, il calcolatore elettronico calcola e memorizza i parametri dell'orientamento assoluto, in modo che l'operatore è praticamente pronto ad eseguire il tracciamento della carta.

Tutti i parametri di orientamento, coordinate dei punti e altre informazioni relative al modello stereoscopico possono essere lette direttamente (agendo opportunamente sui pulsanti del pannello comandi) su una fila di 7 tubi indicatori Nixie. Questo è particolarmente comodo in quanto, oltre a leggere i valori, si ha



la possibilità di constatare istantaneamente le eventuali variazioni introdotte dall'operatore a mezzo della manopola incrementale. Similmente tutti i parametri di orientamento e le coordinate dei punti (ogni punto può essere identificato con un numero fino a 7 cifre) possono essere letti sui tubi indicatori o registrati e stampati per mezzo di un perforatore di nastro e una telescrivente.

L'AP/C ha, otticamente, la possibilità di eseguire imposizioni di « base in dentro » e « base in fuori » e data la grande precisione offerta dalla strumentazione e la sua natura analitica, è uno strumento particolarmente adatto per l'esecuzione di triangolazioni aree numeriche. E' funzionante un programma di triangolazione, che permette di ottenere direttamente le coordinate terreno di tutti i punti di concatenamento. Se la strisciata supera i quattro o cinque modelli, è necessario però eseguire la compensazione degli errori sistematici delle coordinate stesse. Per eseguire tale operazione si deve usare un calcolatore a grande capacità di memoria; si devono perciò registrare su nastro le coordinate terreno sopraddette ed utilizzare un normale programma di compensazione per triangolazione analitica.

L'AP/C forma un complesso la cui flessibilità a qualsiasi problema di natura cartografica e la cui capacità di produzione non ha riscontro in nessun'altra apparecchiatura fotogrammetrica civile; può essere usato con notevole semplicità e massima precisione per l'esecuzione di qualsiasi tipo di aereotriangolazione, per rilievi catastali ed urbanistici, per il ciclo di progettazione completo di molti problemi inerenti l'ingegneria civile. Può essere utilizzato per lavori cartografici aventi scopi militari o in molti campi affini alla fotogrammetria, come rilievo di monumenti, studio di modelli, applicazioni nel campo delle misure di altissima precisione in molti rami della tecnica e della fisica.

## 2. Restitutore Analitico AP/C con Ortofotoproiettore

L'apparecchiatura è costituita dal calcolatore elettronico AP/C con gruppo telescrivente, dallo Stereocomparatore AP/C e dall'Ortofotoproiettore in sostituzione del tavolo di tracciamento.

L'Ortofotoproiettore può essere adattato a qualsiasi apparecchiatura AP/C, completa; è solo necessario sconnettere il coordinatografo e connettere il proiettore stesso. Il compito fondamentale di tale strumento è quello di trasformare un comune fotogramma in un ortofotogramma.

Il fotogramma, dal punto di vista ottico-geometrico, è una proiezione centrale che ha come centro il secondo punto principale del sistema obbiettivo della camera da presa. Inoltre il fotogramma contiene gli errori di posizione dei punti fotografici dovuti alle inclinazioni longitudinale e trasversale della camera da presa ed alla morfologia del terreno. L'ortofotogramma risulta essere invece una proiezione ortogonale, cioè una fotografia ideale in cui il punto di presa sia stato spostato all'infinito, in direzione della verticale. Evidentemente, in questo caso, non ha significato parlare di errori di posizione dei punti dovuti a  $\varphi$  e  $\omega$  o alla pendenza del terreno. Tutti i punti risultano proiettati nella loro giusta posizione planimetrica e quindi l'ortofotogramma può sostituire in pieno la carta topografica.

Le caratteristiche fondamentali del Ortofotoproiettore, collegato al Restitutore Analitico AP/C, sono le seguenti:

- a) Lo strumento è completamente separato dal Restitutore Analitico.
- b) Il carrello portante la diapositiva da proiettare, l'ottica di proiezione, il carrello (che costruttivamente è un tamburo) con il materiale sensibile, sono disposti su tre piani sovrapposti in modo da rendere massima la stabilità e minimo l'ingombro di tutta l'apparecchiatura.
- c) Le coordinate lastra  $x_2 = X_m + \Delta x$  e  $y_2 = Y_m + \Delta y$  sono trasmesse, attraverso sistemi di asservimento, direttamente dal 2° carrello dell'AP/C, al carrello portante la diapositiva. Tale diapositiva è uguale alla diapositiva montata sul 2° carrello dello Stereocomparatore. Dato che identici sono i movimenti di tale carrello dell'AP/C e del carrello superiore dell'Ortofotoproiettore, è ne-

cessario che le due diapositive uguali siano piazzate sui rispettivi carrelli nelle identiche posizioni.

- d) Le coordinate modello  $X_m$  e  $Y_m$  sono trasmesse dal calcolatore elettronico attraverso sistemi di asservimento, direttamente al carrello portante il materiale fotografico da sensibilizzare.
- e) Durante ciascuna scansione di restituzione (che avviene secondo la direzione  $y$  ed ha una larghezza variabile da 1 mm a 4 mm), l'ottica rimane immobile ed il movimento del carrello portante il materiale sensibile avviene su guide a rulli di altissima precisione. Si evita in tal modo, ogni pericolo di vibrazione. Tutti gli altri movimenti sono eseguiti per mezzo di cuscinetti rotolanti su tubi rettificati, come avviene sui Restitutori Analitici.

La formazione dell'ortofotogramma avviene, schematicamente, in questo modo: eseguito con il Restitutore Analitico AP/C tutto il procedimento fotogrammetrico fino alla formazione dell'orientamento assoluto, si esegue la connessione dell'Ortofotoproiettore all'apparecchiatura stessa. Fatte alcune operazioni di fasatura, si inizia l'operazione di proiezione. L'operatore esegue le varie scansioni, o profili, del modello secondo la direzione  $y$ , avendo cura di mantenere sempre la marca stereoscopica appoggiata al terreno. Il movimento  $y$  viene programmato a velocità costante e le correzioni in  $z$  vengono apportate con il volantino di destra che, originariamente, era il volantino  $y$ . Evidentemente è necessario eseguire una inversione di comandi fra  $y$  e  $z$ . Durante tutta l'operazione di scansione, l'ottica dell'Ortofotoproiettore proietta, dopo avere apportato opportune correzioni, l'immagine del fotogramma posto nel carrello superiore, sulla pellicola sensibile posta nel carrello inferiore, che è a prova di luce-ambiente.

L'Ortofotoproiettore può essere considerato il naturale completamento del Restitutore Analitico AP/C. Gli ortofotogrammi, data la grande rapidità con cui possono essere eseguiti (circa 2 ore per un terreno mediamente ricco di particolari) andranno sempre più a sostituire la cartografia speditiva e a piccola scala. Inoltre possono venire utilizzati con grande vantaggio in molti lavori di ingegneria civile, come per esempio: progetti urbanistici interregionali o studi di adattamento al paesaggio di strade di grande comunicazione.

Per lavori geologici, pedologici, mappe archeologiche ecc. costituiranno in un prossimo futuro l'elemento cartografico di base.

### 3. Restitutore Analitico AS-11 A

E' la versione militare del Restitutore Analitico AP/C e cronologicamente lo ha preceduto. Anche questa strumentazione, è costituita da un calcolatore elettronico con unità elettro-meccanica di uscita (telescrivente con perforatrice di nastro), da uno Stereocomparatore a due carrelli e da un tavolo di tracciamento, avente le dimensioni di 110 cm x 140 cm.

Tutto quanto è stato scritto a riguardo dell'AP/C, è valido integralmente anche per l'AS-11 A. E' necessario, piuttosto, far notare, che tutte le caratteristiche di grande flessibilità, proprie di quel Restitutore Analitico, sono notevolmente ampliate nel AS-11 A. Con tale strumento è possibile restituire foto oblique, convergenti e panoramiche (queste ultime, con formato 4,5 pollici x 9 pollici); la lunghezza focale della camera da presa non ha praticamente limiti; le differenze d'ingrandimento fra i due fotogrammi che devono formare il modello possono arrivare a limiti molto forti, il che permette di restituire anche diapositive trasmesse da satelliti artificiali prima dell'impatto.

Per permettere allo strumento di operare con materiale fotografico così eterogeneo, è necessario che il calcolatore abbia delle particolari caratteristiche operazionali e di memoria; questo infatti succede con il calcolatore elettronico del AS-11 A che risulta notevolmente diverso da quello dell'AP/C.

Per quanto riguarda la parte ottico-meccanica, invece, le differenze almeno dal punto di vista logico, sono minime. Possiamo raggrupparle brevemente in tre

categorie:

a) le quattro viti dei coordinatometri e la pedaliera, sono collegate a 5 particolari contagiri ottici che servono per le operazioni di rettifica e per eventuali controlli al funzionamento della parte elettronica.

b) i prismi Amici-Dove, indicati in fig. 2 con il numero (07.20) sono pilotati direttamente dal calcolatore per mezzo di un asservimento con motore passo-passo. Grazie a tale asservimento le immagini provenienti dai due fotogrammi sono automaticamente ruotate. Per correggere, inoltre, in modo automatico, l'eventuale differenza d'ingrandimento fra i due particolari osservati, è interposto, in ciascun cammino ottico, un variatore d'ingrandimento. Tali variatori, che sostituiscono le lenti (04.08) di fig. 2, hanno un campo di variazione da 1x a 2x e sono pilotati separatamente dal calcolatore per mezzo di un asservimento con motore passo-passo.

Queste due caratteristiche dell'ottica di collimazione rendono possibile la visione stereoscopica in quei casi particolari prima accennati.

c) Il coordinatografo, posto sul tavolo di tracciamento, è composto da una doppia guida, secondo la direzione di maggior sviluppo del tavolo.

L'utilizzazione di tale strumentazione, costruita per scopi preminentemente militari, abbraccia tutti i campi non solo della cartografia, ma di qualsiasi applicazione tecnica, dove risulti necessario il tracciamento o la misura di oggetti con metodi fotogrammetrici.

#### 4. Restitutore analitico AS-11 B

Questo strumento non è altro che il Restitutore Analitico AS-11 A automatizzato. L'automatizzazione è costituita essenzialmente da un analizzatore elettronico di immagini a punto mobile e da un sistema di correlazione.

Il « correlatore automatico di immagini », costituito dai due organi sopracennati collegati al calcolatore elettronico, è essenzialmente un complesso che tende a sostituire l'operatore in molti stadi del lavoro fotogrammetrico di preparazione del modello e di tracciamento della carta. E' possibile, infatti, eseguire automaticamente sia l'orientamento interno che l'orientamento relativo; similmente è possibile eseguire il tracciamento di curve di livello e di profili con velocità almeno sei volte superiore a quella di un normale operatore (tracciamenti fino a 10 mm al secondo, riferiti al piano del fotogramma).

L'analizzatore elettronico di immagini è costituito essenzialmente da due tubi a raggi catodici, uno per ogni carrello porta-fotogrammi, montati, con i relativi circuiti di alimentazione e di scansione, ai due lati dello Stereocomparatore. Tali tubi sono rivolti verso l'alto e sono protetti, similmente a tutta l'ottica di esplorazione, alla luce ambiente. Ciascun tubo a raggi catodici emette un pennello di raggi, che esegue in una frazione di tempo, una completa scansione d'una determinata areola. Lo « spot », generato dal pennello di raggi, viene deviato per mezzo di due specchi e messo a fuoco per mezzo di due lenti, sul piano del fotogramma. L'areola, che viene variata automaticamente secondo la natura del terreno, viene ridotta di circa 1/10 dalle due lenti sopraddette. Il cammino ottico dello « spot » coincide, sul piano del fotogramma, con quello che sarà il cammino ottico dei raggi che verranno convogliati agli oculari dello Stereocomparatore.

Infatti l'operatore ha la possibilità di controllare per mezzo di un cammino ottico identico a quello visto per lo AS-11 A, la collimazione automatica eseguita dal correlatore. E' da notare anche che la tradizionale marca opaca viene a trovarsi, per costruzione, al centro dell'areola analizzata dallo « spot ». Utilizzando riflessioni su specchi diecrici viene eseguita, quindi, la separazione fra i raggi a spettro completo che vengono inviati agli oculari e i raggi ultravioletti provenienti dallo schermo del tubo catodico che vengono inviati ad un foto-moltiplicatore.

Essenzialmente il principio su cui si basa l'apparecchiatura di correlazione

automatica, è il seguente: l'intensità di luce dello « spot », durante tutta la scansione dell'areola viene modulata dalla diversità di toni del fotogramma. Questa luce modulata viene convertita dal foto-moltiplicatore in variazione di segnali elettrici che vengono debitamente amplificati ed inviati al sistema di correlazione.

Questa operazione viene eseguita contemporaneamente e indipendentemente per entrambi i fotogrammi. La logica con cui è costituito il correlatore permette, confrontando i segnali provenienti dai due foto-moltiplicatori, di decidere se la collimazione è eseguita correttamente o se è necessario apportare delle correzioni alla lastra in  $x$  e  $y$ . In tal caso, essendo il sistema di correlazione collegato al calcolatore elettronico, quest'ultimo apporta le correzioni necessarie, muovendo opportunamente i carrelli porta-fotogrammi.

#### 5. Restitutore Analitico AS-11 B con Ortofotoproiettore (AS-11 C).

Il complesso del Restitutore Analitico AS-11 B integrato con l'Ortofotoproiettore elettronico è stato denominato con la sigla AS-11 C. L'Ortofotoproiettore elettronico è basato sul principio della televisione a circuito chiuso e, similmente all'Ortofotoproiettore ottico (brevemente descritto con il Restitutore Analitico AP/C), esegue una analisi dei fotogrammi da proiettare, con scansioni parallele ad un asse coordinato.

La strumentazione è in grado di eseguire ortofotogrammi e, contemporaneamente, una rappresentazione del terreno a sole curve di livello. In tal modo, partendo dalle due negative, si ottiene un ortofotogramma con sovrastampata l'altimetria.

L'Ortofotoproiettore è costituito da due elementi:

- a) proiettore elettronico vero e proprio,
- b) l'elemento di elaborazione e di pilotaggio, collegato sia al calcolatore elettronico che al sistema di correlazione.

Il proiettore elettronico, che evidentemente è a prova di luce-ambiente, è costituito da due carrelli separati, del tutto simili a quelli dello Stereocomparatore d'un qualsiasi Restitutore Analitico. I due carrelli portano due lastre da sensibilizzare, di cui una formerà l'ortofotogramma e l'altra la rappresentazione a curve di livello. Si hanno, in effetti, due proiettori elettronici a raggi catodici costituiti ciascuno da un analizzatore a punto mobile e dalla relativa ottica mobile di proiezione. Si hanno infine i servo-asservimenti per il movimento del carrello porta-pellicola e dell'ottica di proiezione.

L'elemento di elaborazione contiene l'elaboratore-video per la generazione dell'ortofotogramma, il generatore elettronico delle curve di livello e vari elementi di controllo e di collegamento al calcolatore elettronico e al correlatore di immagini.

Quando tutte le operazioni fotogrammetriche preliminari sono state eseguite (procedendo come è richiesto dal Restitutore Analitico AS-11 B) e quindi il modello è stato formato nella scala voluta, si deve introdurre nel calcolatore, utilizzando il pannello comandi dello Stereocomparatore, alcuni parametri come la scala dell'Ortofotogramma, l'equidistanza fra le curve di livello, la dimensione di ciascuna scansione e i limiti della zona che deve essere analizzata e proiettata ortogonalmente. Vengono eseguiti controlli di posizionamento delle due lastre da sensibilizzare e quindi inizia l'operazione di proiezione. Schematicamente possiamo indicare il seguente ciclo logico di funzionamento per la formazione dell'ortofotogramma: lo Stereocomparatore del AS-11 B esegue la scansione secondo una prestabilita direzione; gli analizzatori a punto mobile del correlatore di immagine inviano i segnali, riguardanti l'areola di scansione, all'elaboratore video, per mezzo dei rispettivi fotomoltiplicatori ed amplificatori. All'elaboratore giungono anche direttamente dal calcolatore le informazioni riguardanti le correzioni da apportare alle coordinate modello  $X_m$  ed  $Y_m$  causa la pendenza del

terreno o gli elementi d'orientamento. L'elaboratore video esegue quindi una serie di operazioni, fra le quali quella di correggere l'intensità del segnale video, in modo da ottenere una giusta tonalità nell'ortofotogramma; di mettere nella scala richiesta l'areola elementare che verrà proiettata, istante per istante, sul materiale sensibile; di pilotare, infine, il tubo catodico dell'analizzatore che genererà lo « spot », di scansione, per la formazione dell'ortofotogramma.

Per la rappresentazione a curve di livello, l'apparecchiatura segue un ciclo logico simile a quello ora accennato. I due sistemi sono in perfetto sincronismo fra di loro.

#### 6. *Restitutore Analitico C.A.D.*

Il C.A.D. è essenzialmente uno strumento formato da uno Stereocomparatore a due lastre, con i carrelli portafotogrammi aventi le dimensioni di 9 pollici x 18 pollici, da un tavolo di tracciamento del formato di 80 cm x 110 cm con il piano di disegno posto ad una inclinazione di 30° rispetto alla verticale e da un calcolatore analogico che esegue tutte le operazioni d'orientamento e comanda il movimento dei carrelli dello Stereocomparatore e della matita tracciante.

La precisione ottenibile dal complesso è decisamente inferiore a quella ottenibile con gli altri Restitutori Analitici; gli scarti quadratici medi sulle coordinate arrivano a  $\pm 0,05$  mm. La velocità di tracciamento è di circa 5 mm al secondo, riferiti al piano del fotogramma.

Per quanto riguarda lo Stereocomparatore, la parte cinematica e ottica segue gli stessi principi costruttivi degli Stereocomparatori di tutta la serie dei Restitutori Analitici, con criteri estremamente semplificati, dato la relativamente limitata precisione richiesta dall'apparecchiatura.

La strumentazione è stata progettata per lavori di aggiornamento di carte topografiche per applicazioni puramente militari.

#### 7. *Monocomparatore TA1/P*

Il Monocomparatore TA1/P è uno strumento che serve per la misura delle coordinate strumentali planimetriche di qualsiasi particolare rilevabile su una lastra fotografica.

E' costituito, essenzialmente, da un portafotogrammi, da un organo di collimazione dei punti scelti sul fotogramma e da un sistema di misura e di registrazione delle coordinate x e y dei punti sopraddetti. Lo scarto quadratico medio nelle misure, in entrambe le coordinate, è di circa  $\pm 1$  micron; la registrazione viene effettuata oltre che in chiaro, anche su nastro o su schede.

L'unico carrello formante il coordinatometro ha una cinematica molto simile a quella vista con tutti gli strumenti analitici (fig. 1); il movimento secondo la coordinata x è realizzato dal carrello portafotogrammi, mentre il movimento secondo la coordinata y è effettuato dal sistema ottico. L'ottica di collimazione è del tutto identica a quella vista in fig. 2, mentre l'ottica di trasporto risulta molto semplificata, dal prisma (12.11) in poi. Logicamente si ha un solo veicolo; l'immagine del particolare collimato viene però osservata biocularmente, per rendere più riposante le operazioni di puntamento all'operatore.

Per l'esplorazione dei fotogrammi sono previsti due comandi distinti: i grandi spostamenti sono ottenuti per mezzo di sincro-motori comandati da pulsanti, gli spostamenti micrometrici avvengono per mezzo di due volantini.

Le coordinate dei punti dei singoli fotogrammi, formanti la strisciata, perforate su nastro o su scheda, vengono messe, assieme a un opportuno programma di calcolo, in un calcolatore elettronico che elabora tutti i dati. Dal calcolatore elettronico si ottengono direttamente le coordinate terreno plano-altimetriche di tutti i punti, dei quali si erano lette le coordinate lastra.

Con il Monocomparatore TA1/P, non si ha quindi la possibilità di disegnare

la carta topografica in modo continuo, ma solo di ottenere, con grande precisione, le coordinate terreno di qualsiasi punto ben visibile su un fotogramma.

Lo strumento viene utilizzato per lavori di catasto numerico, per lavori di aerotriangolazione analitica, per scopi militari, per misure astronomiche.

#### 8. *Stereocomparatore TA2/P*

Lo Stereocomparatore TA2/P è uno strumento di alta precisione appositamente costruito per lavorare su fotogrammi ottenuti con le moderne camere panoramiche, come la Fairchild F/638-120. Tali camere sono costruite in modo da avere il film in posizione fissa, spianato su un settore cilindrico, mentre l'obiettivo da presa è rotante rispetto al centro del cilindro sopraddetto; il suo movimento è sincronizzato con un otturatore e un particolare diaframma, entrambi in movimento.

Ciò permette di ottenere dei fotogrammi da orizzonte a orizzonte nei quali risulta utilizzabile, dal punto di vista fotogrammetrico (e non soltanto fotointerpretativo), un angolo superiore a 130°, nella direzione normale al volo, mentre nella direzione di volo l'angolo è limitato a 21° circa.

Il formato del fotogramma, sempre rettangolare, arriva fino a 25,2 pollici x 4,5 pollici. I carrelli portafotogrammi dello Stereocomparatore TA2/P pur essendo costruiti seguendo il solito criterio cinematico descritto in corrispondenza alla fig. 1, hanno un formato di 9 pollici x 18 pollici (circa 24 cm x 48 cm) per poter contenere i fotogrammi ottenuti con tutti i tipi di camere sopraccennate. Si sono resi necessari degli accorgimenti meccanici particolari per non perdere in precisione nonostante le eccezionali dimensioni dei carrelli.

Lo strumento prevede inoltre la possibilità di sopportare direttamente i due rulli continui di diapositive ottenute con l'unico negativo ed opportunamente spianarle sui portafotogrammi. La corsa secondo la x, ottenuta con il movimento dell'ottica di collimazione, è di 24 cm, mentre il carrello portafotogrammi ha una corsa in y di 48 cm. L'ottica di collimazione è sempre la stessa, comune a tutti gli strumenti analitici; tutta l'ottica di trasporto è geometricamente uguale a quella riportata in fig. 2.

#### 9. *Stereocomparatore TA3/P*

Lo Stereocomparatore TA3/P, a tre carrelli portafotogrammi, ha concettualmente le stesse caratteristiche del Monocomparatore TA1/P. A questo proposito, anzi, è necessario ricordare che, dal punto di vista costruttivo, lo strumento è formato da tre bancali di Monocomparatore montati a raggiera rispetto ad un organo di scamottaggio ottico, che si trova proprio nelle vicinanze degli oculari. Tale organo è congegnato in modo da permettere di portare agli oculari stessi le immagini dei fotogrammi posti sui coordinatometri nella seguente successione: 1-2, oppure 2-3, oppure 3-1. Per passare da una configurazione all'altra, è sufficiente che l'operatore ruoti una manopola posta sul pannello comandi.

L'ottica di collimazione e di trasporto, fino all'organo di scamottaggio ottico, è praticamente identica a quella del Monocomparatore.

La collimazione di tutti i punti che serviranno per il concatenamento e dei quali si vogliono misurare le coordinate x e y, viene eseguita stereoscopicamente su due modelli successivi; questo fatto permette di eliminare qualsiasi marcatura dei punti stessi sulle diapositive (come è necessario per i Monocomparatori o Stereocomparatori a due carrelli) e di raggiungere una precisione maggiore, unita a un migliore rendimento economico. E' necessario invece prevedere un sistema di registrazione fotografica, come è stato montato sul TA3/P, per memorizzare l'immagine di tutti i punti usati per la triangolazione e dei quali, dopo tutto il procedimento numerico di concatenamento e di compensazione, si otterranno le coordinate terreno. Punti, questi, che serviranno per il successivo lavoro di restituzione analogica, in quanto diventeranno i punti noti per l'orientamento

assoluto delle singole coppie di fotogrammi.

La registrazione fotografica del punto collimato sul TA3/P, è corredata da un numero di 9 cifre, imponente a piacere dell'operatore, che serve per l'individuazione del punto stesso.

Lo Stereocomparatore è dotato di un sistema di registrazione elettronico di coordinate-lastre a contatori bidirezionali, del tutto uguale a quello dato in dotazione al Monocomparatore.

Di tale sistema si è dato breve cenno parlando, in generale, degli strumenti Comparatori.

Oltre alle coordinate  $x$  e  $y$  del I, II, III coordinatometro, è registrato il « nome » del punto in tutto uguale a quello che appare sulla registrazione fotografica (l'organo di imposizione del numero d'identificazione è unico, per entrambi i sistemi). L'unità elettromeccanica stampante, pilotata dal sistema di registrazione coordinate, può essere una telescrivente con perforatore di banda o un perforatore di schede.

Lo Stereocomparatore TA3/P è realizzato in modo che per ciascun coordinatometro, il movimento secondo  $x$  è effettuato dal carrello portafotogrammi, mentre il movimento secondo  $y$  è affidato all'ottica.

I tre fotogrammi possono essere mossi contemporaneamente della stessa quantità o individualmente. Per il loro movimento sono previsti due comandi distinti; i grandi spostamenti sono ottenuti per mezzo di sincro-motori comandati da pulsanti, mentre gli spostamenti micrometrici sono ottenuti mediante volantini.

Questo strumento, come gli altri due precedentemente visti ed appartenenti alla classe dei Comparatori, permettono di raggiungere altissime precisioni, con s. q. m. in entrambe le coordinate, di poco superiori a  $1 \mu$ .

I TA1/P, il TA2/P e il TA3/P differiscono, dal punto di vista cinematico, dagli Stereocomparatori che appartengono alla classe dei Restitutori Analitici, causa un particolare organo montato parallelamente alla vite di misura e che condiziona i movimenti della chiocciola che collega la vite stessa o al carrello portafotogrammi o al carrello dell'ottica mobile. Tale organo, che ha raggiunto nella sua ultima versione una grandissima stabilità, permette di compensare gli eventuali errori accidentali di filettatura della vite e gli eventuali errori sistematici in lunghezza, della stessa.

