

STRUMENTI DI PRESA E DI RESTITUZIONE NELLA FOTOGRAMMETRIA DEGLI OGGETTI VICINI

Prof. R. Galetto*

COMUNICAZIONE UFFICIALE AL XVIII CONVEGNO SIFET - LUCCA

1. - I campi di applicazione della Fotogrammetria dei vicini.

La *fotogrammetria dei vicini* è quella parte della Fotogrammetria che raccoglie tutte le metodologie di presa e di restituzione concernenti applicazioni che non abbiano scopi cartografici o di genere affine e pertanto, contrariamente a quanto potrebbe far pensare il significato letterale dell'espressione, la fotogrammetria dei vicini non risulta limitata dalla distanza *camera da presa-oggetto*, che può essere anche di qualche centinaio di metri. Possono essere inoltre classificate nel campo della fotogrammetria dei vicini applicazioni che usino camere aeree (12) o nelle quali le riprese vengano effettuate da mezzi aerei (20) o applicazioni nelle quali non esista neppure una vera e propria camera da presa (11). Si potrebbe dire, generalizzando, che l'elemento comune alle applicazioni della fotogrammetria dei vicini è quella di usare tecniche proprie della fotogrammetria a una o più proiezioni centrali di un determinato oggetto.

Le applicazioni in questo campo sono pertanto estremamente diversificate, anche se principalmente esse riguardano il rilievo architettuale e dei monumenti, lo studio delle forme e delle deformazioni di opere di ingegneria civile e lo studio dei modelli. Per meglio comprendere la varietà dei problemi che si pongono nella scelta degli strumenti di presa e di restituzione che vengono impiegati, ritengo opportuno citare alcuni altri campi di applicazione nei quali la fotogrammetria, per le sue caratteristiche di rendere possibili operazioni di misura senza un contatto fisico con l'oggetto misurato, in tempi brevissimi e senza alcuna limitazione del numero dei punti da prendere in esame, può essere ritenuta insostituibile:

- determinazione della forma di superfici che non devono venir deformate durante le operazioni di misura: membrane di emulsioni di sapone usate nei modelli di volte sottili (1); deformazioni di una vela sollecitata dal vento (2); effetti aerodinamici provocati dal rotore di un elicottero (3);
- determinazione della deformazione di corpi in movimento: come pneumatici d'automobile (4) o superfici liquide in stato di moto (5), (6).

* Istituto di Ingegneria del Territorio - Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pavia.

- applicazioni in campo medico: per la determinazione della forma del corpo umano (7), (8); per indagini sugli effetti di operazioni chirurgiche (9); per lo studio di stereo-radiografie (10), (11).
- determinazioni di movimenti della superficie terrestre in aree limitate (12).
- applicazioni nelle indagini meteorologiche (13), (14).
- studio delle traiettorie di particelle nucleari nelle camere di Wilson.

Questa diversificazione delle applicazioni è la causa principale del grande numero delle attrezzature da ripresa, mentre poco ampliato risulta il numero degli apparecchi appositamente realizzati per la restituzione.

Per quanto riguarda gli strumenti di presa possiamo dire che si seguono tre tendenze e cioè: l'uso di apparecchi fotografici non-metrici, l'uso di camere fotografiche atipiche appositamente costruite di volta in volta per impieghi speciali e l'uso di camere fotogrammetriche costruite con criteri di generalità, in modo da soddisfare il maggior numero possibile di esigenze tecniche che si presentano nella fotogrammetria dei vicini. Prenderemo in considerazione essenzialmente queste ultime.

Per quanto riguarda l'uso delle camere non-metriche ci limitiamo qui a sottolinearne i pregi, che sono: la reperibilità, il basso costo, la possibilità di impiegare qualsiasi tipo di pellicola, la velocità di cadenza delle prese, la maneggevolezza; mentre tra i difetti ricordiamo: la difficoltà, e molte volte l'impossibilità, di determinare con sufficiente precisione l'orientamento interno, la misura troppo ridotta del negativo originale, la mancanza di planità del film durante la presa, la difficoltà di reperire macchine di piccolo formato che impieghino lastre e quindi, in definitiva, l'impossibilità di raggiungere precisioni elevate.

Le macchine da presa appositamente costruite e quindi atipiche, rappresentano da un certo punto di vista la soluzione migliore, poiché l'utilizzatore le progetta in modo che siano atte a soddisfare determinate esigenze, esaltandone solo alcune caratteristiche e trascurandone altre che non servono per quella particolare applicazione. Esse presentano talvolta un vantaggio per quanto riguarda il lato economico, benché la loro atipicità le escluda da un conto economico a lungo termine, ma hanno lo svantaggio di richiedere complesse operazioni per la determinazione dell'orientamento interno. E' inoltre da sottolineare che la realizzazione di camere speciali richiede una progettazione ed un'esecuzione accurata (21) che implica quindi da parte dell'utilizzatore una preparazione di base più che buona nel campo dell'ottica e della meccanica di precisione.

Pertanto per chi si accosta al campo della fotogrammetria dei vicini unicamente con buone conoscenze di topografia e di fotogrammetria e deve contemplare la possibilità di impieghi che richiedono caratteristiche tecniche diverse, può risultare più conveniente, sia dal punto di vista economico che dal punto di vista della semplicità di esecuzione dei lavori, adottare la camera da presa fotogrammetrica di serie che copre l'arco maggiore delle sue esigenze.

2 - Il problema della messa a fuoco e della profondità di campo.

Benché, come si è detto, la distanza obbiettivo-oggetto possa essere molto grande, nella maggior parte delle applicazioni della fotogrammetria dei voli l'oggetto da fotografare si trova ad una distanza tale che i problemi della messa a fuoco e della profondità di campo non possono essere ignorati.

Prima di esaminare come questi problemi vengono risolti dai costruttori converrà richiamare brevemente, per evitare equivoci dovuti a differenza di terminologia e di simbologia, le variabili che entrano in gioco; esse sono:

- f distanza focale dell'obbiettivo;
- $n = \frac{f}{D}$ indice di diaframma, pari al numero di volte che il diametro D del diaframma è contenuto nella focale;
- p_s distanza principale della camera quando risultano a fuoco i punti di un piano che è distante S dal punto nodale esterno dell'obbiettivo;
- c diametro del circolo di confusione, ossia diametro dell'immagine che si ammette possa venir causata, sull'emulsione sviluppata, da una sorgente di luce puntiforme posta all'infinito.

Quando si mette a fuoco un punto all'infinito ($p_\infty = f$) la minima distanza dell'obbiettivo alla quale i punti oggetto risultano ancora a fuoco si chiama *distanza iperfocale* (v. fig. 1) ed è data con buona approssimazione dalla relazione:

$$K = \frac{f^2}{c \cdot n} \quad 1)$$

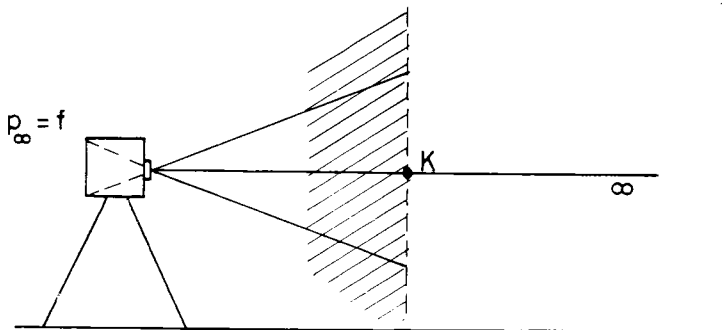


fig. 1

Dalla 1) si vede che se una camera da presa prevede più valori di diaframma, ad ogni valore di diaframma corrisponde una data distanza iperfocale; sottolineiamo il fatto che la distanza iperfocale è maggiore per le camere a lunga focale e in una stessa camera può essere diminuita portando l'indice di diaframma su valori alti.

Mettendo a fuoco un punto a distanza S , la profondità di campo risulta compresa tra un limite vicino (S_{min}) a un limite lontano (S_{max}) (v. fig. 2) dati dalle relazioni:

$$2) \quad S_{min} = \frac{K \cdot S}{K+S} \quad S_{max} = \frac{K \cdot S}{K-S}$$

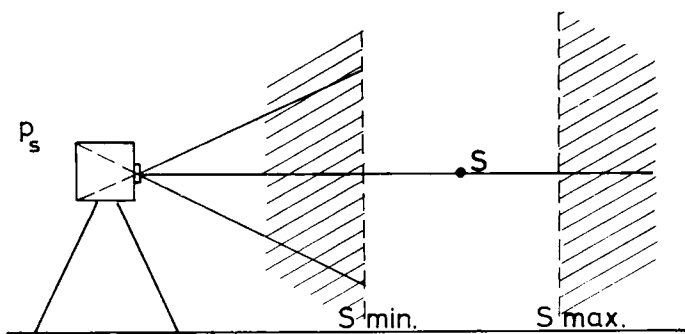


fig. 2

In particolare mettendo a fuoco un punto posto alla distanza iperfocale K , si ha la massima profondità di campo (v. fig. 3) che si estende da $\frac{1}{2} K$

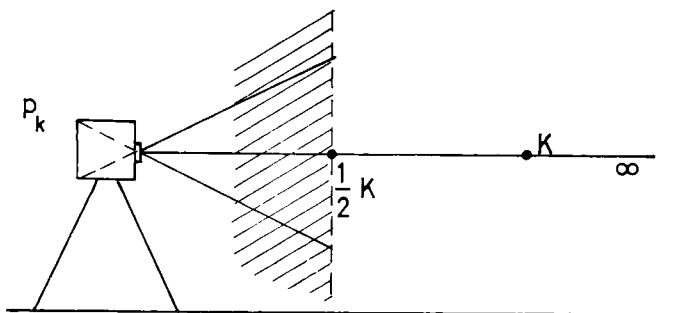


fig. 3

all'infinito.

Nelle camere da presa terrestri vediamo applicate due soluzioni: una è quella di costruire la camera con una distanza principale coniugata alla distanza iperfocale, in modo cioè da avere la massima profondità di campo in senso assoluto. Questa soluzione viene generalmente applicata sulle camere grandangolari, cioè a corta focale, che hanno una distanza iperfocale modesta. Inoltre le camere ad angolo di campo maggiore, o comunque di

corta focale, vengono impiegate negli apparati bicamera, che, essendo principalmente usati nell'infortunistica e nel rilievo architettuale, non richiedono elevate precisioni, ma hanno invece bisogno di una grande profondità di campo. Oppure viene adottata nei fototeodoliti, che sono essenzialmente progettati per fotogrammetria terrestre a scopo cartografico.

La seconda soluzione è quella di predisporre il focamento per una distanza inferiore a quella iperfocale; in tal modo entrambi i limiti della profondità di campo sono al finito. Questa soluzione è adottata nelle camere degli apparati bicamera a base variabile e nelle monocamere a lunga focale; infatti tali strumenti vengono generalmente impiegati per il rilevamento di macchine o parti di macchine e di modelli di modeste dimensioni che non richiedono una grande profondità di campo e che possono inoltre venir posizionati con precisione rispetto alla camera da presa.

Entrambe queste soluzioni hanno il vantaggio di consentire che l'ottica venga fissata rigidamente al cono della camera in sede di costruzione, il che costituisce la migliore garanzia che non venga alterato l'orientamento interno della camera da presa.

Tuttavia entrambe le soluzioni diventano insoddisfacenti quando si voglia conseguire, oltre a quella della stabilità, anche la dote della versatilità. Vedremo infatti in seguito che quando l'ottica è predisposta per la messa a fuoco al finito si hanno variazioni non trascurabili dalla curva della distorsione nei vari piani della profondità di campo. E cioè i valori minimi di distorsione si hanno nel piano di focamento; discostandosi da tale piano i valori cambiano e in generale aumentano. Perché una macchina da presa sia versatile e precisa deve essere possibile variare la distanza di messa a fuoco, e di conseguenza la profondità di campo, in modo che essa possa variare da un paio di metri, all'infinito. La variazione della distanza di messa a fuoco implica però che l'ottica non sia rigidamente collegata al cono delle camere e quindi si ha il pericolo che variando la distanza principale si alteri l'orientamento interno. Un buon compromesso per la soluzione del problema è rappresentato dall'impiego di anelli distanziatori che devono essere interposti tra il corpo della camera e l'obbiettivo; per la sua semplicità meccanica questa soluzione sembra essere quella più sicura, anche se non la più comoda. Altre soluzioni sono quelle di far traslare il barilotto porta-obbiettivo mediante dispositivo a vite, oppure facendolo scorrere su guide mediante cuscinetti a sfere.

Una soluzione diversa è quella di variare anziché la distanza principale, quella focale dell'obbiettivo, antepoendogli delle lenti addizionali.

La distanza principale variabile è generalmente adottata, con le diverse soluzioni su indicate, nelle monocamere, le quali tendono a riunire, più delle altre, doti di maneggevolezza, di flessibilità e di precisione.

3. - *Il problema della distorsione e della taratura delle camere.*

Per gli usi più correnti, o meglio per quei casi in cui non è necessario raggiungere precisioni elevate e qualora vengano usate camere metricamente corrette, il problema della distorsione può venir ignorato; infatti il valore quadratico medio della distorsione radiale è generalmente inferiore a 1 centesimo di millimetro. Quando invece si vuol raggiungere il più elevato limite di precisione o si costruiscono apposite camere di carattere speciale è opportuno procedere ad una taratura rigorosa delle camere tenendo presente che la di-

storsione delle immagini è diversa per ogni piano di focamento; ed inoltre per una stessa distanza di focamento varia tra i due limiti della profondità di campo.

Se infatti sono noti i coefficienti di distorsione A_{S_1} , B_{S_1}, \dots e A_{S_2} e B_{S_2}, \dots che danno il valore della distorsione radiale in due piani oggetto a distanza S_1 e S_2 , per i due piani suddetti la funzione di distorsione sarà data rispettivamente dalle funzioni (18):

$$\begin{aligned} dr_{S_1} &= A_{S_1}r^3 + B_{S_1}r^5 + \dots \\ dr_{S_2} &= A_{S_2}r^3 + B_{S_2}r^5 + \dots \end{aligned}$$

Predisponendo il focamento a una distanza S , per un piano oggetto a distanza S_i la funzione di distorsione sarà:

$$dr_{S_i} = \gamma_{S_i}^2 A_{S_i} r^3 + \gamma_{S_i}^4 B_{S_i} r^5 + \dots$$

dove

$$A_{S_i} = \left(1 - \frac{f}{S_i}\right)^3 \left[\frac{\alpha_{S_i}}{\left(1 - \frac{f}{S_1}\right)^3} \cdot A_{S_1} + \frac{1 - \alpha_{S_i}}{\left(1 - \frac{f}{S_2}\right)^3} \cdot A_{S_2} \right]$$

$$B_{S_i} = \left(1 - \frac{f}{S_i}\right)^5 \left[\frac{\alpha_{S_i}}{\left(1 - \frac{f}{S_1}\right)^5} \cdot B_{S_1} + \frac{1 - \alpha_{S_i}}{\left(1 - \frac{f}{S_2}\right)^5} \cdot B_{S_2} \right]$$

e

$$\alpha_{S_i} = \frac{(S_2 - S_i) \cdot (S_1 - f)}{(S_2 - S) \cdot (S_i - f)}$$

$$\gamma_{S_i} = \frac{(S - f) \cdot S_i}{(S_i - f) \cdot S}$$

Occorre dunque tener presente che la curva di distorsione varia per ogni piano oggetto, in funzione della distanza di focamento e che per conoscere la distorsione per ogni piano oggetto e per ogni distanza di focamento è necessario e sufficiente che sia nota la funzione di distorsione per due piani oggetto.

Quando si debba procedere ad una taratura rigorosa di una camera da presa per la fotogrammetria di vicini non è quindi consigliabile usare un sistema tridimensionale di punti di controllo e determinare simultaneamente i parametri di orientamento interno e la curva di distorsione.

Convienne invece determinare prima la curva di distorsione per due differenti piani oggetto separatamente; a tale scopo si può usare per due diffe-

renti piani il metodo dei fili a piombo (18). Esso consiste nel fotografare un certo numero di fili a piombo giacenti in un unico piano e nel ricavare la curva di distorsione mediante equazioni che impongono il parallelismo delle immagini dei fili a piombo e nelle quali non compaiono gli elementi di orientamento esterno delle camere né la distanza principale.

Una volta nota la curva di distorsione nei due piani, si può procedere alla determinazione del punto principale e della distanza principale sfruttando punti di controllo in una disposizione tridimensionale. Da ulteriori elaborazioni delle formule esposte (18) si può inoltre vedere che la variazione percentuale delle funzioni di distorsione nei due piani che delimitano la profondità di campo è tanto minore quanto maggiore è il rapporto di ingrandimento, o quanto più è limitata la profondità di campo.

Anche per questo motivo è conveniente che, quando si vuol raggiungere precisioni elevate nel campo di applicazioni industriali si usino camere che consentono forti ingrandimenti e la messa a fuoco a distanza molto ravvicinata; in tal modo si può avere la minima distanza tra il limite vicino e lontano della profondità di campo compatibilmente con le dimensioni dell'oggetto fotografato.

4. - *Strumenti di presa.*

I principali elementi caratterizzanti di una attrezzatura da presa per la fotogrammetria dei vicini sono i seguenti:

- il fatto che l'attrezzatura sia monocamera o bicamera; queste ultime a base fissa o variabile;
- la focale;
- il formato;
- il materiale fotografico usato (lastre, pellicole piane, pellicole in rullo);
- la predisposizione del focamento a una distanza fissa o la possibilità di variarla (con anelli distanziatori, lenti addizionali, scorrimento del barilotto porta-obiettivo su guide o con dispositivo a vite);
- il diaframma: fisso o impostabile su valori diversi;
- la possibilità di rotazione azimutale continua dell'asse ottico e di inclinazione zenitale su valori prefissati ($\pm 30^\circ$, $\pm 60^\circ$) fino alla posizione nadirale o zenitale;
- la possibilità di misurare con continuità e con precisione i valori delle rotazioni azimutali e zenitali;
- la profondità di campo (con i due limiti al finito o con quello lontano all'infinito);
- la possibilità di disporre orizzontale sia il lato maggiore che il lato minore del formato per la sua migliore utilizzazione;
- automatizzazione e rapida cadenza delle prese.

Tutte queste caratteristiche si trovano combinate in svariati modi, se pur con una logica ben precisa, nelle diverse attrezzature oggi in commercio. Ritengo pertanto che dovendo fare una breve rassegna degli strumenti più diffusi l'unica classificazione possibile sia basata sulla suddivisione in: fototeodoliti, attrezzature monocamera e attrezzature bicamera. Non ritengo inoltre appropriato attribuire l'appellativo di *universale* ad alcun tipo di camera; infatti non esiste uno strumento che fornisca tutte le prestazioni principali che si ritrovano nelle diverse camere. Ad esempio i fototeodoliti non consentono le prese zenitali e nadirali che pure sono molto importanti per il rilievo di interni (volte ecc.); e altre camere che hanno questa possibilità non consentono invece di misurare con precisione e con continuità le rotazioni azimutali o le inclinazioni zenitali, elementi a volte essenziali per l'esecuzione dell'orientamento relativo ed assoluto.

Nel descrivere le caratteristiche dei tre tipi di strumentazione (fototeodoliti, monocamere, bicamere) darà brevi cenni di alcuni strumenti di uso più comune disponibili sul mercato; di essi citerò solo alcune caratteristiche essenziali e rimando ai cataloghi delle Ditte Costruttrici coloro che volessero informazioni più esaurienti e più precise in proposito.

a) *Fototeodoliti.*

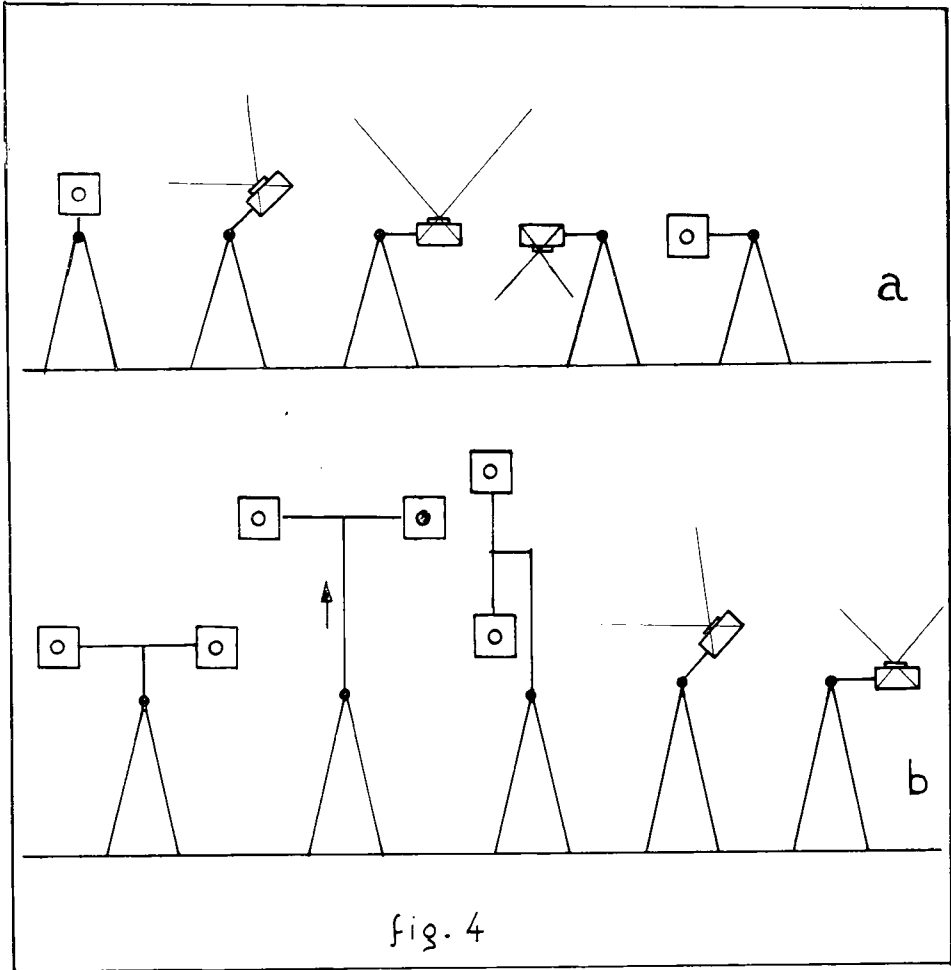
I fototeodoliti sono generalmente concepiti per la fotogrammetria terrestre a scopo cartografico; essi hanno perciò ottime caratteristiche di precisione, che si basano soprattutto sull'adozione di lunghe focali dell'obiettivo e la possibilità di misurare con precisione e continuità le rotazioni azimutali e le inclinazioni zenitali dell'asse ottico della camera da presa. Generalmente la messa a fuoco è fissa e regolata per l'infinito. Il fototeodolite può essere realizzato generalmente: mediante la connessione di una camera da presa ad un teodolite come è il caso del fototeodolite FTG1b della O.G. (Officine Galileo), realizzato dall'unione di un teodolite TG1 e di una camera fotografica del formato di (100x150) mm. e di 155 mm. di focale; struttura analoga viene realizzata dalla Wild mediante il teodolite T2 e la camera P32, di formato (60x80) mm. e di 64 mm. di focale. La camera P32 può essere anche usata come monocamera semplice su supporto proprio; essa ha inoltre la caratteristica di poter usare indifferentemente lastre, pellicole piane e pellicole in rullo.

Un altro tipo di fototeodolite è il Photheo 19/1318 della Jenoptik, formato essenzialmente da una camera fotografica di formato (130x180) mm. e di 190 mm. di lunghezza focale; le rotazioni azimutali dell'asse ottico vengono lette su un cerchio graduato orizzontale, mentre le variazioni di inquadramento nel piano verticale vengono realizzate, invece che con l'inclinazione dell'asse ottico, mediante traslazione dell'obiettivo in senso verticale. Ciò consente di evitare la rotazione in ω della lastra.

I fototeodoliti risultano particolarmente utili nella fotogrammetria dei vicini quando si verificano condizioni critiche per l'esecuzione dell'orientamento relativo ed assoluto dei modelli in sede di restituzione, che possono essere superate conoscendo a priori i valori di orientamento angolare delle lastre (15), (16).

b) *Attrezzature monocamera.*

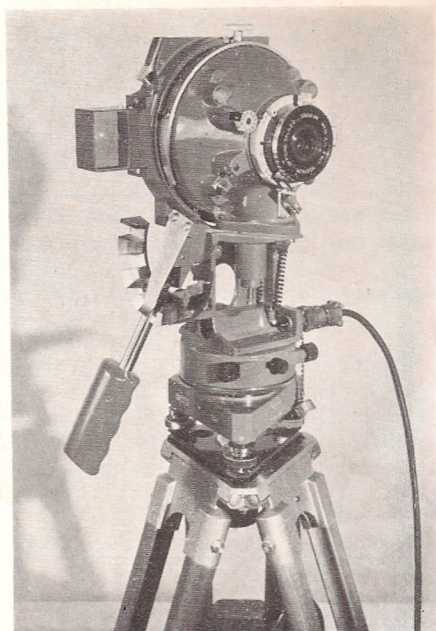
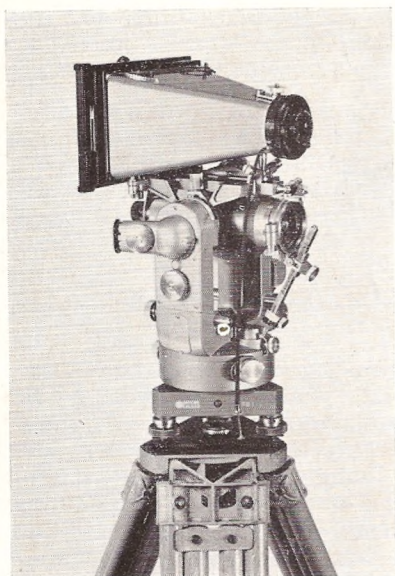
Le attrezzature monocamere sono essenzialmente costituite da una camera fotografica metrica che ha la possibilità di ruotare intorno ad un asse verticale, di far assumere inclinazioni zenitali all'asse ottico su valori fissi (ad es. $\pm 30^\circ$, $\pm 60^\circ$), di disporsi in posizione nadirale e zenitale, di disporsi orizzontalmente o l'uno o l'altro dei lati del formato (v. fig. 4a).



Le monocamere possono avere una lunghezza focale media, come la già citata P32 della Wild, o come la TMK-6 della Zeiss; quest'ultima ha una focale di 60 mm. ed un formato utile di (80x100) mm. Il focamento è generalmente predisposto sulla distanza iperfocale in modo da avvicinare il più possibile il limite vicino della profondità di campo e lasciare all'infinito quello lontano. Nella TMK-6, che è a fuoco fisso sul diaframma 11, è possi-

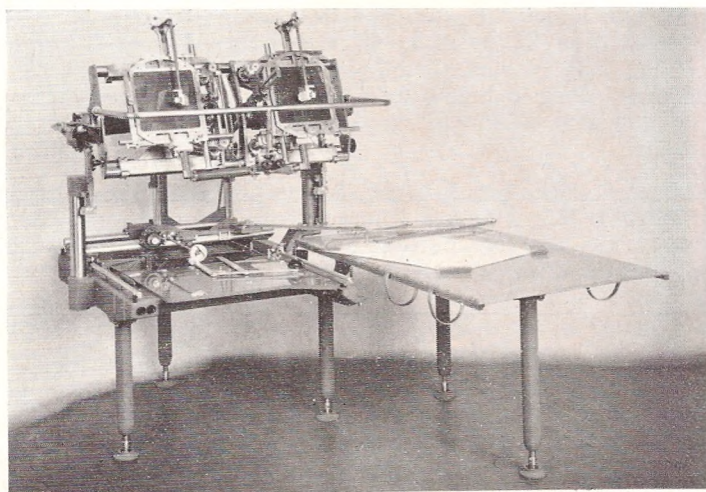
OFFICINE GALILEO

FOTOTEODOLITE FTG 1b



MONOCAMERA VEROPLAST

STEREOSIMPLEX II/C



bile variare la distanza di focamento mediante lenti addizionali. Della TMK-6 esiste anche una versione con lunghezza focale di 120 mm e con più valori di diaframma.

Altre monocamere a lunghezza focale medio-grande sono la Veroplast della O.G. (formato (90x120) mm. a focale di 100 mm.; la P31 della Wild (formato (90x117) mm. e 100 mm. di focale; l'UMK 10/1318 della Jenoptik formato (130x180) mm e 100 mm di focale.

Le tre camere hanno distanza di focamento variabile; la Veroplast mediante traslazione a vite dell'ottica; la P31 mediante anelli distanziatori e l'UMK mediante lo scorrimento del barilotto su cuscinetti a sfere. La Veroplast e l'UMK sono dotate di cerchio azimutale; nell'UMK è possibile leggere con la approssimazione di 1° le inclinazioni zenitali fino a $\pm 20^\circ$; nelle altre due camere sono invece possibili posizionamenti su valori prefissati. In tutte è possibile la posizione zenitale e nella Veroplast anche quella nadirale. Nella P31 si ha un decentramento del punto principale, caratteristica che unita all'altra di poter ruotare la camera intorno al suo asse ottico permette di sfruttare meglio il formato della lastra evitando inclinazioni zenitali.

c) Apparatı bicamera a base fissa.

Le attrezzature bicamera a base fissa sono costituite da due camere fotografiche, di caratteristiche metriche identiche, fissate alle estremità di una traversa, detta base di presa, in modo che gli assi ottici degli obbiettivi risultano tra di loro paralleli e ortogonali alla base. In fase di presa la base viene disposta orizzontale e parallela al piano di riferimento, cioè al piano sul quale si intende eseguire la proiezione in sede di restituzione. Questo assetto di presa viene detto caso normale; esso è caratteristico perché in linea teorica non richiede vengano misurati elementi per l'orientamento assoluto, in quanto che la presa è assimilabile ad una presa aerea con fotogrammi perfettamente nadirali, privi di sbandamento e con distanza di presa nota. La base di presa è fissata ad un treppiede e può subire traslazioni verticali, rotazioni laterali di 90° per disporre le camere secondo una linea verticale, inclinazioni zenitali secondo angoli prefissati e di 90° per disporre le camere in posizione zenitale (v. fig. 4b).

La Wild, la Zeiss e la Jenoptik hanno in produzione apparati bicamere di base 400 mm e 1200 mm; le camere hanno focale media, cioè circa 60 mm. ed il focamento è predisposto col limite lontano della profondità di campo all'infinito per le bicamere di base 1200 mm., le quali vengono generalmente impiegate per infortunistica o rilievi architettonici.

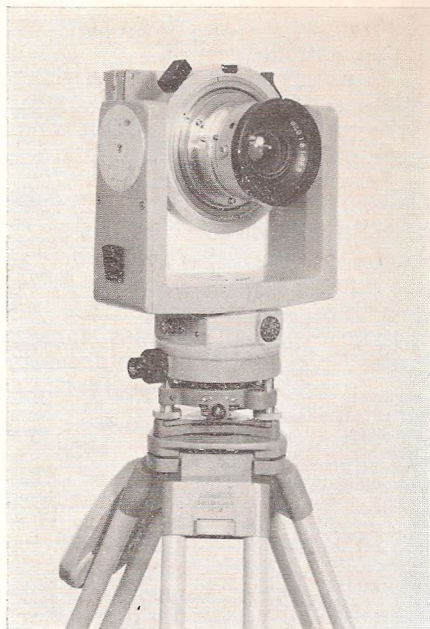
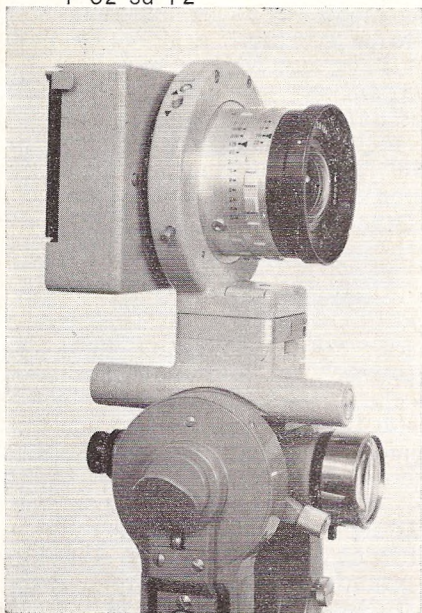
Nelle bicamere di base 400 mm. invece il focamento è predisposto a distanza minore dell'infinito e quindi con una profondità di campo limitata; queste bicamere vengono infatti spesso impiegate per rilevamenti di oggetti vicini e per i quali occorre una buona precisione. Risulta pertanto conveniente avere maggiore rapporto di ingrandimento, mentre non è necessario avere una profondità di campo infinita.

Anche le O.G. producono un apparato simile, ma con base di 560 mm e 2000 mm. e le camere hanno una focale di 150 mm. e un formato di (130x180) mm. Appositamente studiato per l'infortunistica è invece l'apparato Verostat di base pari a 1200 mm. e con camera del formato (90x120) mm. e di 100 mm. di focale.

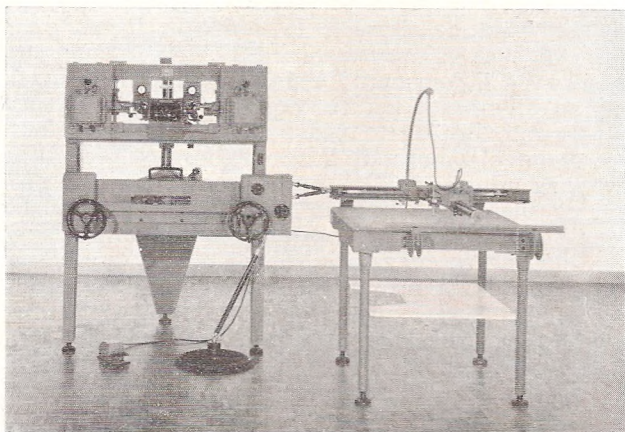
Anche nelle bicamere è possibile in genere variare le distanze di messa a fuoco con i vari dispositivi già visti.

WILD

P 32 su T2

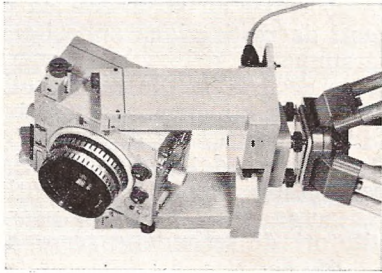


P 31

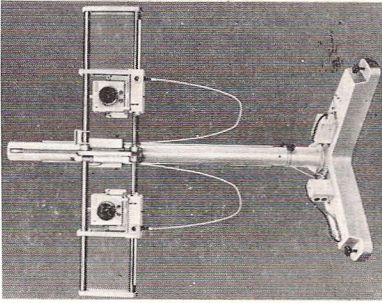


A 40

JENOPTIK JENA



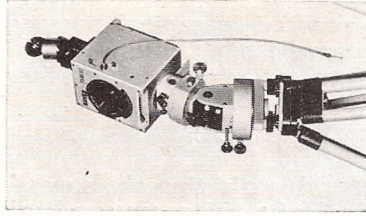
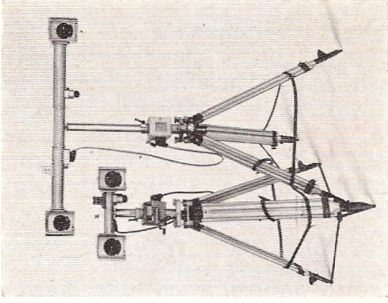
UMK 10/1318



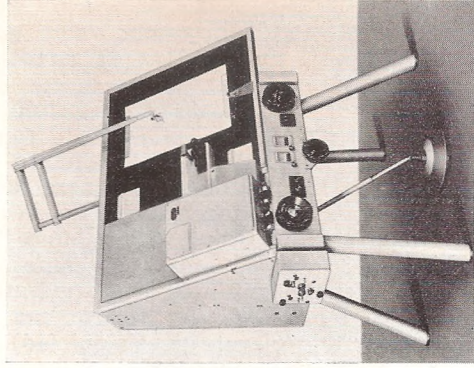
IMK 10/1318

CARL ZEISS

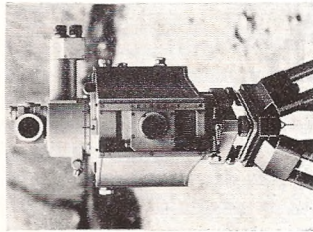
SMK 40
SMK 120



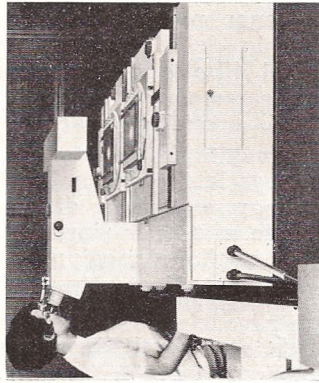
TMK 12



TERRAGRAPH



PHOTEO 19/1318



TECHNOCART

d) *Bicamere a base variabile.*

Questo tipo di bicamere viene generalmente impiegato per il rilevamento di parti meccaniche, di carrozzerie e in genere per rilevamenti di tipo industriale. Anziché su treppiede la base, che è variabile, è montata su un supporto più robusto. La possibilità di variare la lunghezza della base consente di sfruttare al massimo il rapporto base-di-presa/distanza in modo da ottenere il maggior ingrandimento possibile in rapporto allo strumento usato per la restituzione. Le camere fotografiche sono generalmente di grande formato e lunga focale in modo da consentire precisioni elevate. Tra questi tipi di strumentazione ricordiamo il tecnoster-B della O.G., con base variabile da 300 a 700 mm., con camere del formato di (230x230) mm. e di focale pari a 150 mm.; questo apparato è stato appositamente studiato per misure di modelli di carrozzerie, ma trova impiego anche in altri campi dove occorrono elevate precisioni (16).

La Jenoptik produce lo strumento IMK 10/1318 con base variabile da 350 a 1600 mm.; le camere hanno formato utile di (120x165) mm. e la focale di 100 mm.

In questi tipi di apparati le camere possono essere predisposte per il focamento a varie distanze e per ciascuna di esse viene fornita la curva di distorsione, in modo da poter spingere al massimo la precisione dei risultati.

e) *Altri strumenti di presa.*

Esistono poi camere di vario tipo che sono degli adattamenti di camere fotografiche amatoriali.. Molto usate per applicazioni che richiedono sequenze rapide di esposizione sono le camere formato Leica munite di motore di trascinamento della pellicola.

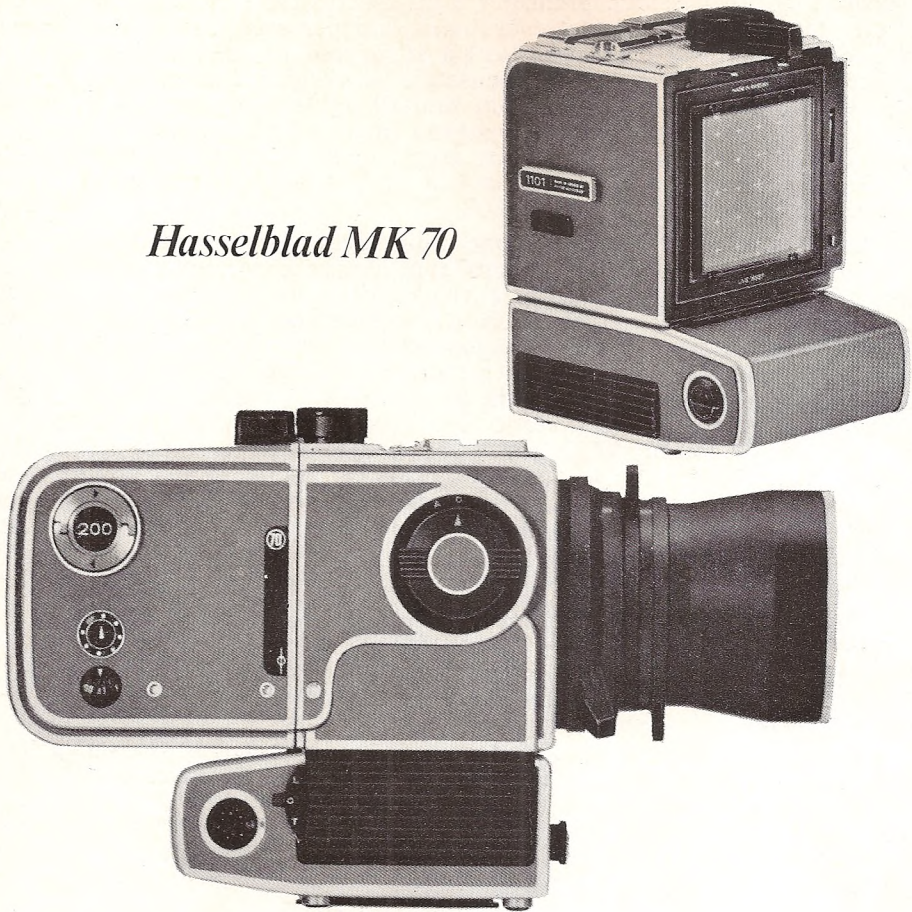
Un cenno particolare merita la Hasselblad MK 70 che oltre ad avere il vantaggio della completa automatizzazione del dispositivo di trascinamento del film e dell'armamento dell'otturatore, può essere considerata una vera camera metrica per l'alta qualità delle ottiche e la dotazione di un reticolo di precisione giacente nel piano focale.

Ugualmente in questa categoria di strumentazioni non appositamente studiate per la fotogrammetria dei vicini possiamo includere le camere da presa fotogrammetriche di grande precisione e di grande lunghezza focale solitamente usate per riprese di satelliti, ma che talvolta vengono impiegate quanto si vogliono raggiungere precisioni elevate nella misura delle deformazioni di grandi strutture (17).

5. *Strumenti di restituzione.*

Contrariamente a quanto abbiamo visto per gli strumenti da presa, non vi è una grande produzione di strumenti da restituzione appositamente concepiti per le applicazioni della fotogrammetria dei vicini. Generalmente i lavori riguardanti questo campo vengono accuratamente pianificati in modo da poter utilizzare per la restituzione i consueti strumenti usati per scopi cartografici. Si cerca cioè di contenere il rapporto *base di presa-distanza dell'oggetto* e i valori angolari delle lastre, che ne determinano l'orientamento relativo ed assoluto, nei limiti di accettabilità permessi dai restitutori impiegati per la restituzione delle prese aeree. In particolare possono venir impiegati i cosiddetti strumenti restitutori di secondo e terzo ordine per

Hasselblad MK 70



i rilievi nei quali l'oggetto della presa è caratterizzato dall'estendersi prevalentemente in un piano che all'atto della restituzione si identifica col piano x, y del coordinatografo, mentre risulta contenuta la necessità della escursione in z ; il che si verifica quando l'oggetto da rilevare ha una dimensione limitata nella direzione che va dal punto di presa all'oggetto stesso. Un caso tipico in questo senso si ha quando si debbano rilevare facciate di edifici e non vi è alcuna limitazione nella scelta della distanza di presa.

Quando invece il rapporto *base di presa-distanza dell'oggetto* viene ad assumere valori minori di $1/5$, e però non mai inferiori ad $1/15 \div 1/20$ poiché in tal caso sarebbe anche difficile l'osservazione stereoscopica del modello, si rende necessario l'impiego degli strumenti restitutori universali; di quegli strumenti cioè dove è possibile imporre, mediante il ponte della base, delle basi di restituzione molto piccole in rapporto alla distanza dell'oggetto

e dove è inoltre possibile predisporre un assetto della camera che consente di sfruttare la corsa in y del coordinatografo per esplorare il modello nella direzione *camera da presa-oggetto*. Un altro caso in cui l'impiego del restitutore universale si rende indispensabile si verifica quando le prese vengono eseguite con forti inclinazioni zenitali dell'asse ottico, condizione che in sede di restituzione richiede vengano imposti valori notevoli della rotazione ω generale. Tra gli strumenti aventi queste caratteristiche ci sembra opportuno citare, per la sua versatilità ed il suo costo contenuto, il restitutore Stereosimplex II/c delle O.G.

Come strumenti di restituzione tipici della fotogrammetria dei vicini possiamo ricordare quegli strumenti appositamente concepiti per la restituzione delle prese nel *caso normale*. Questi strumenti risultano cioè semplificati per il fatto che non consentono l'imposizione di valori angolari delle lastre diversi da zero e presuppongono che la base di presa sia parallela al piano nel quale deve avvenire la proiezione dell'oggetto da restituire. Sono da annoverarsi in questa categoria di strumenti il restitutore Wild A 40, il Terragraph della Zeiss ed il restitutore Verostat delle O.G. Poiché come abbiamo visto gli strumenti da presa bicamera a base fissa che realizzano il *caso normale* hanno anche la possibilità di far assumere al complesso delle due camere delle inclinazioni zenitali in due posizioni fisse ($\pm 30^\circ$ e $\pm 60^\circ$) i due restitutori Wild A40 e Terragraph hanno la possibilità di venir completati da un particolare dispositivo che consente la restituzione di prese effettuate con le suddette inclinazioni.

Questi strumenti che abbiamo appena citato presentano anche il vantaggio di non richiedere degli operatori altrettanto abili di quelli che operano sui normali restitutori, in quanto che su di essi non devono venir eseguite le operazioni di orientamento relativo ed assoluto e di messa in scala del modello.

Un altro strumento appositamente studiato per la restituzione della fotogrammetria dei vicini è il Technocart della Jenoptik il quale oltre a permettere valori della base da zero a 240 mm. accetta tutte le focali e i formati tipici delle camere da presa terrestri a partire dal formato (40x40) mm. fino al formato (230x230) mm. consentendo di evitare riduzioni o ingrandimenti del formato originale.

Qualora lo scopo del rilevamento non sia quello di ottenere un elaborato grafico, bensì quello di pervenire alla determinazione delle coordinate di punti di una struttura o di un modello attraverso le quali ricostruirne la forma o calcolarne le deformazioni, è conveniente ricorrere a procedimenti analitici basati su misure di coordinate lastra effettuate mediante stereocomparatori o monocomparatori. La restituzione per via analitica presenta due generi di vantaggi: innanzitutto non impone alcuna condizione vincolante nelle operazioni di presa, sia per quanto riguarda i parametri di orientamento esterno che quelli di orientamento interno delle camere da presa. Inoltre quando lo scopo del rilevamento è la misura di deformazioni, permette di raggiungere le massime precisioni mediante l'applicazione di metodi di variometrici (22), cioè di metodi che non implicano la ricostruzione dell'oggetto fotografato, ma permettono di determinarne direttamente la variazione di forma mediante l'applicazione di tecniche speciali (23).