

LE APPLICAZIONI DELLA FOTOGRAMMETRIA PER SCOPI NON TOPOGRAFICI

Ricerche ed apparecchiature della Prof. MARGHERITA PIAZZOLLA BELOCH

La prof. Margherita PIAZZOLLA-BELOCH dell'Università di Ferrara, oltre che pubblicare numerosi lavori sull'aerofotogrammetria e fotogrammetria terrestre, ha svolto anche le attività nel campo della fotogrammetria non topografica e precisamente riferendosi alla Röntgenfotogrammetria ed alla identificazione delle traiettorie di proiettili e missili.

In proposito la stessa Prof. Piazzolla-Beloch ci ha favorito la seguente relazione, di cui siamo lieti di pubblicare nel nostro Bollettino.

LA DIREZIONE DEL BOLLETTINO S.I.F.E.T.

I - RÖNTGENFOTOGRAMMETRIA.

1. - *Apparecchiatura per la presa.* - In materia di Röntgenfotogrammetria la prof. M. Piazzolla-Beloch ha pubblicato molti lavori (1), oltre a varie comunicazioni al riguardo, nei Congressi internazionali di fotogrammetria a Parigi (1934), Roma (1940) e Washington (1952).

Il suo apparecchio röntgenfotogrammetrico, denominato « Precisometro » (fig. 1) fu esposto e premiato alla Mostra delle Invenzioni e di Leonardo da Vinci (Milano 1938) col 1° premio della Sezione di Medicina della Mostra (Medaglia d'argento del Ministro della Pubblica Istruzione).

(1) Sopra un nuovo metodo di Röntgenfotogrammetria (Atti Accad. Scienze, Ferrara, 1935);

Röntgenfotogrammetria (Archivio di Radioterapia e Biofisica 1935).

Sull'importanza della Röntgenfotogrammetria (Atti dell'Accad. delle Scienze mediche, naturali e fisico-matematiche di Ferrara, 1935);

Metodi di Röntgenfotogrammetria (« Ottica » t. 1, 1935);

I fondamenti matematici della Röntgenfotogrammetria (« L'Universo » t. 16, 1936);

Sulle prese simultanee nella Röntgenfotogrammetria e misurazioni biometriche (Atti Sc. Ferrara, 1938);

Sull'impiego della fotografia nelle ricerche biometriche (« S.A.S. » Bologna, 1938);

Apparecchi Piazzolla-Beloch per Röntgenfotogrammetria a presa simultanea (id. 1938);

Sopra un nuovo metodo di Röntgenfotogrammetria (« Nuntius Radiologicus » t. 6, 1938);

Sur une méthode de Röntgenphotogrammètrie (Internationales Archiv. f. Photogrammètrie, 1938. Comunicazione fatta al Congresso Internazionale di Fotogrammetria tenutosi a Parigi nel 1934);

Sur les prises simultanées et la restitution automatique dans la Röntgen-photogrammètrie (« Photogrammètrie » 1939);

Alcune considerazioni geometriche sulla Röntgenfotogrammetria (Atti del 2° Congresso dell'Unione mat. ital. 1940);

Sull'applicazione pratica del metodo di intersezione in avanti alla Röntgenfotogrammetria (Atti del V° Congresso Internazionale di Fotogrammetria, Roma 1940).

Ueber die praktische Anwendung des Vorwärtseinschnittes in der Röntgenbildmessung (id. id. 1940);

Il « Precisometro » realizza la possibilità delle prese simultanee, ciò che costituisce un'importante conquista e un primato in questo campo, non essendo gli altri metodi di Röntgenfotogrammetria riusciti nello scopo.

L'apparecchio permette attraverso lo sfruttamento fotogrammetrico di due radiogrammi, risalendo automaticamente dalle immagini radiologiche



FIG. 1. — Il precisometro alla Mostra delle Invenzioni e di Leonardo da Vinci — (Milano, 1938).

alle misure vere obbiettive, di fare misure radiologiche di precisione, localizzazione e determinazione di profondità e può trovare utili applicazioni nelle scienze mediche per determinazioni biometriche o cliniche, in tutti quei casi in cui siano visibili sui radiogrammi, con sufficiente chiarezza, le immagini dei punti che interessano.

Il metodo, a differenza di tutti gli altri metodi röntgenfotogrammetrici, metodi che si basano sulla stereoscopia, è fondato sul principio della « intersezione in avanti » della fotogrammetria terrestre e realizza per la prima volta, come già si è accennato, le prese simultanee. Viene così data la possibilità di eseguire misure di precisione su organi del corpo umano possedenti movimenti proprii.

L'apparecchio si compone di:

1) *Dispositivo di presa* (fig. 2) che serve per la presa simultanea o successiva di due radiogrammi, posti uno orizzontale e l'altro verticale. Le sorgenti radianti si possono centrare rispetto alla pellicola posta di fronte mediante opportune scale graduate di cui è munito il dispositivo. Con coni di

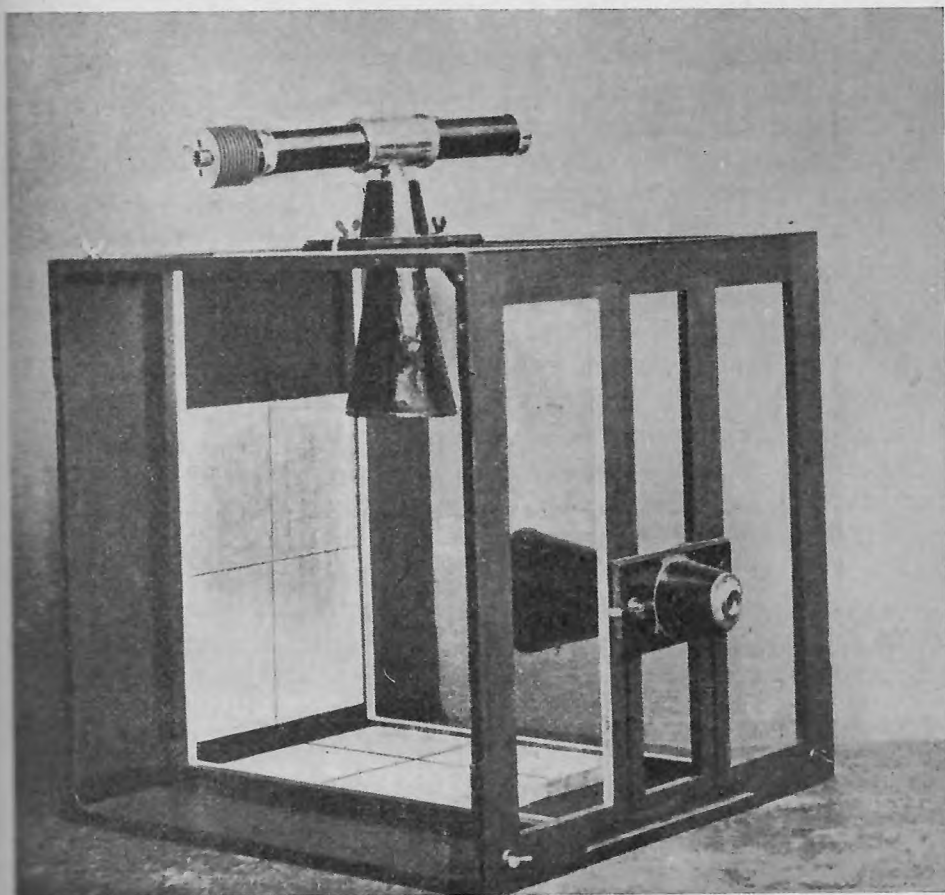


FIG. 2. - Dispositivo per la presa dei radiogrammi.

piombo che funzionano come schermo viene evitato che le radiazioni di una sorgente colpiscano la pellicola posta di fronte all'altra.

Il dispositivo è costituito di una intelaiatura di legno rigida e robusta avente forma di cubo (spigolo di cm. 80), di cui due facce adiacenti completamente chiuse, su ciascuna delle quali è montato un porta-chassis di alluminio, scorrevole entro due guide di legno, fissate alla parete e munito di scale graduate.

Sulle facce (aperte) opposte alle precedenti sono montati due porta-tubi x-ray, scorrevoli entro due guide di legno munite anch'esse di scale gra-

duate, e corrispondenti a quelle che limitano i porta-chassis e che permettono di fissare automaticamente l'orientazione dell'asse ottico in corrispondenza al centro (punto principale) della lastra fotografica posta nel porta-chassis dirimpetto. Le rimanenti due facce del cubo sono completamente aperte.

2) *Dispositivo di « Restituzione » (ricostruzione)*. Il dispositivo (fig. 3) serve per la determinazione delle distanze vere di punti dell'oggetto fotografato, non accessibili a misure dirette, dando così il modo di risalire automaticamente dai due radiogrammi forniti dal primo dispositivo ai punti obiettivi che interessano, *nella loro vera posizione*.

Con procedimenti meccanici questo dispositivo riproduce esattamente la reciproca posizione degli elementi di presa (tubi röntgen e lastre) come si trovavano nel primo dispositivo al momento della presa.

Esso si compone di un robusto basamento sul quale appoggia un telaio riprodotto esattamente le parti essenziali del I° dispositivo, nelle stesse dimensioni e con analoghe scale graduate. Ai porta-chassis sono sostituiti dei porta-radiogrammi di vetro, in cui vengono posti i radiogrammi eseguiti col primo dispositivo e che si possono portare esattamente nella stessa posizione reciproca in cui si trovavano i porta-chassis al momento della presa. Ai portatubi sono sostituiti dei coni cavi, che si possono spostare opportunamente in modo che i loro vertici vengano a trovarsi esattamente negli stessi punti in cui nell'altro dispositivo si trovavano le sorgenti radianti al momento della presa, ciò che si ottiene ricorrendo alle scale graduate. Un sistema di fili, la cui tensione è regolata opportunamente, permette di realizzare meccanicamente nello spazio, materializzandoli, i *raggi visuali* che vanno da ognuna delle sorgenti radianti (vertici dei coni cavi) al radiogramma posto di fronte. I fili che congiungono quindi i vertici dei coni con due punti immagine corrispondenti dei due radiogrammi, si incontrano effettivamente in uno stesso punto, che corrisponde alla posizione esatta che occupava nell'altro dispositivo, al momento della presa, il punto dell'oggetto radiofotografato avente quelle due immagini.

Eseguendo la stessa operazione per due coppie di punti-immagine corrispondenti dei due radiogrammi, si possono materializzare nella loro vera posizione reciproca i punti obiettivi aventi rispettivamente quelle immagini, e, con l'ausilio di una riga graduata o di un compasso anatomico, misurarne la distanza.

Nella costruzione del dispositivo di « restituzione » sono anche utilizzati, per la stabilità del sistema di fili, i cosiddetti « punti nodali » che sono cioè i punti d'incontro della retta congiungente i centri di vista (vertici dei coni) con i piani delle lastre.

L'uso dell'apparecchio non richiede da parte del medico alcuna nozione matematica. La matematica è per così dire confinata dentro al congegno dei due dispositivi, i quali vengono a sostituire ogni operazione matematica che

altrimenti sarebbe necessaria per dedurre dalle coppie di radiogrammi il risultato desiderato. Il medico per procurarsi le misure obbiettive esatte che interessano ha solo da seguire con esattezza le istruzioni per l'uso dell'apparecchio.

All'apparecchio, di cui nelle figg. 2 e 3 sono riprodotte le fotografie (primo modello realizzato dell'apparecchio), sono state apportate delle utili modifiche, per eliminare un inconveniente che nell'uso clinico si presentava.

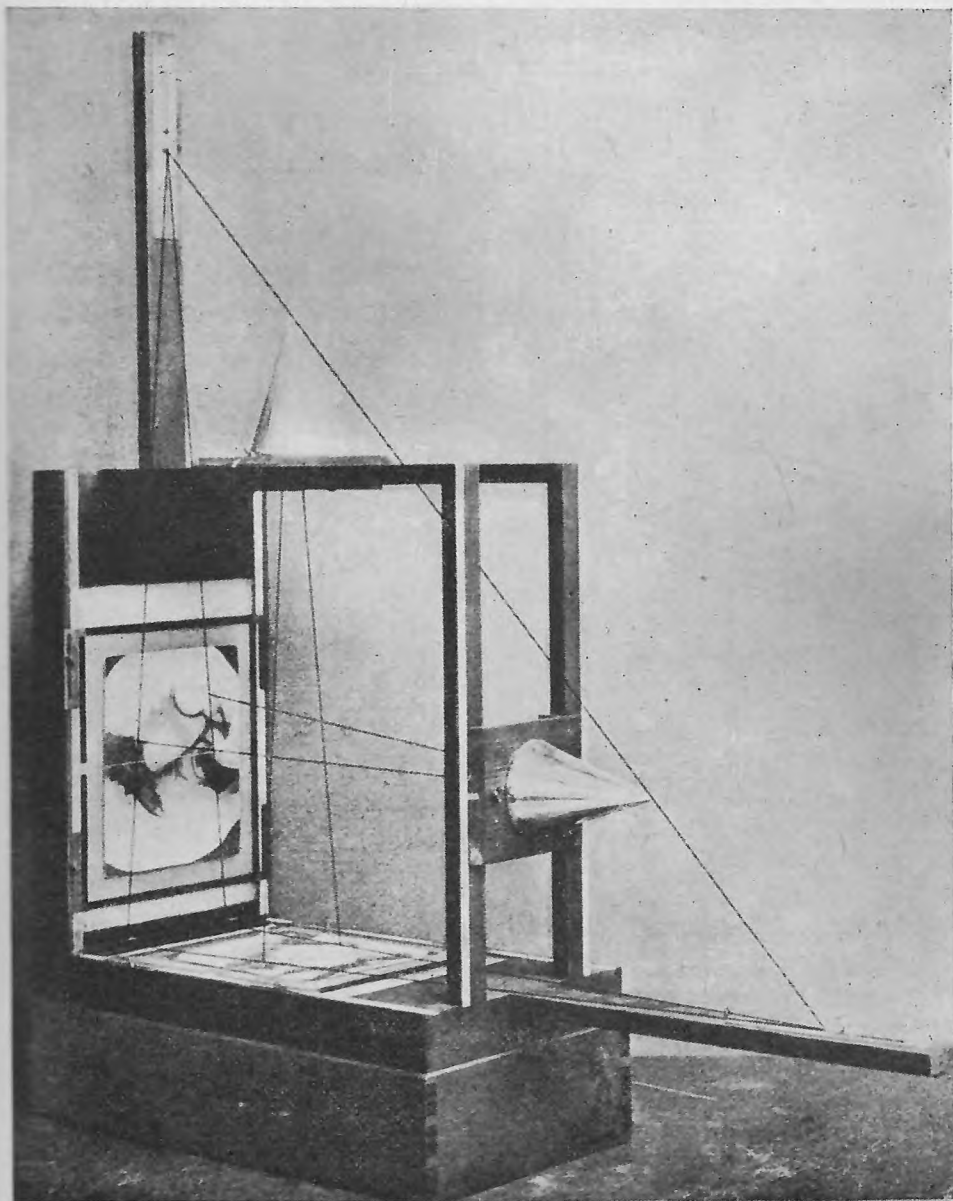


FIG. 3. - Dispositivo per la « restituzione » dei radiogrammi.

Infatti per l'uso del dispositivo di presa occorreva introdurre nell'apparecchio stesso in posizione conveniente l'individuo da radiografare e ciò se si tratta di ammalati non è sempre opportuno.

Il perfezionamento del metodo consiste nella modifica del dispositivo di presa in modo da poterlo applicare ad una barella supportata da un cavalletto di sostegno, oppure ad un comune letto radiologico di ospedale o di gabinetto radiologico, senza richiedere particolari cambiamenti ai letti ed alle apparecchiature attualmente esistenti.

Nelle figure seguenti è illustrata la suddetta modifica.

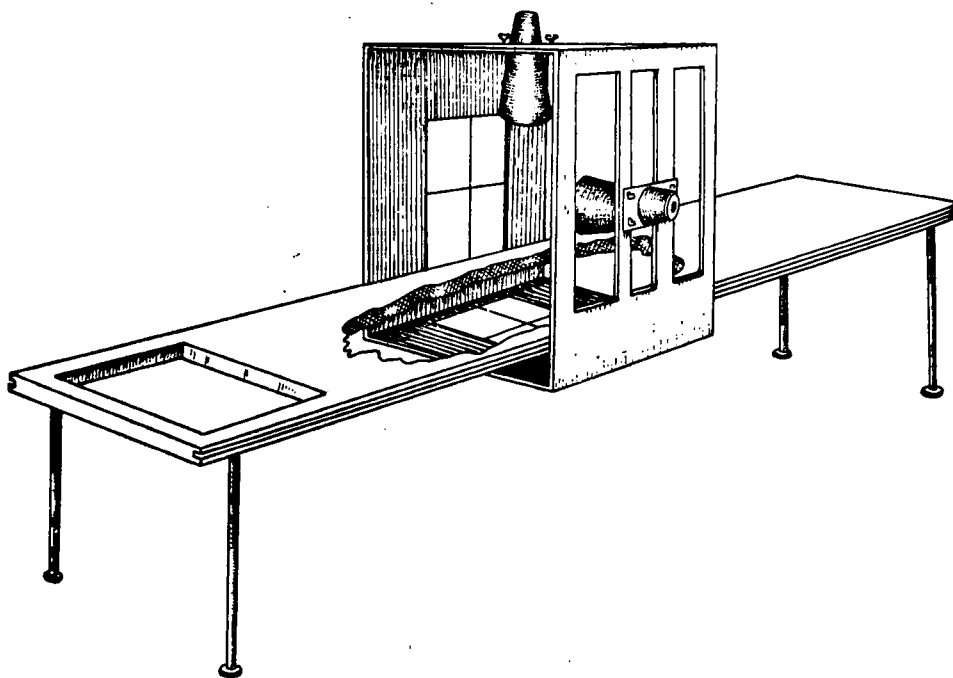


FIG. 4.

La fig. 4 rappresenta il dispositivo di presa che è sostanzialmente quello del primo modello (fig. 2), applicato ad un tavolo munito di guide laterali di scorrimento per lo spostamento del dispositivo stesso.

Al tavolo può essere sostituito un cavalletto di supporto per una barella su cui adagiare l'ammalato. La fig. 5 dà la sezione trasversale dell'apparecchiatura in tal caso.

La fig. 6 (che è anch'essa una sezione trasversale) si riferisce a una barella a telo lento che si dispone sostanzialmente a guisa di elemento cilindrico. In corrispondenza il dispositivo di presa è ruotato di 45° come è indicato dalla figura. Tale disposizione è resa possibile dal fatto che il cavalletto di supporto

è internamente vuoto e che il dispositivo di presa è munito di elementi di scorrimento adatti allo scopo.

Le prese fotogrammetriche si possono dunque effettuare con gli assi dei tubi disposti a 45° rispetto alla verticale, ciò che può riuscire utile per radiografare zone particolari del corpo umano, quali ad es. il bacino e il cranio.

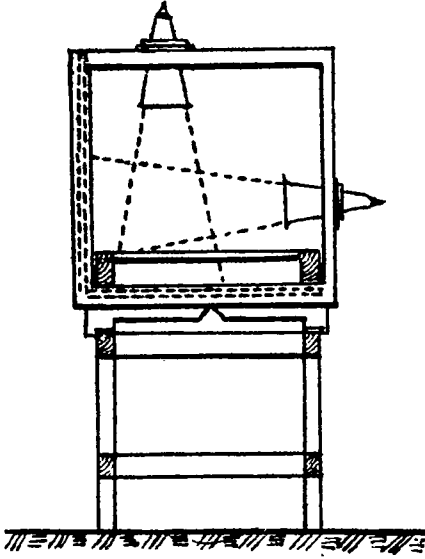


FIG. 5.

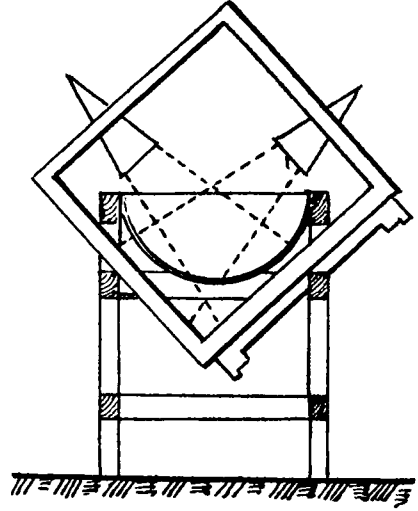


FIG. 6.

Invece di servirsi di barelle, i dispositivi a cui si è accennato possono essere adattati con semplici modifiche anche per l'impiego con un comune lettino radiologico del tipo normalmente in uso. È conveniente in tal caso il

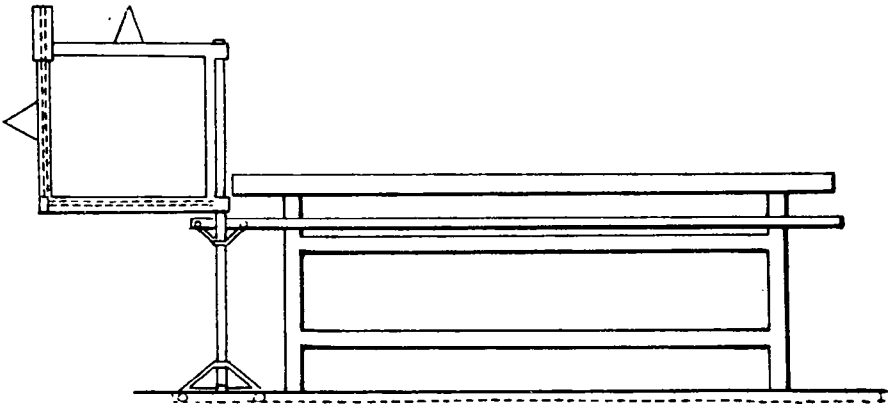


FIG. 7.

sistema di supporre steso sul lettino, ad una certa distanza da esso, un telo di sopporto del paziente ed in questo caso il dispositivo di presa, scorrendo, si porta con la faccia orizzontale, anziché sotto il lettino, sotto il citato telo.

Nella fig. 7 (sezione longitudinale) è illustrato tale adattamento.

II. — IDENTIFICAZIONE DI TRAIETTORIE DI PROIETTILI E MISSILI.

La Prof. Piazzolla-Beloch si è occupata pure del problema dell'identificazione di immagini omologhe di punti di una traiettoria ed ha ideato a questo riguardo un apparecchio, l'*Omolografo*, che dà la realizzazione del suddetto problema (1).

Esso è basato sul teorema dei punti nodali di Hauck (punti detti anche « *nucleari* ») ed utilizza la costruzione grafica relativa applicandola a due prospettive fotografiche, con prese della stessa distanza focale e *con assi ottici situati in uno stesso piano perpendicolare allo spigolo del diedro di presa*. Il diedro di presa può avere un'apertura qualunque, purché non troppo prossima a 0° oppure a 180° . (Le distanze dei punti principali dallo spigolo del diedro possono anche essere disuguali).

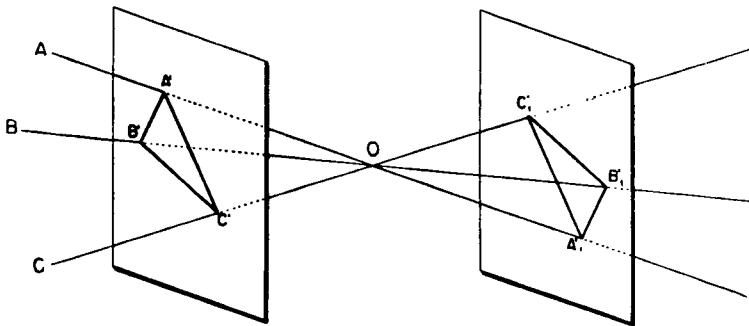


FIG. 8.

Per l'applicazione del metodo basta conoscere l'orientamento interno di ognuno dei due fotogrammi, dato dagli apparecchi di presa fotogrammetrici, e l'orientamento reciproco che caso per caso si dovrà determinare coi sistemi usuali; *non occorre la conoscenza degli altri elementi dell'orientamento esterno*.

L'« omolografo » non si serve delle immagini fotografiche poste nella posizione che occupavano al momento della presa, poiché in tale posizione si presenterebbero praticamente dei seri inconvenienti, ma porta le immagini, ciò che è lecito fare, in posizione simmetrica delle precedenti rispetto al centro ottico O (v. fig. 8), dove *A, B, C* sono tre punti obbiettivi e sulle lastre se ne

(1) M. PIAZZOLLA-BELOCH: *Identificazione strumentale di coppie di punti omologhi sulle immagini fotografiche delle traiettorie di proiettili e missili* (Rivista del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali, 1954).

hanno le immagini $A', B', C'; A_1', B_1', C_1'$ dove le due immagini sono figure inversamente uguali.

Ciò posto, siano α e β i piani di due immagini fotografiche, prese da due centri ottici O_1 e O_2 di uno stesso oggetto spaziale, e supponiamo che ognuna di esse sia collocata rispetto al relativo centro ottico come or ora si è detto, sia cioè posta tra il centro ottico e l'oggetto. Siano C_1 e C_2 i punti principali, φ l'angolo diedro formato dai piani α e β ; f la retta d'intersezione di questi piani (v. fig. 9). Siano poi N_1 e N_2 i punti nodali, intersezioni della retta $O_1 O_2$ rispettivamente coi piani α e β .

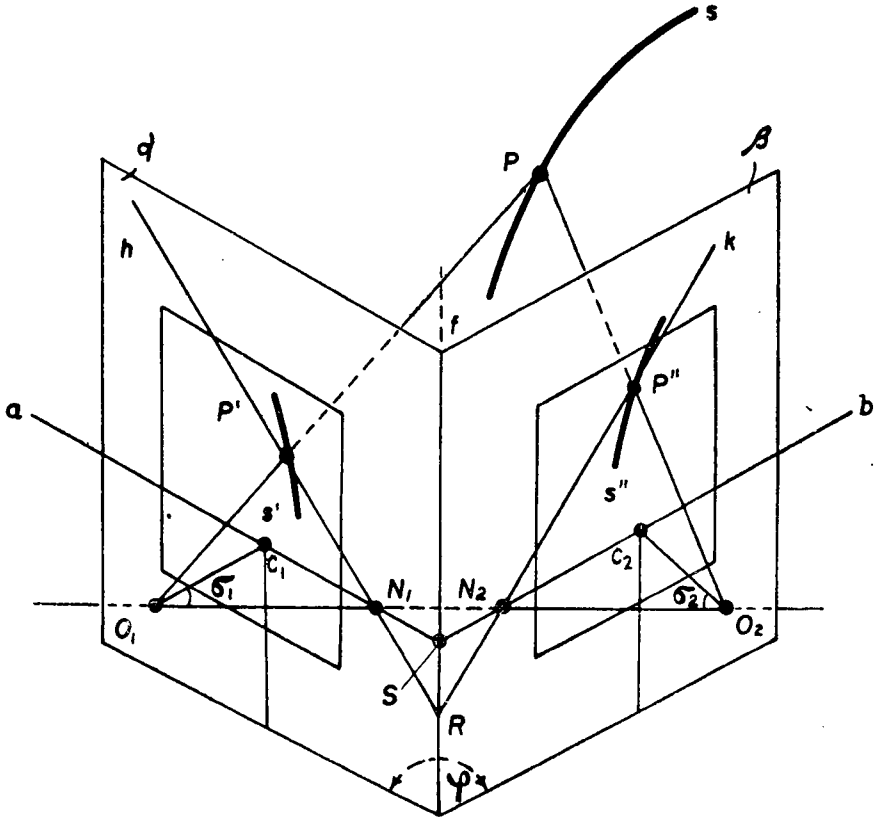


FIG. 9.

Se P' e P'' sono le immagini di uno stesso punto P dello spazio (v. fig. 9) per il Teorema di Hauck le rette (nodali) $P'N_1$ e $P''N_2$ si devono segare in uno stesso punto della retta f . Di qui segue la nota costruzione grafica per la identificazione di punti omologhi di due immagini di uno stesso oggetto spaziale, costruzione che l'apparecchio traduce meccanicamente nel modo seguente.

I due piani α e β sono costituiti semplicemente da due fogli piani di mate-

riale sufficientemente rigido e sottile, incernierati lungo un loro margine f (v. fig. 10).

Sopra questi due fogli α e β sono praticate due fessure normali a f , lungo le quali sono situate le guide graduate a e b , che si incontrano nel punto S di f . Sulle guide a e b sono scorrevoli due manicotti C_1 e C_2 da cui escono due aste graduate $C_1 O_1$, $C_2 O_2$, contenute nel piano a , b , e perpendicolari la prima ad a e la seconda a b . Un'asta g può esser fatta passare per O_1 e O_2 e verrà ad avere in comune con a e b rispettivamente i punti nodali N_1 e N_2 rappresentati da cursori scorrevoli lungo le guide a e b al variare dell'angolo diedro formato dai piani α e β , al cui variare varia anche la distanza $O_1 O_2$.

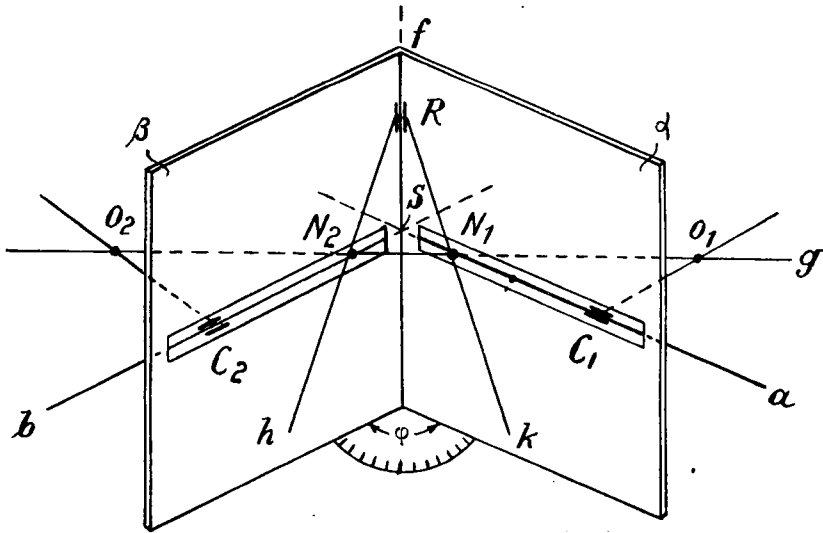


FIG. 10.

Sui punti nodali N_1 , N_2 sono imperniate le aste h e k situate rispettivamente sui fogli α e β , ed incontrantisi in un cursore R scorrevole lungo f .

Per il funzionamento dell'apparecchio si fanno dapprima ruotare i piani α e β intorno alla cerniera f fino a formare l'angolo diedro φ dato dall'orientamento reciproco dei piani delle lastre al momento della presa, poi (v. fig. 11) fissata ad arbitrio la posizione del punto C_1 sulla guida a (con cui si fissa per la distanza topografica di presa una certa scala) si muova l'asta g , che per il meccanismo dell'apparecchio non può uscire dal piano ab , intorno ad O_1 fino a formare con la retta $O_1 C_1$ l'angolo dato σ_1 ($C_1 O_1$ perpendicolare in C_1 ad a).

L'asta $C_2 O_2$ di lunghezza d ($= C_1 O_1$) si muoverà anch'essa mentre il suo estremo O_2 scorre lungo l'asta g , e l'altro suo estremo C_2 di conseguenza scorre lungo la guida b .

Quando l'asta g avrà assunto una posizione tale che essa formi con l'asta $O_1 C_1$ l'angolo dato σ_1 , la posizione assunta di conseguenza da O_2 , fornirà la

si presa $O_1 O_2$ in una certa scala e l'angolo che g formerà con l'asta $O_2 C_2$ sarà precisamente σ_2 (essendo $\sigma_1 + \sigma_2 = \varphi$).

L'asta g nella posizione assunta segnerà i piani α e β nei punti nodali N_1 e N_2 , che così saranno determinati.

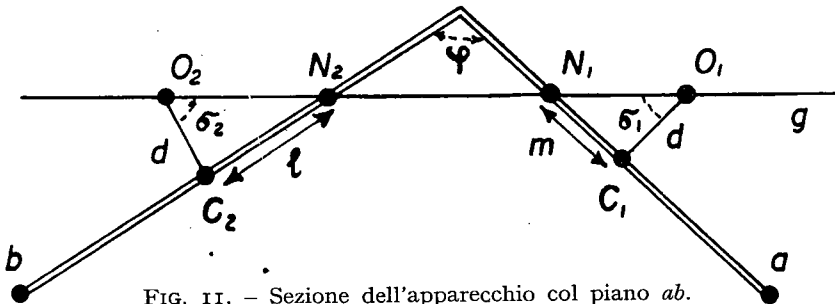


FIG. 11. - Sezione dell'apparecchio col piano ab .

Si osservi che le distanze l e m (v. fig. 11) dei punti nodali N_1 e N_2 dai rispettivi punti principali C_1 e C_2 dipendono soltanto dagli angoli σ_1 e σ_2 e dalla distanza focale d . Esse quindi non variano se si sposta C_1 sulla guida a con cui C_2 si sposterà automaticamente sulla guida b e g si sposterà parallelamente a se stessa.

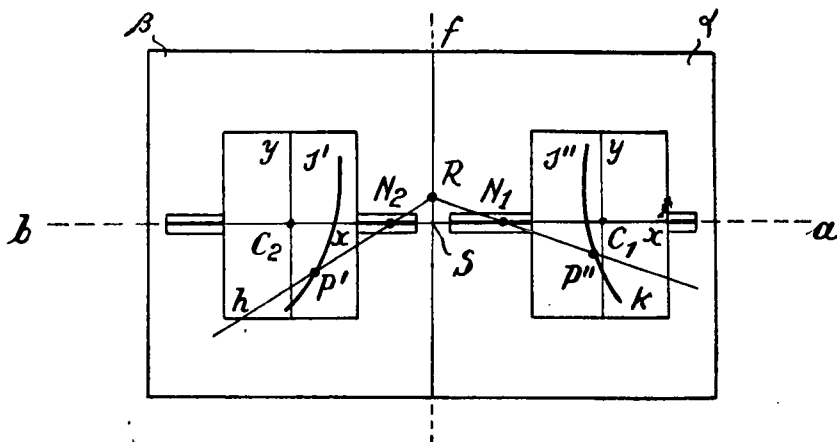


FIG. 12.

Si sfilino ora l'asta g , si ripieghino le aste $C_1 O_1$ e $C_2 O_2$ sulle facciate esterne dei fogli piani α e β , e si facciano ruotare questi piani intorno alla cerniera f fino a disporli in uno stesso piano come rappresentato schematicamente in figura 12.

Le guide a e b vengono così a disporsi lungo una stessa retta. Naturalmente l'apparecchio funziona anche con i piani ad angolo. La disposizione del diedro aperto viene prescelta solo per comodità.

Per evitare gli inconvenienti derivanti dalla presenza delle aste $C_1 O_1$ e

e $C_2 O_2$ sulle faccie esterne, è preferibile adoperare l'apparecchio dalla parte interna ed allora le immagini da adoperare devono corrispondere alla posizione che risulta dalla fig. 9, devono cioè essere inversamente uguali a quelle di normali positive fotografiche, quali possono ottenersi ad esempio stampando la negativa a rovescio.

Dopo aver eseguito le operazioni di cui sopra, si mettano a posto i due fotogrammi (di ognuno dei quali è noto l'orientamento interno, determinate coi soliti mezzi) applicandoli sui fogli α e β dalla parte interna del diedro ora aperto, e in modo che il punto principale di ciascun fotogramma cada rispettivamente in C_1 e in C_2 , e l'asse fotogrammetrico delle x cada per ognuno lungo la retta $a-b$ (come è disposto nella fig. 12) se non esiste sbandamento. Nel caso in cui vi sia invece sbandamento i fotogrammi si fisseranno secondo i dati che risultano dalla posizione delle lastre al momento della presa. Dopo di che i fotogrammi vengono fissati, nella posizione assunta, con un sistema adatto e l'apparecchio è pronto per l'uso.

Messi bene a posto i fotogrammi, per far funzionare l'apparecchio basterà far scorrere il cursore R lungo la retta f così da far passare l'asta h per il punto P' dell'immagine s' della traiettoria. Il punto omologo P'' sull'immagine s'' verrà dato dall'intersezione con l'asta k .

Si vede subito che l'identificazione dei punti omologhi delle due immagini non dipende dalla posizione del punto C_1 sopra a (né da quella assunta in conseguenza da C_2 sopra b) ossia è indipendente dalle dimensioni delle distanze topografiche della disposizione di presa.

Infatti in qualunque posizione vengano a trovarsi i due fotogrammi (rispettivamente sopra i piani α e β) è soddisfatto il teorema di Hauck, le rette nodali $N_1 P'$ nel piano α e $N_2 P''$ nel piano β , spostandosi parallelamente a se medesime, e due corrispondenti incontrantisi sempre in uno stesso punto di f per il meccanismo stesso dell'apparecchio.

Come già precedentemente osservato, per l'uso dell'apparecchio occorre conoscere soltanto l'orientamento interno dei fotogrammi e il loro orientamento reciproco. Esso è indipendente dagli altri elementi dell'orientamento esterno, e non è necessario che i piani α e β siano verticali. L'apparecchio infatti, come sopra osservato, si riferisce a prese tali che gli assi ottici stiano in uno stesso piano perpendicolare allo spigolo del diedro di presa. Le prese dunque possono essere state effettuate, oltre che da terra, anche da un veicolo in movimento (per es. aeroplano). L'apparecchio può dunque servire non soltanto nel caso del metodo classico della fotogrammetria terrestre, ma anche per la fotogrammetria aerea e metodi stereofotogrammetrici.

È poi evidente che, oltre per il problema particolare delle traiettorie di proiettili e missili, l'apparecchio può servire anche come ausilio e guida per l'identificazione di punti corrispondenti sulle immagini di oggetti qualsiasi, anche non lineari.