

# Il Tomografo Galileo-Santoni

*(Comunicazione presentata all'VIII Convegno della SIFET - Roma 1963)*

Ing. WALTER FERRI

Officine Galileo - Firenze

Com'è noto, i restitutori fotogrammetrici consentono una normale rappresentazione cartografica del terreno, ovverosia planimetria, punti quotati e curve di livello, con una completezza di dettagli praticamente irraggiungibile con i procedimenti classici. La precisione del procedimento, opportunamente commisurata al tipo di restitutore ed alle condizioni di lavoro, può raggiungere valori veramente notevoli.

Nelle prove di collaudo degli apparecchi restitutori di primo ordine, effettuate piazzando dei vetri reticolati di precisione al posto dei fotogrammi e formando con essi dei modelli fittizi, vengono a risultare errori medi planimetrici ed altimetrici dell'ordine di 4-5 centimetri per mille metri di quota relativa di volo. Questi valori vengono presso a poco raddoppiati usando i fotogrammi, e ciò per effetto della definizione fotografica dei particolari del terreno e più ancora per le piccole deformazioni del supporto dell'immagine e dell'emulsione stessa che si verificano durante i bagni di sviluppo. Per quanto riguarda queste deformazioni, dell'ordine di qualche centesimo di millimetro, riteniamo che possano essere prossimamente assai ridotte sia per via diretta che indiretta.

Comunque, anche nelle condizioni attuali, le carte tecniche aerofotogrammetriche hanno avuto in questi ultimi tempi vastissima applicazione sia per studi di bonifica irrigua che per progettazioni stradali.

Come è ben noto, tutte le fasi di lavoro necessarie ad una progettazione stradale si concludono in quelle direttamente legate ad un congruo numero di sezioni del terreno effettuate lungo l'asse, raffrontate alla piattaforma stradale ed ai suoi accessori laterali, onde fornire in definitiva gli importi di volume di scavo e di riporto, nonché tutti gli altri elementi topografici necessari alla progettazione delle opere murarie.

Il Tomografo (vedi fig. 1), di cui daremo in seguito una breve descrizione, è un dispositivo per disegnare che viene accoppiato ad un restitutore di prima categoria, nel nostro caso lo Stereocartografo IV Galileo-Santoni. Tale dispositivo consente, durante la stessa fase di restituzione cartografica, il tracciamento di quante si vogliano sezioni normali all'asse dei vari studi del tracciato e del progetto definitivo.

Caratteristica dello strumento è di realizzare il tracciamento della sezione a scala molto grande, dell'ordine di dieci volte e più la scala della rappresentazione cartografica della striscia di terreno a cavallo dell'asse di progetto. Ad esempio per rappresentazione cartografica al 2000 il Tomografo può tracciare le sezioni al 200 sia per le distanze orizzontali che per i dislivelli. Qualora si ritenga opportuno, la scala verticale può essere portata fino ad 1:100.

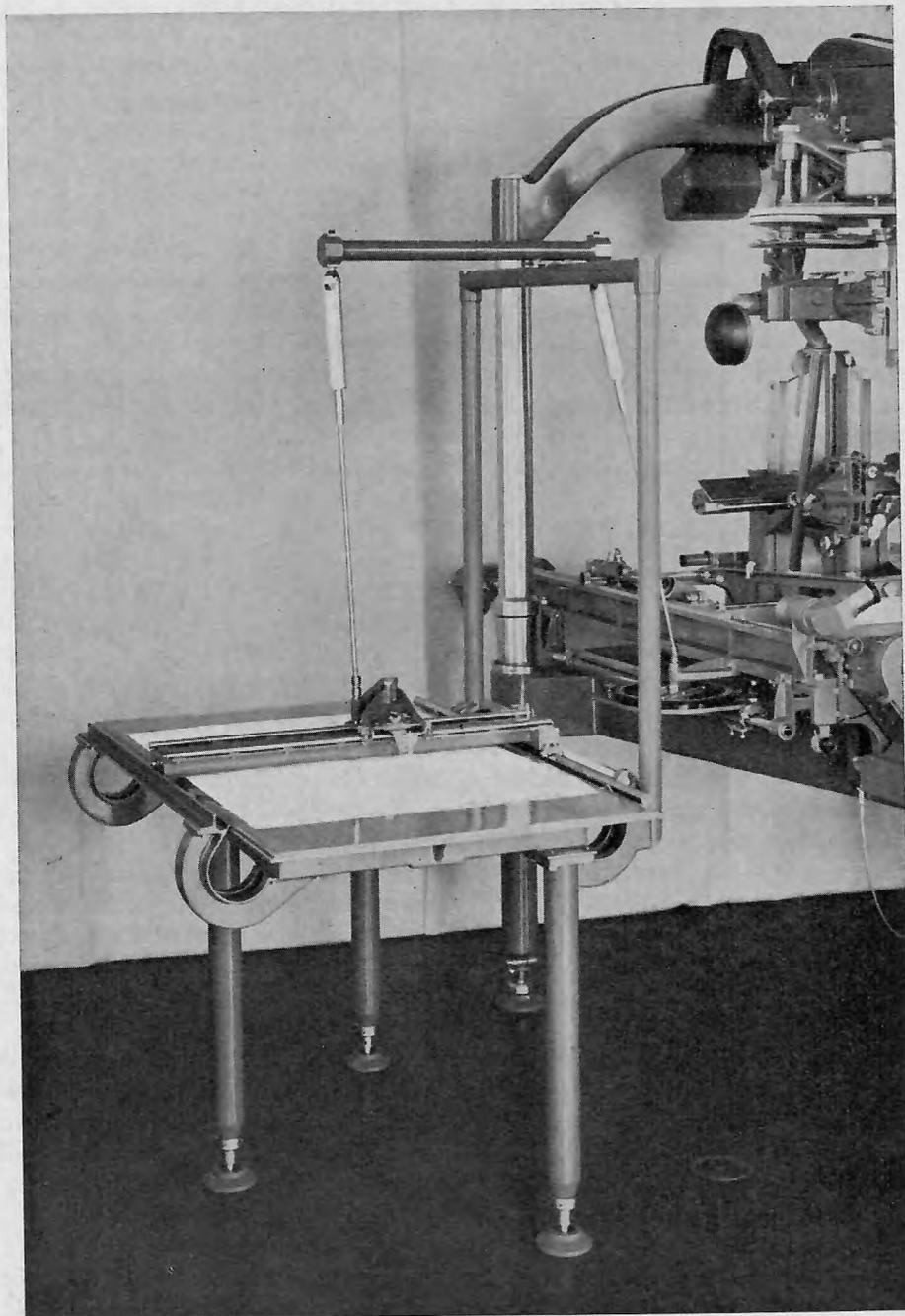


Fig. 1.

Un'altra particolarità dello strumento consiste nella possibilità di estendere la sezione per un grande tratto (100-150 m.) sia a sinistra che a destra del tracciato.

Il progettista ha quindi la possibilità di introdurre nel progetto variazioni notevoli, oltre che nel senso verticale modificando le livellette, anche in senso orizzontale. Una sagoma su supporto trasparente della piattaforma stradale con le pendenze tipo delle scarpate e dei muri di sostegno può essere facilmente sovrapposta al disegno della sezione durante l'evoluzione del progetto, che resta visualizzato in ogni istante.

D'altra parte i calcoli delle aree delle sezioni possono essere condotti in vario modo, e cioè mediante planimetri (polari od ortogonali) o mediante la misura grafica delle quote rosse, con risultati sempre soddisfacenti data la grande scala di rappresentazione.

L'uso del Tomografo come valido strumento sussidiario non è da escludersi neppure nel caso di progettazioni effettuate sulla base di rilevamenti fotogrammetrici numerici. Come è noto, la restituzione numerica sostituisce la rappresentazione grafica del terreno mediante la registrazione delle tre coordinate X Y Z di un congruo numero di punti del terreno medesimo.

Nel caso di progettazione stradale i punti risulteranno ovviamente disposti secondo sezioni a cavallo dell'asse della strada.

Per la fotogrammetria numerica il restitutore deve essere preferibilmente dotato di un registratore automatico delle dette coordinate provvisto di un perforatore di nastro in codice, collegato allo Stereocartografo IV, che può essere usato contemporaneamente al Tomografo.

In questo caso il Tomografo facilita la condotta del movimento combinato dei carrelli X Y del restitutore lungo la direzione prestabilita e può dare un segnale di intervallo fra i punti della sezione in corrispondenza dei quali debbano essere registrate le coordinate.

Può essere anche predisposta la registrazione delle distanze lungo la sezione, ad esempio in luogo della coordinata Y, il che semplifica i calcoli evitando le trasformazioni di asse.

Infine la notevole estensione ai due lati dell'asse dei punti rilevati, sia graficamente che numericamente, consente la facile introduzione in un calcolatore elettronico dei valori numerici corrispondenti alle quote rosse. Infatti dopo che il progettista avesse effettuato i ritocchi alle livellette ed al tracciato orizzontale (servendosi delle sezioni stesse e del profilo fondamentale tracciati dal Tomografo) potrebbe passare il programma di calcolo alla calcolatrice elettronica imponendo ad essa la lettura sul nastro dei soli valori interessanti la piattaforma stradale e gli accessori.

#### *Descrizione dell'apparecchio.*

Dopo aver illustrato lo scopo dell'apparecchio, comprenderne il funzionamento sarà più agevole.

La figura 2 mostra una vista generale del restitutore di 1° ordine, lo Stereocartografo IV, con alla destra il normale tavolo da disegno ed alla sinistra il Tomografo. In fase di restituzione sul tavolo di destra vengono rappresentate planimetria e curve di livello, mentre in ogni istante può essere letta sull'apposito contatore la quota del punto del terreno collimato stereoscopicamente.

Il Tomografo situato alla sinistra è destinato, come si è detto, al tracciamento delle sezioni.

Lo Stereocartografo IV, come del resto tutti gli altri strumenti Galileo-Santoni, in luogo dei volantini che comandano i movimenti separati dei due carrelli X Y, è provvisto di un comando unificato pantografico.

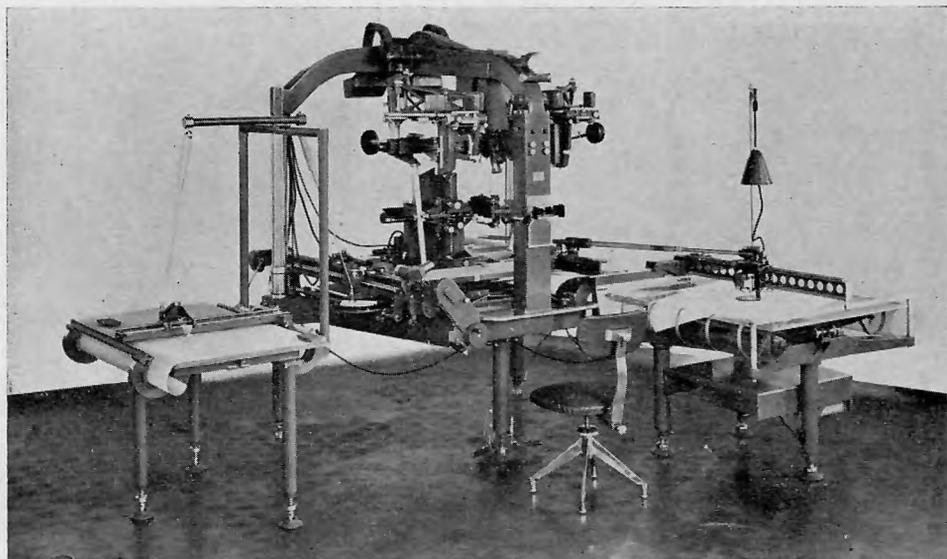
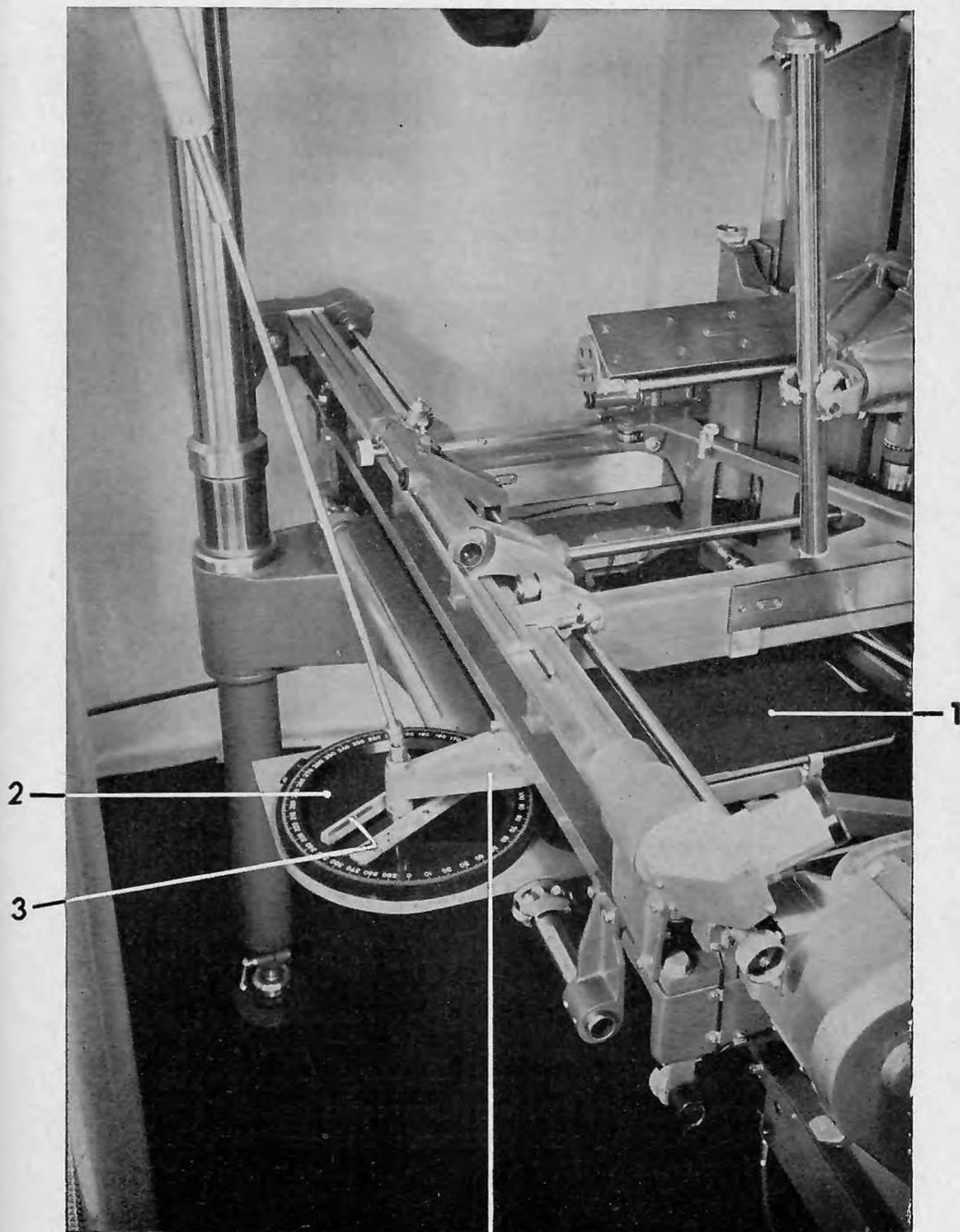


Fig. 2.

Poiché uno dei problemi principali per realizzare le sezioni del terreno comunque dirette è proprio quello di combinare opportunamente gli spostamenti dei carrelli X Y, risulta ovvio come la soluzione di questo problema sia notevolmente avvantaggiata da questo dispositivo di comando unificato. Per realizzare la direzione desiderata al di sotto dei normali carrelli X Y del restitutore è disposta una piastra di ferro, 1 fig. 3, portata da un proprio sistema di guide a croce che ne consentono il libero spostamento in piano pur conservandone l'orientamento. Collegato a questa piastra è un cerchio orientabile graduato, 2, che può essere bloccato dopo aver disposto la fenditura di cui è provvisto nella direzione nella quale si vuole effettuare la sezione. Dentro detta fenditura è alloggiato un doppio cuscinetto a sfere obbligato a scorrere tra le due guide, 3, situate lateralmente alla fenditura, ed un rocchetto dentato che ingrana in una cremagliera disposta anch'essa lungo la fenditura. Poiché l'asse del detto rocchetto e dei due cuscinetti è sostenuto da un supporto, 4, fissato ad una traversa immobile dello strumento, la piastra di ferro non può muoversi che nella direzione imposta alla feritoia.

Un innesto elettromagnetico azionabile a piacere impegna fra loro il secondo carrello X del restitutore e detta piastra venendo in definitiva ad obbligare il coordinatografo a spostarsi nella direzione prestabilita.



4  
Fig. 3.

Solidalmente con il coordinatografo si muove il cerchio graduato, inducendo, per mezzo della cremagliera, la rotazione del rocchetto prima detto. Questo rocchetto, a mezzo di assi a canocchiale, 5 fig. 4, e ruote dentate, fa muovere, con opportuna amplificazione, il carrello planimetrico, 6, del Tomografo.

Il movimento del carrello 7, a questo sottostante, quello cioè che segue la posizione altimetrica dei punti della sezione, è indotto dall'asse scanalato che comanda il carrello Z del restitutore, attraverso una scatola, 8, contenente il cambio dei rapporti di trasmissione, un'asta di collegamento, 9, ed una vite a passo rapido, 10.

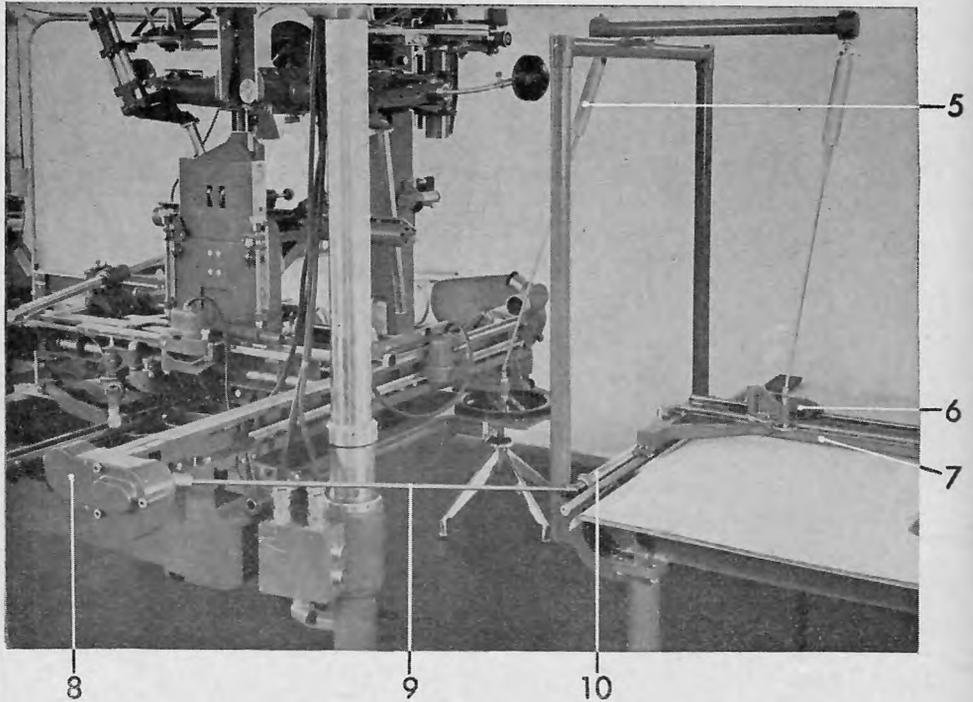


Fig. 4.

I movimenti combinati dei due carrelli riproducono il profilo della sezione misurata quando l'operatore, spostando i carrelli X Y lungo questa, mantiene la marca stereoscopica all'altezza del terreno muovendola in quota con il carrello Z.

Il lapis portato dal carrello superiore disegna con continuità il profilo suddetto. È inoltre possibile marcare i punti caratteristici onde facilitarne l'individuazione e la misura delle coordinate.

# Applicazioni di fotogrammetria numerica ai progetti stradali

*(Comunicazione presentata all'VIII Convegno della SIFET - Roma 1963)*

Prof. GIUSEPPE INGHILLERI

Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria del Politecnico di Milano

Occorre anzitutto definire bene il significato che si vuole dare in questo breve intervento alla locuzione « Fotogrammetria numerica ».

Si vuole intendere con Fotogrammetria numerica qualsiasi tecnica che conduce ad una determinazione puramente numerica del terreno, alla determinazione cioè delle coordinate di punti caratteristici che rappresentino il terreno, o di punti di cui comunque si vogliano le coordinate.

La Fotogrammetria numerica si contrappone cioè alla Fotogrammetria grafica essendo il prodotto di quest'ultima in generale un disegno.

La Fotogrammetria grafica è da lungo tempo a servizio dei progettisti stradali e, si può ben dire, ad onorevole servizio; questa tecnica fornisce le carte su cui i progettisti studiano i progetti di massima o quelli definitivi; la Fotogrammetria grafica è andata anche oltre ed è in grado di fornire ai progettisti stradali le sezioni del terreno, profili longitudinali o sezioni trasversali. Si possono ricordare a questo proposito tutti i dispositivi che i costruttori hanno applicato agli apparati restitutori per renderli atti al tracciamento di sezioni del terreno; il tomografo di Santoni è un valido esempio. La Fotogrammetria grafica non poteva però rivoluzionare le elaborazioni che accompagnano la progettazione delle strade, poiché essa si limita a sostituirsi al tradizionale topografo che lavora sul terreno.

L'impiego della Fotogrammetria numerica conduce invece per sua natura ad introdurre dei notevoli cambiamenti nelle tecniche delle progettazioni civili, specie se si considerano i vantaggi di economia e rapidità offerti dal calcolo elettronico. In una parola, la Fotogrammetria numerica consente la meccanizzazione di procedimenti di progettazione, altrimenti impossibile con la Fotogrammetria grafica.

I vantaggi sono evidenti se si tiene presente che i dati forniti dalla Fotogrammetria numerica sono per loro natura suscettibili di essere elaborati per via numerica, che questa elaborazione può essere meccanizzata e che i risultati possono equivalere ad una vera e propria progettazione.

Un esempio può chiarire meglio le cose. Supponiamo di dover fare uno spianamento di una certa porzione di terreno. L'operatore ha formato il modello del terreno, l'ha orientato sui punti noti e quindi ha provveduto a collimare ed a registrare le coordinate strumentali dei punti caratteristici. Alla fine del lavoro si è ottenuta una lunga lista di triplette di coordinate strumentali. La prima elaborazione numerica da fare, comunque necessaria, è di trasformare le coordinate strumentali in coordinate terreno. Fatta questa elaborazione viene spontaneo proseguire per via numerica, calcolare le quote rosse sui punti collimati, fare le medie, calcolare le aree dei triangoli di base ed ottenere, come prodotto finito, i dati

relativi allo spianamento. Sarebbe cioè antieconomico, non logico; sarebbe una perdita di tempo, non sfruttare con elaborazioni numeriche tutte le successive elaborazioni dei dati forniti dalla Fotogrammetria numerica; anzi si può dire che la Fotogrammetria numerica si applica con effettivo vantaggio proprio dove i procedimenti che la seguono possono continuare ad essere numerici.

Si può obiettare che tante volte, nelle elaborazioni necessarie per eseguire un progetto, vengono eseguiti anche dei disegni che, ad un primo esame, non sembrano suscettibili di essere fatti con la macchina elettronica.

L'obiezione cade però, ed il caso delle progettazioni stradali che esamineremo un po' più da vicino lo conferma, perché i disegni in genere sono intersezioni di rette, cerchi, curve, ecc., che si possono benissimo determinare unicamente a mezzo di numeri e di calcoli. È questo il concetto di disegno analitico, di cui daremo oltre qualche altra notizia.

Ma il vantaggio della Fotogrammetria numerica non è solo nelle possibilità di meccanizzare i procedimenti di progettazione, ha anche il vantaggio di fornire delle precisioni superiori a quelle della Fotogrammetria grafica, a parità di mezzi impiegati.

È facile dimostrarlo riprendendo in esame il caso dello spianamento.

Facciamo della Fotogrammetria grafica.

L'operatore ha formato il modello, l'ha orientato sui punti noti, ed ha restituito i punti caratteristici disegnando la loro posizione planimetrica e scrivendo accanto la quota; ha determinato così il piano quotato che servirà per il calcolo dello spianamento. A parte la quota, che, essendo un dato numerico, conserva la stessa attendibilità della quota determinata nel procedimento numerico, si ha un decremento di precisione nelle coordinate planimetriche dei punti. Queste sono affette infatti principalmente dall'errore di graficismo, e secondariamente da tutti gli errori inerenti il trasporto, con eventuale variazione di scala, del punto collimato sul modello a quello determinato dalla punta della matita del coordinatografo. Fra errore di graficismo ed errore di trasporto si può valutare ad almeno due volte l'incremento di precisione che a parità di strumenti e metodi impiegati la Fotogrammetria numerica presenta nei riguardi di quella grafica. Ciò conferma ancora la necessità di trattare analiticamente i dati forniti dalla Fotogrammetria numerica; è infatti evidente che trasformando elementi numerici in elementi grafici si verrebbe a perdere un notevole beneficio circa la precisione dei risultati, a meno di non appesantire notevolmente il lavoro di disegno.

Ciò posto, vediamo come la Fotogrammetria numerica può essere utilmente impiegata nel campo delle progettazioni stradali.

Come è noto un progetto stradale si articola, dal punto di vista dello studio del movimento delle terre, nei quattro elaborati: planimetria del tracciato, profilo longitudinale con livellette di progetto, sezioni trasversali e calcolo dei volumi di terra.

Nella elaborazione di un progetto stradale mediante il calcolo elettronico, l'opera del progettista stradale è strettamente connessa con quella del fotogrammetra e del calcolatore elettronico. In genere i tempi sono i seguenti:

*Studio del tracciato* — È di pertinenza del progettista stradale, il quale, me-

dante l'ausilio di carte a piccola scala, mediante ispezioni del terreno, ed osservazioni stereoscopiche dei fotogrammi, giunge alla determinazione di un asse stradale. Questo asse stradale va individuato sui fotogrammi, determinando su di questi i particolari fotografici che corrispondono ai vertici dei rettifili.

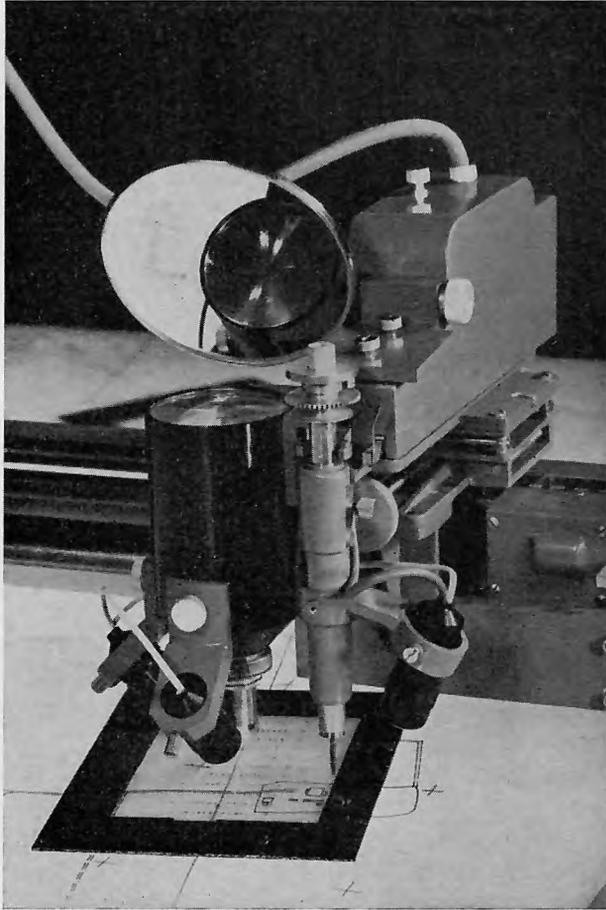


Fig. 1.

*Inquadramento dell'asse stradale* — Si costruiscono successivamente i modelli stereoscopici corrispondenti alla zona percorsa dalla strada, si orientano sui punti noti e si restituiscono graficamente i vertici dei rettifili; i rettifili vengono raccordati da archi di cerchio, con raggi indicati dal progettista, inserendo se necessario curve di transizione.

Questa fase di inquadramento dell'asse stradale rispetto al reticolato topografico può essere proficuamente eseguita anche determinando le coordinate dei vertici mediante restituzione analitica di tali punti.

*Rilievo del profilo longitudinale e delle sezioni trasversali* — Per questo rilievo sono necessari semplicemente un profiloscopio, ovvero un apparecchio che consenta di collimare con comodo punti determinati sul foglio da disegno posto sul coordinatografo, e delle lastre, in genere fotografiche, riportanti la traccia delle sezioni trasversali con i punti da rilevare, alla distanza voluta, ed alla scala della

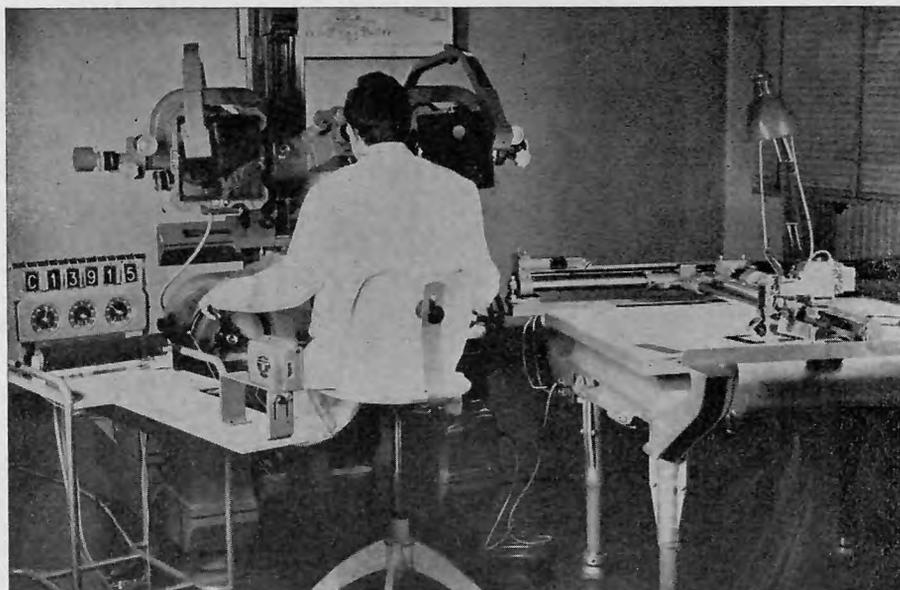


Fig. 2.

planimetria dell'asse. Data la facilità con cui tali lastre possono essere fatte, fotografando un disegno all'uopo fatto, si prepara in genere una lastra per ogni lavoro. I tratti riportati su queste lastre non hanno caratteristiche di precisione dato che servono solo come traccia all'operatore, e dato che la determinazione delle sezioni trasversali e del profilo longitudinale è puramente numerico.

La Wild e la Zeiss hanno costruito dei profiloscopi da applicare ai loro strumenti. La Zeiss ha anche costruito il « rechenprofile », ovvero un dispositivo che automaticamente determina la posizione dei punti lungo una sezione senza l'ausilio delle lastre di guida; all'operatore in questo caso non resta che mettere in quota la marca. Nella fig. 1 è visibile un profiloscopio da applicare sul « Beta » della OMI e costruito dall'Istituto di Topologia di Torino con una lastrina per la determinazione delle sezioni.

Il procedimento di rilievo contemporaneo del profilo longitudinale e delle sezioni trasversali avviene quindi alla seguente maniera.

L'operatore forma il modello, lo orienta assolutamente sui punti noti e registra le coordinate strumentali dei punti noti. L'asse stradale disegnato sul foglio da disegno viene così messo in relazione al modello.

La lastra della sezione viene messa lungo i rettifili o successivamente tangente