

L'IMPIEGO DELLA FOTOGRAMMETRIA NEL RILIEVO DI STRUTTURE E MODELLI

COMUNICAZIONE UFFICIALE AL XVIII CONVEGNO DI LUCCA
Giovanna Togliatti*

I. Introduzione

Sino a non molti anni or sono la cosiddetta « Fotogrammetria dei vicini » era considerata poco più di una curiosità o il frutto di exploits individuali in campi poco esplorati; le applicazioni erano limitate sia in quantità, sia in qualità: alcuni rilievi architettonici, la cui validità è del resto nota da molti decenni, qualche rilievo di incidenti stradali, qualche tentativo di applicazioni mediche e finalmente alcune applicazioni sporadiche in altri campi.

Fu al Congresso internazionale di Lisbona, cioè nel 1964, che si ebbe la sensazione di una tecnologia in serio sviluppo e della possibilità di svariate, organiche e veramente utili applicazioni della fotogrammetria alla soluzione di parecchi problemi di misura. I successivi Congressi e Simposi, nonché la letteratura specializzata, mostrano ormai che i metodi fotogrammetrici sono non solo utili, ma spesso i migliori e talvolta gli unici procedimenti a nostra disposizione per alcune specifiche applicazioni.

I costruttori, fiutato con il loro pronto intuito commerciale, l'interesse di un nuovo campo di sviluppo della Fotogrammetria, hanno prontamente collaborato con i ricercatori, mettendo a loro disposizione nuove apparecchiature, specialmente nuove camere da presa, poiché i vecchi fototeodoliti e le vecchie bicamere erano poco adatte in numerosi casi.

Questo fiorente sviluppo delle applicazioni non topografiche della fotogrammetria non è certo arrivato al suo culmine; probabilmente invece è solo agli inizi, alla ricerca di metodologie bene sperimentate e collaudate, di strumentazioni versatili ed applicabili in casi diversi.

Le relazioni di questo Convegno, anche se limitate come numero ed estensione, dovrebbero fare il punto sulle metodologie oggi usate, sui risultati conseguiti ed anche sulle difficoltà e le limitazioni talvolta severe che s'incontrano; dovrebbero servire a mostrare che la fotogrammetria può essere un metodo di misura di notevole precisione, che opera senza toccare gli oggetti da misurare ed ha flessibilità tale da essere impiegata nelle condizioni più disparate e finalmente che ad essa si può fare ricorso, entro limiti ben determinati, con assoluta fiducia ed economicità.

Il prof. Galetto e l'ing. Sena, vi parlano uno della strumentazione, l'altro dei rilievi architettonici; io vi intratterrò su altre applicazioni, che possono prendere genericamente il nome di « industriali » o « non cartografiche » della fotogrammetria.

* Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria del Politecnico di Milano.

Il campo è vastissimo e difficilmente delimitabile, per cui mi limiterò ad illustrare alcune delle applicazioni, quelle cioè che mi sono sembrate più importanti dal punto di vista pratico o più significative per lo sviluppo che possono avere. E cioè:

a) rilievi di strutture realizzate secondo determinati progetti, soggette a specifiche tolleranze, per verificare se la costruzione è stata eseguita a regola d'arte;

b) rilievo di prototipi di strutture, allo scopo di giungere ad avere gli elementi metrici necessari per la loro costruzione in serie, quando i prototipi non sono ottenuti da un preciso progetto, ma realizzati o modificati in modo empirico per soddisfare a determinate condizioni. Tipico di questo caso è il rilievo di prototipi di carrozzerie di automobili o di altri prodotti di « design »;

c) rilievo di modelli di strutture costruiti in scala ridotta per avere gli elementi metrici necessari alla costruzione dell'opera nelle dimensioni definitive; talora questo costituisce un passo intermedio prima di poter eseguire il progetto finale ed il calcolo statico;

d) misura di deformazioni di strutture o di modelli di strutture nel tempo. Occorre distinguere due casi ben diversi: nel primo le variazioni sono piuttosto rapide (ad es. prove di carico), per cui si può fare ricorso a metodi variazionali, ossia misurare direttamente gli spostamenti in un numero più o meno elevato di punti; nel secondo caso le misure sono così lontane nel tempo, ad es. alcuni mesi, da rendere spesso necessario il calcolo degli spostamenti come differenza tra le posizioni spaziali dei punti. I due casi sono molto diversi sia come metodologia, sia per le difficoltà che presentano, assai superiori nel secondo.

Ho tralasciato alcuni argomenti assai importanti, come quello dello studio degli oggetti in movimento, per non allungare troppo la relazione ed anche perché questo argomento è ben lontano da aver raggiunto una sistemazione operativa soddisfacente, anche se si sono ottenuti risultati assai promettenti.

Discutendo dei quattro problemi citati cercherò di indicare le modalità operative più opportune, le precisioni ottenibili e soprattutto illustrerò alcuni esempi di rilievi effettivamente eseguiti, poiché sono i più istruttivi ed anche meno noiosi delle disquisizioni teoriche.

II. Considerazioni generali

Prima di esaminare i vari casi elencati, sono opportune alcune considerazioni su problemi comuni a tutte le applicazioni che, salvo alcune eccezioni, sono di fotogrammetria terrestre.

Anzitutto notiamo che le distanze tra le camere e gli oggetti fotografati variano da meno di un metro a diverse decine di metri. Ciò pone una serie di problemi. E' evidente anzitutto che le camere da usare debbano essere diverse da caso a caso: quando si fotografa a brevissima distanza si possono, o si debbono, usare camere con piccola distanza focale; quando le distanze

sono grandi, poiché la precisione da raggiungere è sempre elevata, il ricorso a grandi distanze focali è imperativo. In alcuni casi si sono utilizzate addirittura camere balistiche. Quando la distanza è abbastanza grande, si possono usare camere fotogrammetriche adattate all'infinito, purché l'apertura dell'obiettivo sia sufficientemente ridotta; quando invece le distanze sono piccole, è necessario imporre una distanza principale superiore a quella focale: occorre cioè spostare l'obiettivo e allora si presenta il problema dell'orientamento interno, che, se ha poca importanza nei metodi variazionali, è fondamentale quando si devono determinare, e con grande precisione, le coordinate assolute dei punti. Ricordiamo che l'orientamento interno consiste di tre elementi e cioè la distanza principale, la posizione del punto principale e la distorsione. Anche questa ultima va tenuta presente, poiché varia insieme alla distanza principale. In alcuni casi si arriva sino a dovere determinare l'orientamento interno della camera per ciascuna presa.

In casi particolari, ad es. di prese a distanza molto ravvicinata, si ricorre all'impiego di camere non metriche, di cui si deve cercare di determinare l'orientamento interno; la distanza principale, non presenta eccessive difficoltà mentre il punto principale viene determinato con modesta precisione per la mancanza del riferimento costituito dalle marche.

Naturalmente anche l'orientamento esterno deve essere determinato con la massima cura; difficilmente lo si può considerare noto « a priori », cioè in base ai dati di posizionamento della camera; quasi sempre bisogna ricavarlo appoggiandosi a punti noti situati nella struttura stessa da rilevare o ad essa rigidamente connessi. Ciò richiede operazioni geodetiche di alta precisione, che in alcuni casi presentano non poche difficoltà.

Un elemento che influisce molto sulla precisione e quindi sulla difficoltà del rilievo è la profondità della struttura, ossia la variazione della distanza dalla base fotogrammetrica. Se questa distanza è costante, piccoli errori d'orientamento interno delle camere ed anche di convergenza dei loro assi hanno un'influenza modesta, se non trascurabile; se invece varia notevolmente (essa può raggiungere e superare il 30% della distanza media) tutti i piccoli errori di taratura e di orientamento esterno delle camere finiscono per avere un'influenza estremamente dannosa, tanto da rendere necessaria la restituzione separata per varie distanze.

Alcune volte il prodotto finale del rilievo è un disegno a curve di livello delle strutture; la restituzione è allora evidentemente analogica e non richiede segnalizzazione della struttura, se non nei punti d'appoggio per la determinazione dell'orientamento assoluto delle camere; è però spesso necessario, quando la superficie dell'oggetto è molto regolare ed uniforme, ricoprirla con grafite od altro materiale, in modo da rendere possibile l'osservazione stereoscopica. In molti casi invece il tracciamento delle curve di livello è troppo poco preciso, e si deve fare la restituzione per punti, che devono essere preventivamente segnalizzati. La scelta dei tipi, delle dimensioni e del numero dei segnali costituisce un problema che deve essere accuratamente studiato caso per caso; talvolta per aumentare la precisione e limitare l'effetto di deformazioni locali della emulsione fotografica, si ricorre addirittura a segnali multipli quali quelli illustrati nella fig. 1 [14].

A differenza della fotogrammetria aerea, si presenta spesso nelle applicazioni non cartografiche un altro problema, puramente operativo, ma importante per la buona riuscita del lavoro: la predisposizione di artifici o

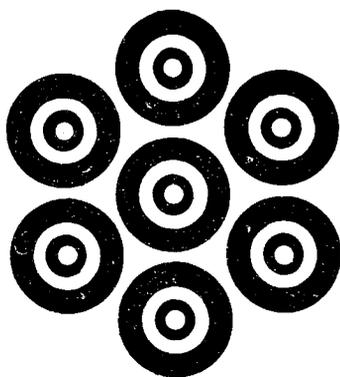


Fig. 1

dispositivi opportuni per la presa come torri, gabbie, sistemi di illuminazione, ecc. Si vedranno in seguito esempi di questo tipo.

Finalmente, quando il rilievo è per punti e la struttura è segnalizzata, bisogna scegliere tra la fotogrammetria analogica e quella analitica. Questa ultima richiede, non solo un comparatore od uno stereocomparatore, ma anche la preparazione dei programmi di calcolo, i quali devono essere piuttosto raffinati; in cambio presenta i vantaggi del metodo analitico, quali la possibilità d'introdurre senza errore gli elementi di orientamento interno della camera, la elevata precisione delle misure, che è bene siano ripetute più volte, flessibilità ed adattamento a qualunque condizione di presa. In realtà, tutte le volte che le esigenze di precisione sono particolarmente severe, il ricorso alla fotogrammetria analitica è assolutamente necessario.

Concludiamo queste osservazioni preliminari con una breve considerazione sulla precisione. L'errore medio richiesto nei punti restituiti varia entro limiti ampi, cioè da 0,1 mm a 10 mm; corrispondentemente variano però la distanza base-oggetto e la focale della camera per cui gli stessi errori medi riportati alla scala del fotogramma hanno variazioni enormemente minori, che possono essere valutate, grosso modo, da 1 a 3 anziché da 1 a 100. Tale errore medio varia infatti, a seconda dei casi, da $2 \mu\text{m}$ a $5 \div 6 \mu\text{m}$; difficilmente si possono accettare precisioni inferiori.

Come si vede, i rilievi in questione sono sempre, o quasi sempre, di precisione e di alta precisione spinte non di rado sino agli estremi limiti delle possibilità fotogrammetriche. Sono anzi questi limiti quelli che in alcuni casi condizionano l'applicabilità del metodo fotogrammetrico ed è dal loro superamento che ci si può attendere una applicazione ancora più estesa della fotogrammetria al rilievo delle strutture industriali.

III. Rilievi di tipo a)

Vediamo ora alcune applicazioni di fotogrammetria non cartografica dei tipi precedentemente elencati. La selezione di esempi è forzatamente molto limitata, ed è stata scelta soprattutto in vista di fornire idee sui problemi che si possono porre, sulle procedure e sulle precisioni.

Nel gruppo di esempi *a*) sono dunque stati raccolti tutti i lavori fatti per controllare se un determinato oggetto già costruito ha la forma che il costruttore intendeva dargli secondo il progetto.

1 - Vediamo come primo caso il rilievo di una sonda ionosferica di 25 m di diametro eseguito dall'I.G.N. a Mende (fig. 2a) [1]. La sonda è rotabile intorno ad un asse orizzontale e si sono voluti determinare gli spostamenti rispetto alla forma teorica in tre posizioni distinte, ossia con inclinazioni

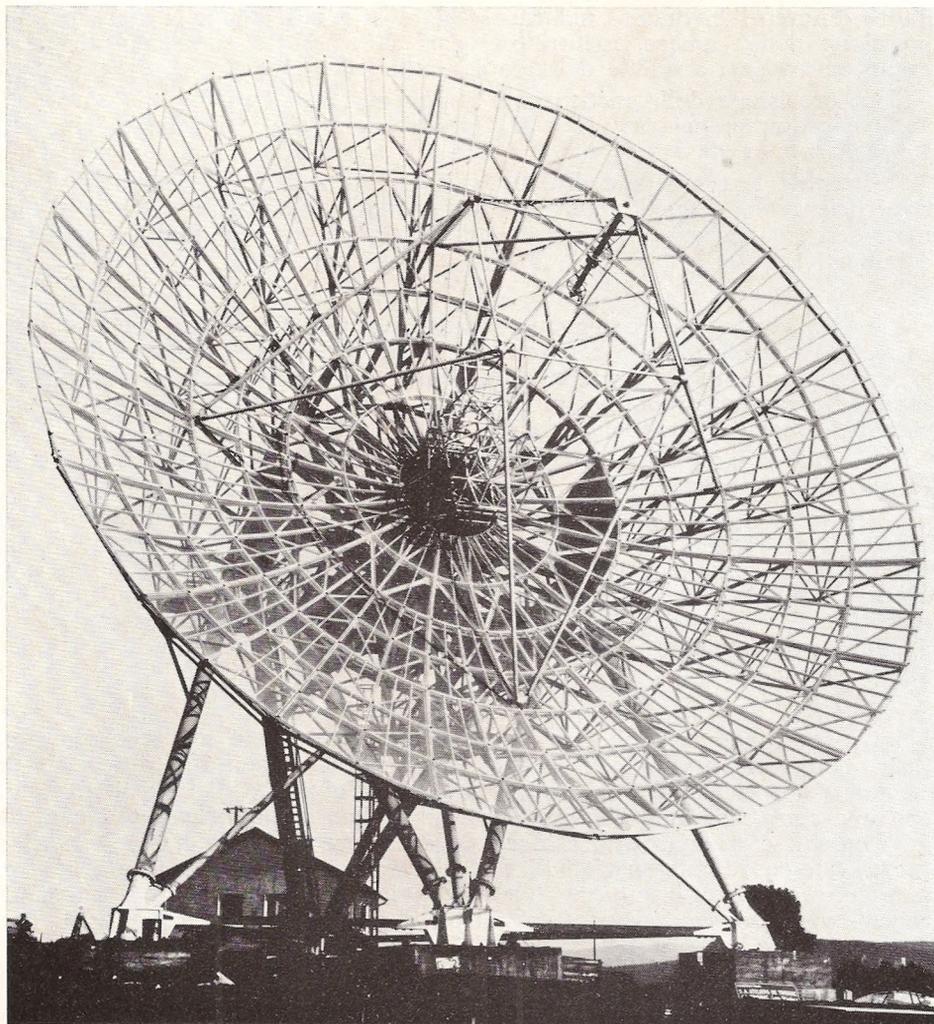


Fig. 2a

rispettivamente di 23° , 56° e 90° rispetto all'orizzontale (fig. 2 b). A tale scopo si sono segnalizzati 720 punti sulla struttura dipingendo le teste dei bulloni delle giunture. Di 9 di questi in posizione I e di 7 punti a terra si sono determinate e coordinate rispetto ad un opportuno sistema di riferimento con triangolazione geodetica la cui precisione (spaziale) varia fra 0.15 e 0.7 mm.

Le prese in I^a posizione sono state fatte con una camera balistica, $f = 300$ mm, formato 19×19 ; in II e III posizione si è invece utilizzata per la presa una camera Zeiss UMK, $f = 100$ mm montata su di un elicottero con dispositivi antivibranti (fig. 2c).

Per i calcoli si è sempre utilizzata la fotogrammetria analitica con modalità differenti in quanto nel caso I oltre ai punti d'appoggio era nota la posizione delle camere, mentre nei casi II e III le condizioni di presa erano equivalenti a quelle della fotogrammetria aerea.

La precisione della restituzione risulta nel caso I di $0.4 \div 1$ mm nelle varie coordinate; nei casi II e III la precisione delle coordinate riportate a scala lastra è di $5 \div 8 \mu\text{m}$.

Ottenute le coordinate di 720 punti si è proceduto al confronto fra la superficie reale e quella teorica, riscontrando scostamenti di circa 1 cm, nettamente superiori alla precisione delle misure e quindi ampiamente significativi.

2 - Un lavoro apparentemente analogo realizzato però con modalità operative e di calcolo diverse è stato eseguito dal Dr. Löfström per determinare gli scostamenti fra la forma di un'antenna speculare per comunicazioni da satellite e radio astronomia, di diametro 4 m e 60 cm di profondità, e la superficie teorica paraboloidica [2].

L'antenna sarebbe stata collaudata solo se la tolleranza per tali scarti fosse risultata inferiore a ± 2 mm.

Anche in questo caso sulla superficie sono stati distribuiti 86 punti costituiti da segnali neri di diametro 6 mm e di 4 di essi distribuiti sulla circonferenza sono state misurate le coordinate con misure dirette e $\sigma = 0,7$ mm. Le foto sono state prese con una stereocamera Zeiss, $f = 60$ mm, formato 9×12 e base = 1.20 m, da due stazioni di presa una a destra ed una a sinistra dell'antenna, e due diversi tipi di presa, uno a base orizzontale, l'altro verticale.

Le coordinate lastra sono state misurate con uno stereocomparatore Zeiss, con 3 collimazioni per punto. Il calcolo delle coordinate spaziali dei segnali è stato affidato ad un programma dell'Università di Helsinki il quale, con una compensazione per fasci proiettivi, determina contemporaneamente gli elementi d'orientamento esterno delle camere (φ , ω , x ; X, Y, Z punti di presa) e le coordinate spaziali X, Y, Z, di una parte degli 86 segnali, per non aumentare troppo il numero delle incognite. Le coordinate dei rimanenti segnali vengono successivamente calcolate per intersezione una volta noto l'orientamento esterno delle camere.

Lo scostamento medio fra l'antenna ed il paraboloide è risultato $\sigma = \pm 0.9$ mm e solo in 4 punti esso ha raggiunto 2 mm, soddisfacendo quindi alle norme di collaudo.

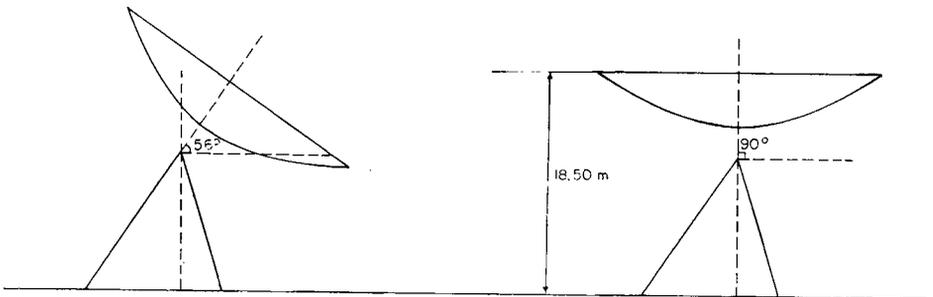
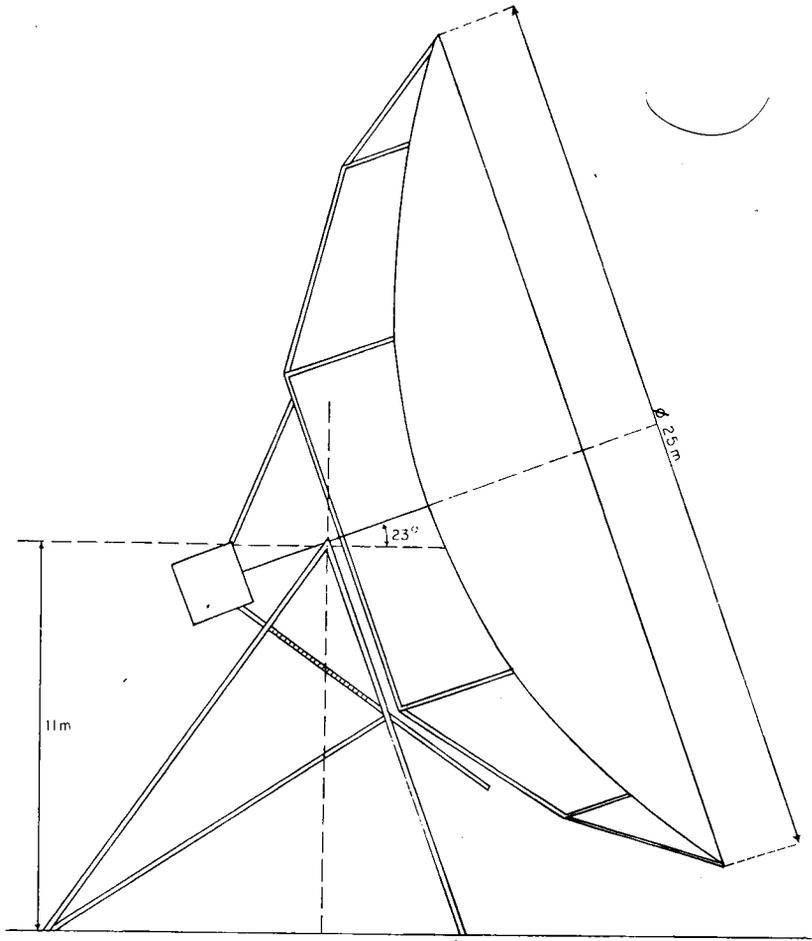


Fig. 2b

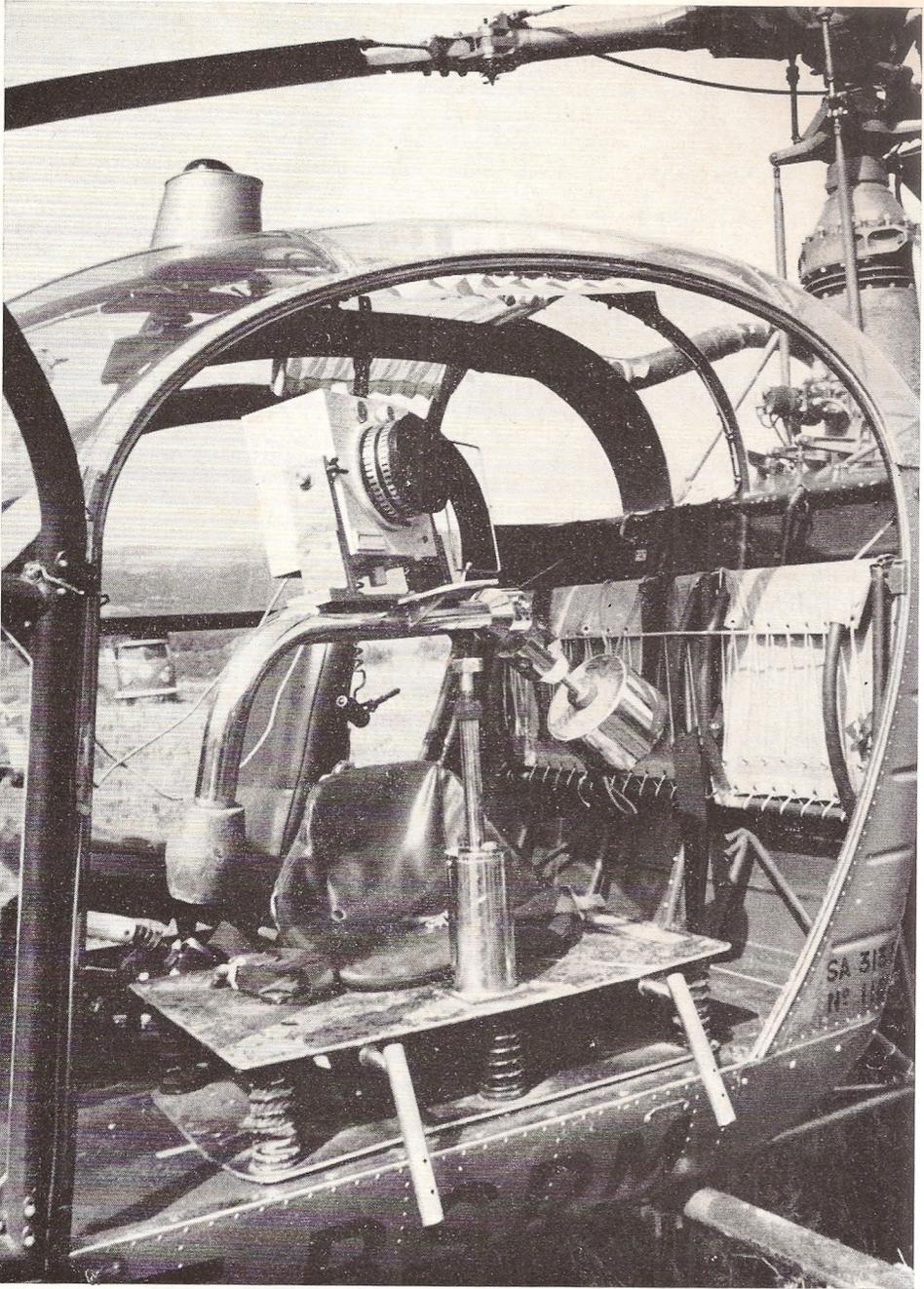


Fig. 2c

3 - Vediamo adesso un altro tipo di applicazioni, sempre della categoria *a*) e precisamente il rilievo di due pale da turbine della Electricité de France di Grenoble [3], di dimensioni $2.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ circa. In fig. 3 sono visibili i punti segnalizzati sulle pale opache con pasticcine bianche, in ragione di 50 il metro quadrato; alcuni degli 11 segnali girevoli e costruiti in modo che la loro posizione rimanga costante entro 0.1 mm , che forniscono un unico sistema di riferimento per le foto di entrambe le facce delle pale; un secondo tipo di punti d'appoggio, ciascuno costituito da 4 mire, 10 dei quali sono stati fissati su ogni faccia di ogni pala; una stadia in invar da 6 m da utilizzarsi per la messa in scala del modello insieme alle coordinate di tutti i predetti punti d'appoggio misurate direttamente con uno s.q.m. di $0.15 \div 0.20\text{ mm}$.

Le prese sono state fatte con camera Zeiss TMK, $f = 60\text{ mm}$ ed assi convergenti, base di 5.30 m , distanza camera-oggetto di circa 5 m ; le misure con un monocomparatore.

In questo caso il costruttore aveva dato le coordinate che alcuni punti delle pale avrebbero dovuto avere secondo il progetto. Tali dati sono stati utilizzati per calcolare la traslazione e variazione di scala che meglio li portava a coincidere con gli stessi punti rilevati fotogrammetricamente: la variazione di scala è insignificante, i residui sono piccoli in x , y , mentre

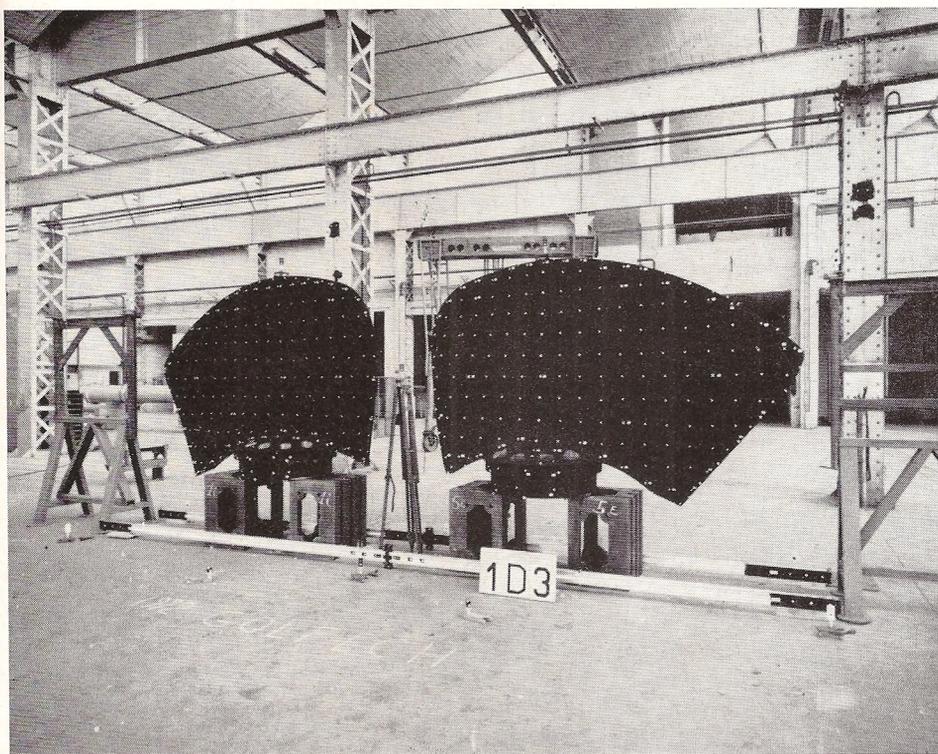


Fig. 3

in z raggiungono 1.8 mm. A questo punto, per poter confrontare il rilievo con il progetto che era conosciuto sotto forma di un doppio reticolato (uno per faccia) a maglie equispaziate, con vertici non coincidenti con i punti segnalizzati, è stata interpolata su tutti i punti restituiti una superficie $z = f(x, y)$ di 6° grado: i residui rispetto a tale superficie sono in media di 1,5 mm, ossia dell'ordine di grandezza degli errori in z . L'equazione della superficie è poi servita per calcolare le coordinate dei vertici del reticolo da paragonare con quelle di progetto; le differenze trovate sono dell'ordine di alcuni mm, solo eccezionalmente raggiungendo il cm. Contemporaneamente si sono anche potute valutare le discordanze fra lo spessore reale e quello teorico.

4 - Per contro, un'altra serie di studi su pale di turbine idrauliche di tipo Kaplan, Francis o ad eliche riguarda non solo le deviazioni da una forma stabilita ma anche il collegamento con l'asse di rotazione. Ciò ha richiesto, prima di prendere le fotografie, tutta una serie di accorgimenti per posizionare la pala sul suo appoggio rispetto al sistema degli assi di riferimento, quello stesso sistema, ovviamente, nel quale sono determinati i punti d'appoggio.

La tolleranza per le deviazioni dal progetto è, nel caso riportato in [4], di ± 2 mm nelle zone più sottili della pala e leggermente più elevata nelle zone più spesse. Le dimensioni della pala sono di qualche metro con profondità di qualche decimetro. Un dettaglio curioso è che, volendo fare una restituzione analogica con restitutore Poivillier in scala $1/10 \div 1/15$ (sia a curve di livello sia con oltre 100 punti sparsi sul modello), la possibilità di visione stereoscopica è stata migliorata proiettando sulla pala, durante le operazioni di presa, una trama fotografica fatta a pelle di leopardo che evidentemente dà alla superficie della pala un aspetto tutto maculato.

Le foto sono state scattate da una distanza di 3 \div 5 m con una camera metrica I.G.N., $f = 125$ mm, formato 19×19 , apertura molto ridotta ($f : 32$), assi normali, rapporto di base 0.6.

Va notato che con tali condizioni di presa le pale occupano solo una piccola parte dei fotogrammi, cosa d'altronde che capita abbastanza spesso

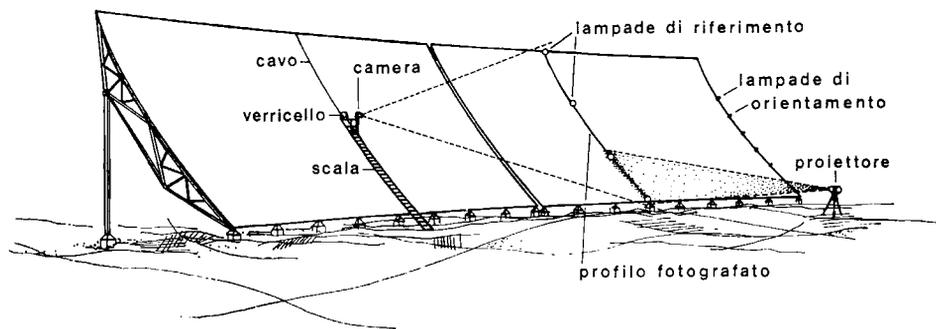


Fig. 4a

quando gli oggetti da rilevare hanno piccole dimensioni. In questi casi se i punti d'appoggio sono situati sull'oggetto, si va incontro all'inconveniente di dover effettuare l'orientamento assoluto su di una ristrettissima porzione della zona di ricoprimento di due fotogrammi. Il problema è stato risolto costruendo intorno alla pala una gabbia metallica, che serve come supporto per i punti noti, sufficientemente grande per ricoprire quasi l'intero modello.

5 - Una concezione del tutto diversa sta invece alla base del rilievo dei profili di due riflettori di onde centimetriche [5]. Il primo (fig. 4 a) dovrebbe avere la forma di un toro parabolico, dimensioni $100 \text{ m} \times 30 \text{ m}$. Si tratta anche in questo caso di valutare gli scostamenti tra la superficie reale e quella teorica, il che viene però ottenuto determinando l'andamento di 15 sezioni meridiane piane materializzate da un proiettore a fessura che illumina sulla superficie una striscia di larghezza $10 \div 20 \text{ cm}$; per ricoprire i 30 m di altezza del riflettore è necessario disporre il proiettore con tre inclinazioni diverse, come da fig. 4 b. Su ognuno dei 15 profili sono state fissate delle lampadine, e le coordinate dei centri dei bulbi erano determinate da terra. Siccome si dovevano restituire linee piane, fotografate ciascuna da una sola posizione della camera, si è ricorsi al raddrizzamento analitico; i bulbi delle lampadine erano i punti noti che hanno permesso di calcolare gli elementi della omografia che fa passare dalle coordinate lastra di un notevole numero di punti misurati al comparatore, alle coordinate oggetto.

In fig. 4 a si vede schematizzata la posizione della camera all'atto della presa di uno dei profili illuminati. La camera utilizzata è quella I.G.N. precedentemente vista, $f = 125, 19 \times 19$, alla quale con un reticolo ed una livella si dava un orientamento esterno approssimato per avere $\chi = \omega = 0$. Lo

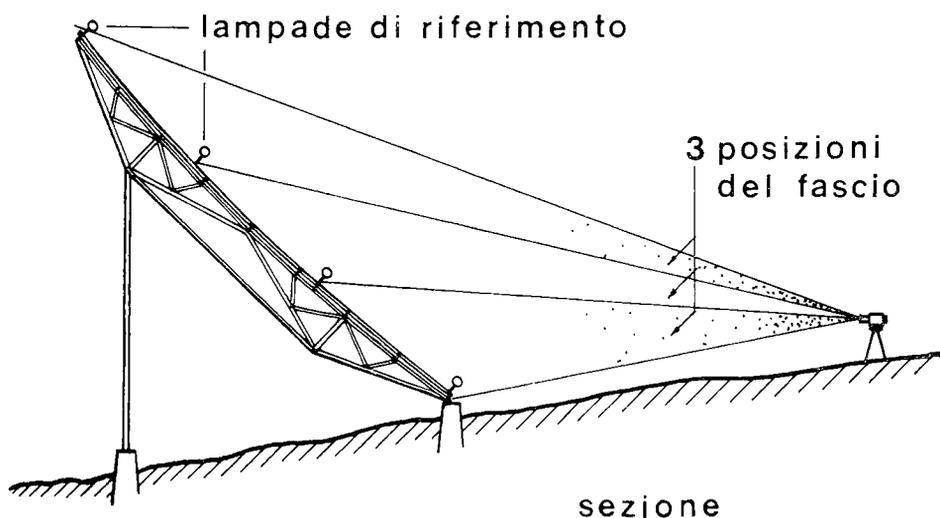


Fig. 4b

schema delle prese dei 15 profili è dato in fig. 4 c e, a seconda della distanza profilo-camera, la scala dei fotogrammi varia da 1 : 150 a 1 : 375.

L'ampiezza della fessura luminosa veniva variata in modo che, sulla lastra, l'immagine del profilo risultasse di ~ 0.1 mm. In ogni profilo si sono misurate le coordinate di 100 punti, determinando quindi gli scostamenti rispetto alle coniche teoriche, normalmente al profilo stesso.

Nel secondo riflettore, a forma di cilindro ellittico, dimensioni $12\text{ m} \times 17\text{ m}$ (fig. 4 d) la procedura è stata esattamente la stessa salvo che non è stato necessario sollevare la camera: le prese hanno potuto essere fatte da terra ed una sola inclinazione del proiettore è stata sufficiente per illuminare tutto il profilo.

Per quel che riguarda le precisioni, si ha per le coordinate delle lampadine uno s.q.m. di posizione non superiore a 2 mm (valore piuttosto alto dovuto al fatto che il centro della lampada è mal collimabile); per la collimazione del profilo sulla lastra è stato stimato uno s.q.m. di $10\ \mu\text{m}$, mentre la precisione media dei punti restituiti è stata stimata nettamente superiore ad un centimetro. Le deformazioni trovate sono dell'ordine di 2 cm, ma, cosa molto importante, i diagrammi dei profili sono molto regolari.

6 - Passiamo adesso all'ingegneria civile con il controllo delle norme di costruzione della torre Maine-Montparnasse (fig. 5) che nello stato di avan-

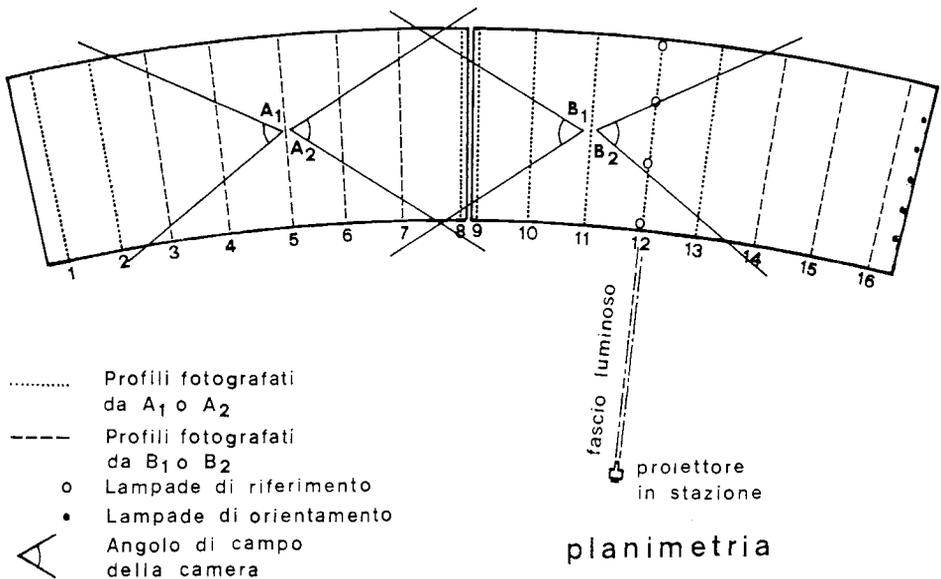


Fig. 4c

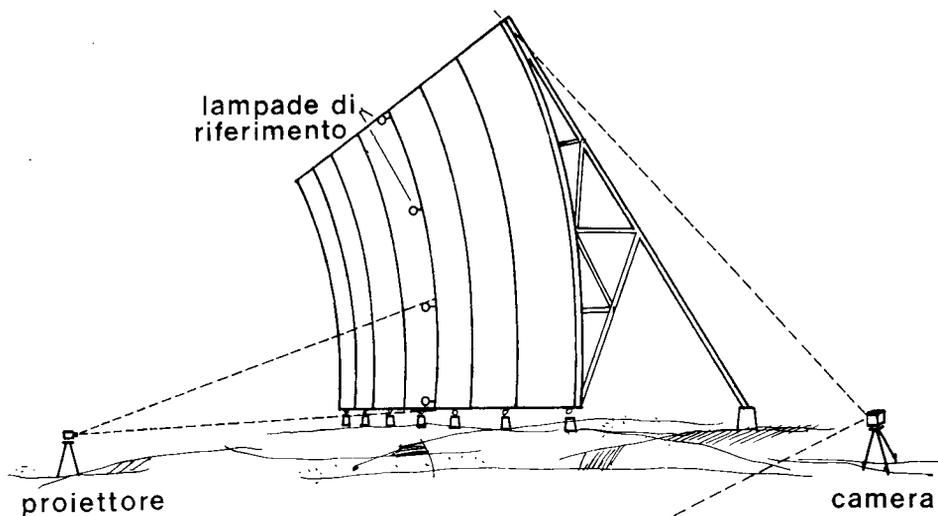


Fig. 4d

zamento lavori in figura è alta già un centinaio di metri su di una larghezza di 40 m.

Si richiedeva di controllare la verticalità e la posizione delle finestre con $\sigma < 3$ mm. Per ottenere questa elevata precisione vedremo come si è fatto ricorso a strumentazione apposita ed alle tecniche più raffinate [6].

L'altezza della torre ha costituito un problema soprattutto perché, essendo essa situata in un'area già fittamente costruita, non era possibile allontanare i punti di presa di oltre 60 ÷ 70 m. Tali punti di presa sono stati per necessità situati sui tetti di edifici antistanti ad un'altezza di 30 ÷ 40 m e ad una distanza uno dall'altro di 80 m. La triangolazione d'inquadramento comprende 3 vertici a terra e 3 sui tetti, questi ultimi collegati con i punti di presa ed ha una precisione $\sigma = 0.5 \div 0.8$ mm. Inoltre, sono stati triangolati 30 punti sulla facciata la cui segnalizzazione, con segnali a 3 mire, era stata fatta in precedenza, via via che la costruzione cresceva. Ritroviamo quindi qui un altro esempio di utilizzazione di segnali a più mire, già visto in precedenza per le pale da turbine di Mende, il cui scopo, più che di aumentare il numero delle collimazioni, è quello di mediare irregolarità locali dell'emulsione.

Le fotografie sono state prese con due camere balistiche, $f = 300$ mm, calibrate in precedenza con molta cura, dato che in questi rilievi di elevata precisione la conoscenza dell'orientamento interno è fondamentale. Si è riscontrato difatti che la distorsione era molto alta, fino a $140 \mu\text{m}$, e, soprattutto, asimmetrica: essa è stata perciò introdotta nei calcoli di restituzione analitica sotto forma di una curva media data da un polinomio di 5° grado, constatando a posteriori che l'asimmetria era stata praticamente riassorbita dall'alto numero di punti di controllo.

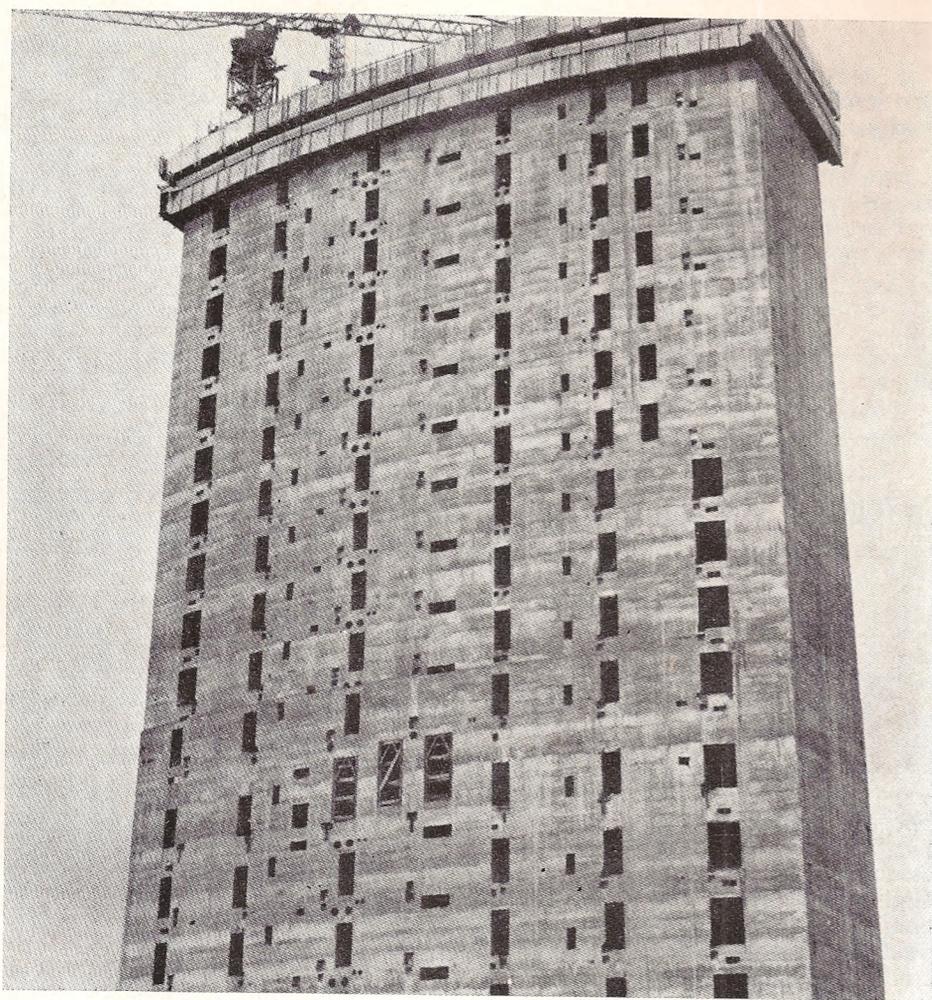


Fig. 5

Le foto sono state prese con 6 inclinazioni diverse a sinistra ($-17^{\circ} \div +24^{\circ}$) e 4 a destra ($-7^{\circ} \div +23^{\circ}$) selezionando dopo le 3 coppie che meglio inquadravano la torre. In ogni posizione venivano scattate 4 lastre su emulsione molto lenta e molto fine. Le misure, su monocomparatore, di tutte le 4 lastre ripetute, venivano utilizzate per eliminare eventuali difetti di aderenza della lastra al fondo della camera. Il procedimento, ampiamente descritto in [14], consiste nel calcolare per ognuna delle lastre 2, 3, 4, l'omografia che porta meglio a coincidere i punti misurati con quelli corrispondenti sulla lastra 1; si assumono quindi come coordinate da introdurre nei calcoli le medie delle quattro ripetizioni dopo trasformazione omografica.

Il calcolo delle coordinate dei punti di presa è stato eseguito con vertici di piramide, ma con due modalità diverse, ossia introducendo o no come incognite le variazioni degli elementi di orientamento interno, ottenendo però risultati praticamente identici per quel che riguarda la determinazione dei segnali, il cui scarto quadratico medio, valutato dalle discordanze fra punti fotografati su coppie diverse, è pari a 1.3 mm, ossia abbondantemente inferiore a quello che era stato richiesto.

7 - Un altro lavoro di controllo di una struttura in cemento armato richiedeva di determinare con una precisione di $2 \div 3$ cm la forma dell'esterno e dell'interno di una ciminiera alta 165 m. L'esterno non presenta alcun particolare problema salvo che, essendo le foto prese con una camera professionale Linof, non fotogrammetrica ed a corta distanza focale, le coppie hanno dovuto essere restituite con un procedimento di anamorfoosi, perché non era possibile imporre la distanza principale della camera sul restitutore. Le difficoltà sorgono piuttosto nel rilievo dell'interno che si decide di ottenere con 50 sezioni piane, rilevate con una sola foto e quindi raddrizzate. Le sezioni piane sono materializzate da una lampadina mobile lungo una linea orizzontale (ottenuta con un livello ad acqua) ed a distanza fissa dalla parete. Sul fondo della ciminiera si vedono un dispositivo per il centraggio ottico della camera e due *répères*. Inoltre, sul piano della sezione da rilevare vi devono essere alcuni punti di posizione nota per il raddrizzamento della fotografia: essi sono forniti, come si vede in fig. 6, da 5 segnali luminosi di cui 3 su di una sbarra che viene posizionata rispetto ai *répères* fissati sul fondo ed altri due posti normalmente alla sbarra stessa. Per le prese si sono utilizzate a sostegno della camera le piattaforme circolari esistenti entro il camino, mentre le stesse piattaforme, a distanza di 15 m, sono servite per il sostegno dei punti noti. Le fotografie sono state prese con lastre all'infrarosso. La misura dei 50 raggi delle sezioni così determinate ha rivelato differenze fra i raggi interni in media di 2 cm e degli scarti rispetto alla verticale nella parte più alta fino a 10 cm, probabilmente dovuti ad effetti termici durante la costruzione [7].

IV. Rilievi di tipo b)

I lavori del gruppo b) sono sicuramente meno frequenti nella pratica di quelli a) precedentemente visti, anzitutto perché vi è bisogno del rilievo del prototipo solo nei rari casi in cui non esiste un progetto preciso, ossia là dove si sommano esigenze estetiche ed esigenze tecnologiche. Tipico è il caso delle carrozzerie delle automobili. Inoltre vi è bisogno nei rilievi di prototipi di una precisione molto elevata, dell'ordine di 0.1 mm nella coordinata più critica, la quale richiede una taratura della camera molto precisa, cosa difficile alle piccole distanze, e che forse potrà essere soddisfacentemente risolta solo con le nuove camere, studiate appositamente per le riprese da vicino. Una ulteriore difficoltà è che il decimo di mm può essere raggiunto solo con opportuna segnalizzazione e fotogrammetria analitica, mentre per la costruzione del pezzo sarebbe più adatto un rilievo a curve di livello. Infine il rilievo dei prototipi può presentare difficoltà di presa, nel senso che, anche per oggetti piccoli, possono essere necessarie diverse prese, da tante diverse posizioni, ed anche la rappresentazione grafica del pezzo in tal caso diventa complicata.

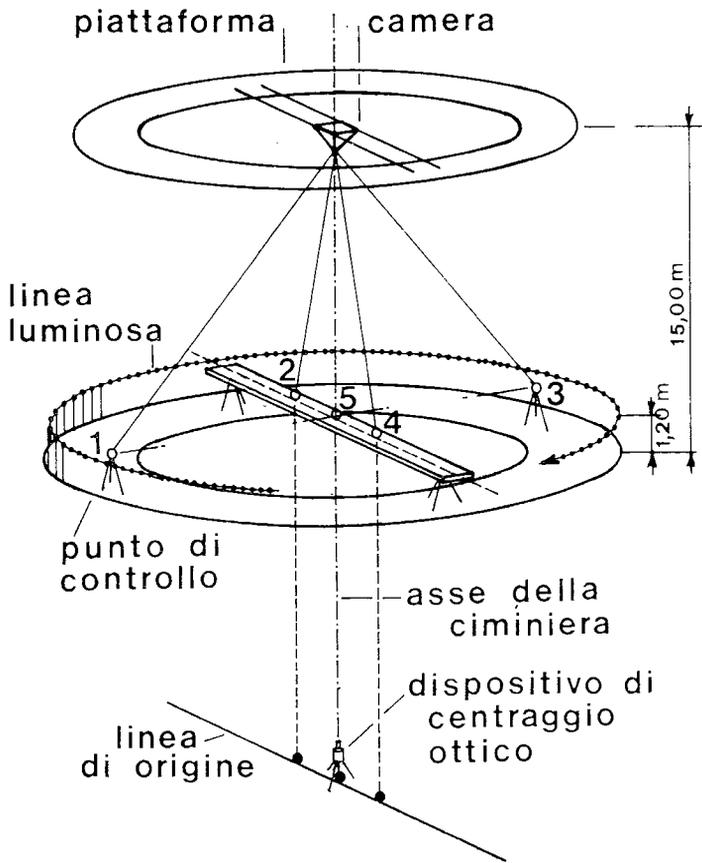


Fig. 6

1 - Un esempio di rilievo di prototipo si ha in [8], con un condizionatore la cui forma è stata ottenuta tenendo un foglio di materiale elastico su di un telaio di legno al quale erano stati fissati due cilindri pure di legno dell'altezza e diametro che si volevano imporre alle bocche del condizionatore (fig. 7 a). La forma risultante doveva essere tradotta in un calco da utilizzarsi per la produzione in serie.

Il prototipo è stato quindi fotografato con stereo-camera Galileo Veroplast da 2 m di distanza e 3 prese, una centrale e due laterali per poter riprendere le fiancate. In precedenza erano state determinate le coordinate di 14 segnali distribuiti sul prototipo con un coordinatometro spaziale con approssimazione di qualche centesimo di mm.

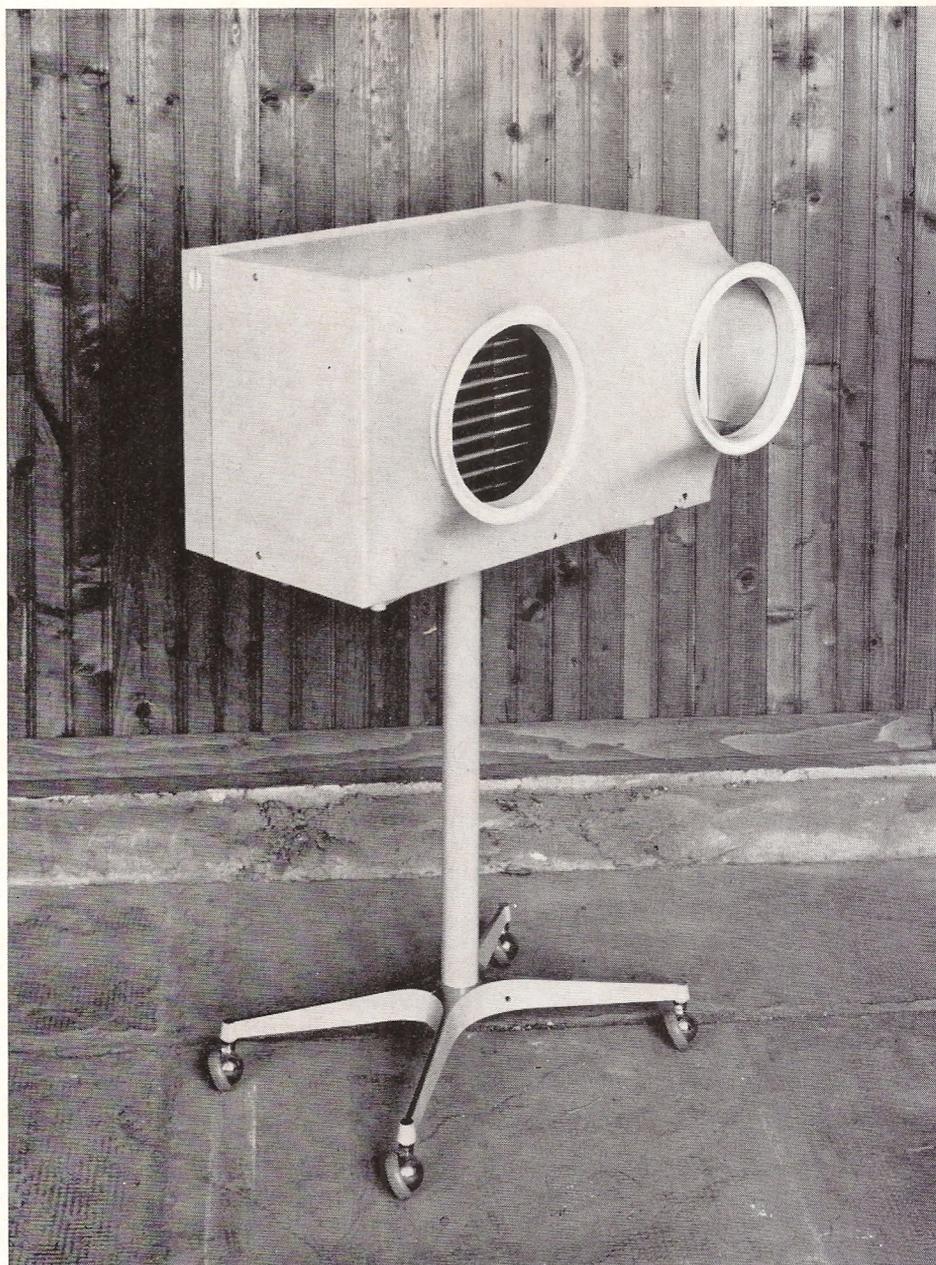


Fig. 7a

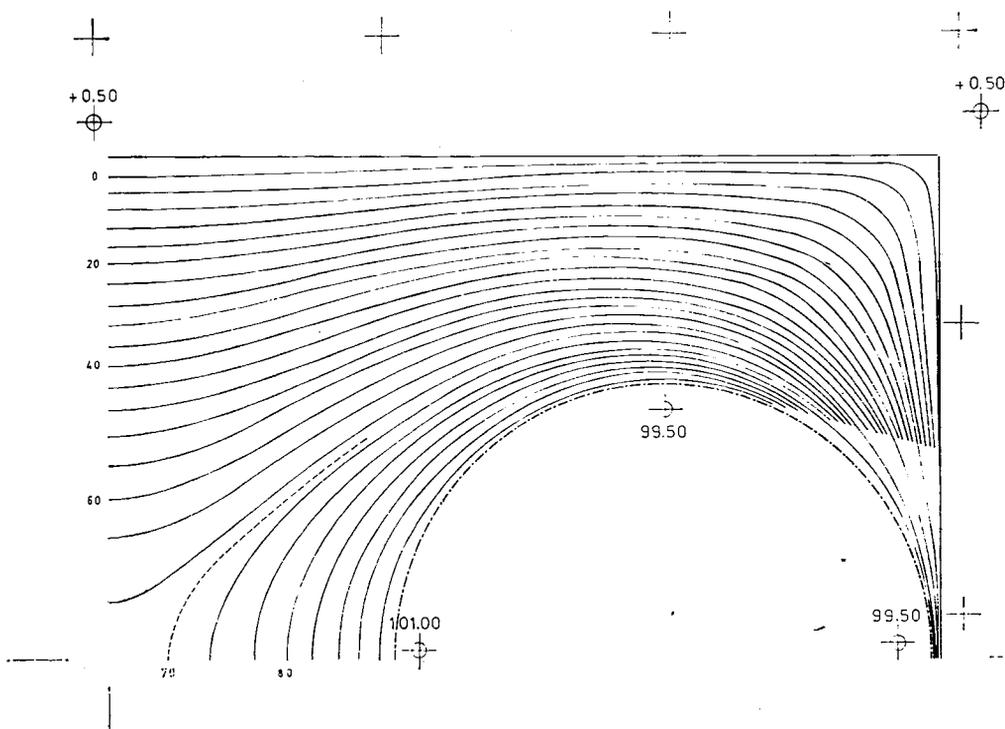


Fig. 7b

La restituzione è stata fatta con curve di livello ad equidistanza 2 mm. Le irregolarità grafiche e quelle dovute a piccoli difetti del prototipo sono state « lisciate » per fornire al costruttore il rilievo definitivo di fig. 7 b con equidistanza di 4 mm. Un indice della buona precisione può essere dato dallo s.q.m. sui punti noti in z (la coordinata più critica) che è di 0.2 mm.

Altri esempi di rilievi di prototipi vengono, come si è detto, dal campo della costruzione di carrozzerie per automobili: si sa che sono stati fatti esperimenti in Germania, Italia, e S.U. Tuttavia non esiste nella letteratura altro che qualche cenno sull'argomento, probabilmente perché le difficoltà prima elencate non hanno ancora consentito che la fotogrammetria entri nella routine della progettazione-costruzione.

V. Rilievi di tipo c)

Più frequentemente, lo spazio fra progettazione e costruzione viene riempito dal rilievo fotogrammetrico non del prototipo ma di un suo modello in scala ridotta, ossia da un rilievo che, secondo lo schema iniziale, rientra nel gruppo c).

1 - Un bel lavoro di questo genere è stato fatto precedentemente alla realizzazione dei tendoni di copertura di due costruzioni nello stadio olimpico di Monaco (fig. 8 a), quella per lo stadio e quella di un complesso includente l'arena atletica, la piscina ed il centro olimpico [9, 10, 15].

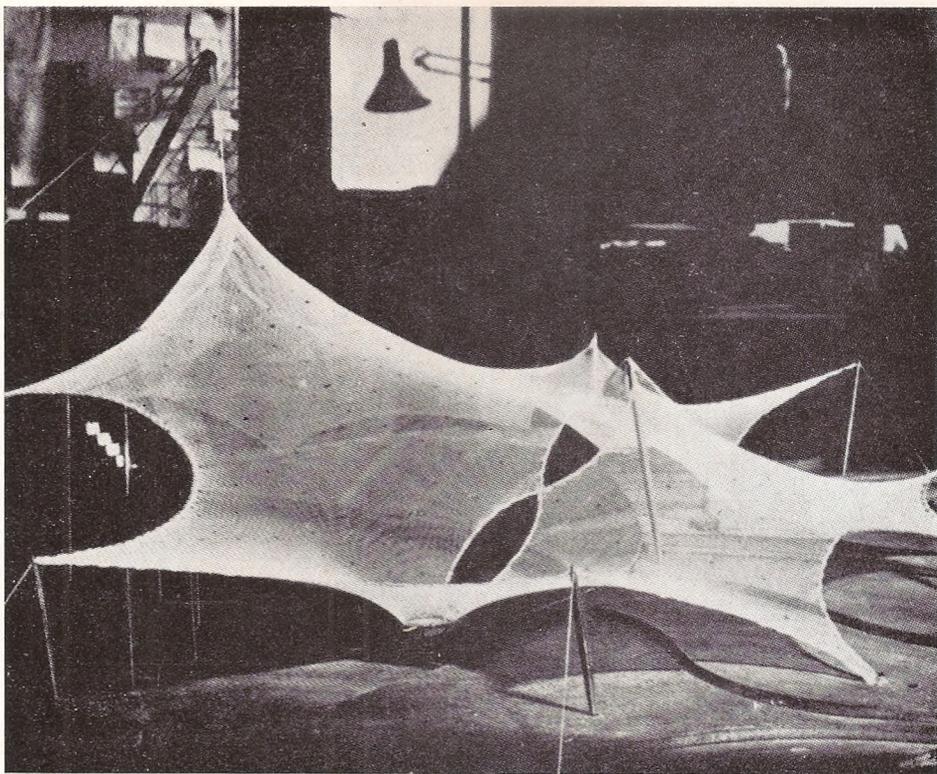


Fig. 8a

La struttura, fatta di cavi pretensionati, era talmente complessa da rendere impossibile qualunque calcolo statico sufficientemente preciso, per cui lo studio geometrico e statico è stato completamente eseguito su modelli. Per ognuno dei tendoni, ne sono stati costruiti tre, uno di prima approssimazione in scala 1:200 in tela poliestere che è servito ad un primo calcolo ed alla preparazione del 2°, in scala 1:125 in fili d'acciaio da molle, diametro 0.2 mm, con maglie di 24 mm (fig. 8 b). In base al secondo modello sono state ricalcolate le tensioni ed apportate piccole modifiche per la costruzione del 3°, definitivo, sempre in scala 1:125. In tale scala i due tendoni risultavano alti 0.7 m, le altre due dimensioni essendo rispettivamente 3.3×1.7 m e 2.0×1.5 m.

Tutti i tre modelli sono stati rilevati fotogrammetricamente, il 1° con procedimento analogico a curve di livello sul Wild A-8, il 2° sempre analogico, ma digitalizzato con registrazione di coordinate, con Wild A-8 e Zeiss C-8, il 3° analiticamente con uno stereocomparatore dato che la tolleranza sulle coordinate dei punti era di $0.3 \div 0.5$ mm. Oltre al rilievo, sono stati calcolati alcuni elementi geometrici della struttura che sono serviti per i calcoli statici. Complessivamente sono state fatte circa 130.000 registrazioni di coordinate allo stereocomparatore.

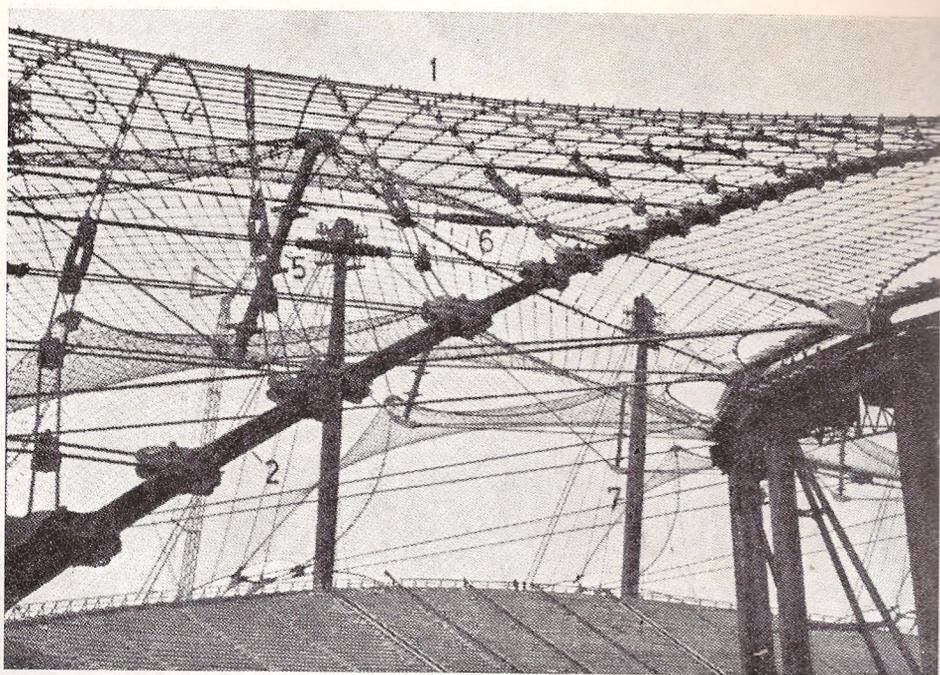


Fig. 8b

Per le prese, generalmente ad asse verticale, è stata utilizzata una apposita camera focale variabile costruita dalla stessa Università di Stuttgart, $f = 115 \text{ mm}$, formato 13×18 ; solo per le prese ad asse inclinato si è usata una camera Galileo Veroplast.

Gli elementi dell'orientamento interno si controllavano prima e dopo ogni presa.

Su di una gabbia, contenente il modello, sono stati segnalizzati in vario modo numerosi punti, determinandone poi le coordinate per intersezione con 2 teodoliti al $1''$, e livellazione geometrica, ottenendo una precisione in planimetria di 0.2 mm ed in altimetria di 0.1 m . Inoltre nel campo dei fotogrammi era inclusa una base in invar di lunghezza nota. Speciali segnali sono stati adottati sugli alberi per definire gli assi, mentre per gli altri punti si collimavano le intersezioni dei fili con una precisione di $3 \div 4 \mu\text{m}$.

Per il calcolo delle coordinate, nonché dell'orientamento delle camere, si è adoperato uno speciale programma per la CDC-6000.

2 - Vediamo ancora in fig. 9 un modello, in gesso, in scala $1:30$, di un monumento da costruire nel mezzo di una vasca piena di acqua. Esso consta di due pezzi distinti e per la realizzazione pratica era necessario avere le sezioni verticali, di mm in mm , tutte riferite ad una comune origine, perché da esse si sarebbero dedotte le sagome da dare alle cassature di ogni sezione e la linea d'appoggio di ogni sezione sulla precedente.

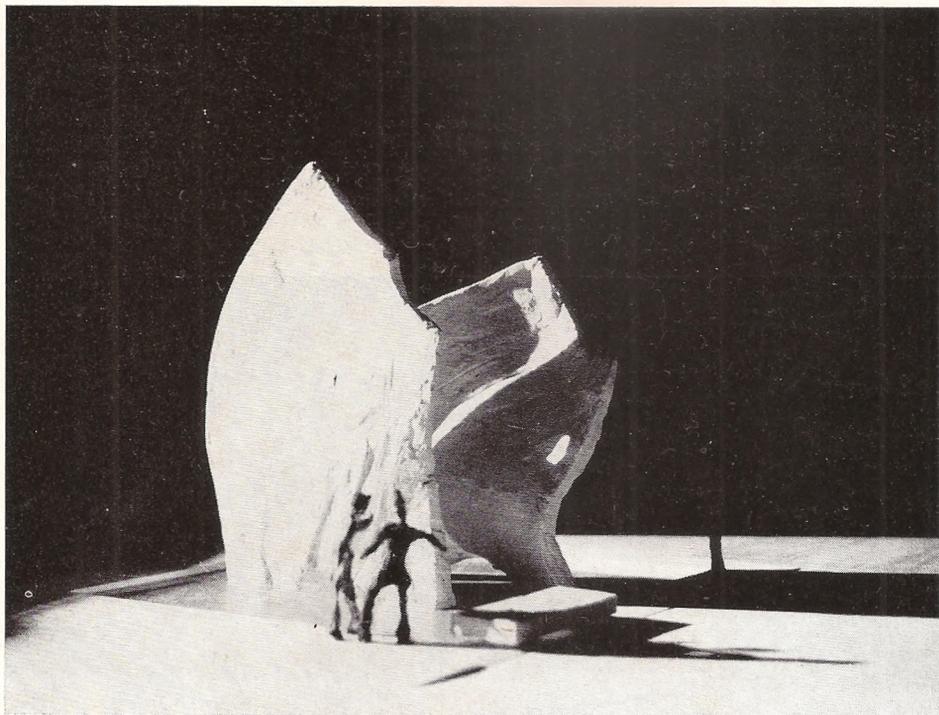


Fig. 9

Il rilievo è stato eseguito con le stesse modalità prima viste in IV-1 e viene qui ricordato solo come esempio, abbastanza atipico, di utilizzazione della fotogrammetria.

Dal punto di vista tecnico va rilevata la difficoltà di riferire i quattro rilievi a curve di livello, ciascuno proveniente da una delle due facce di ogni pezzo, ad una comune origine. Il modello ha infatti dovuto essere scisso in due pezzi prima delle prese, lungo una retta che è stata assunta come uno degli assi di riferimento ed inoltre sono stati adottati come punti di controllo dei segnalini trasparenti, di spessore noto, che potessero essere collimati sia da un lato che dall'altro.

VI. Rilievi di tipo d)

Veniamo infine ai rilievi del gruppo d) ossia a quei casi nei quali si vogliono misurare variazioni di oggetti nel tempo, dovute a varie cause. Come si è detto all'inizio, in alcuni casi si possono impiegare metodi variazionali, relativamente semplici e precisi, in altri no.

1 - Un esempio del primo procedimento è quello messo a punto per conto dell'I.S.M.E.S. (Istituto Sperimentale modelli e strutture) di Bergamo per la determinazione delle deformazioni di modelli di strutture sotto carico [11].

Un primo esperimento è stato effettuato sul modello della diga di Emosson, riprodotto in scala 1:100, il quale ha dimensioni planimetriche di circa 3×4 m ed ha un dislivello, tra il coronamento ed il fondovalle, di 2 m (fig. 10 a). Si sono utilizzate fotografie prese con una camera metrica Galileo Santoni, formato 13×18 cm e focale di 200 mm, facendo l'ipotesi che gli spostamenti siano esclusivamente orizzontali; questa ipotesi è molto prossima alla realtà e d'altra parte piccole variazioni di quota influiscono in modo trascurabile sulla determinazione degli spostamenti orizzontali, che soli interessavano.

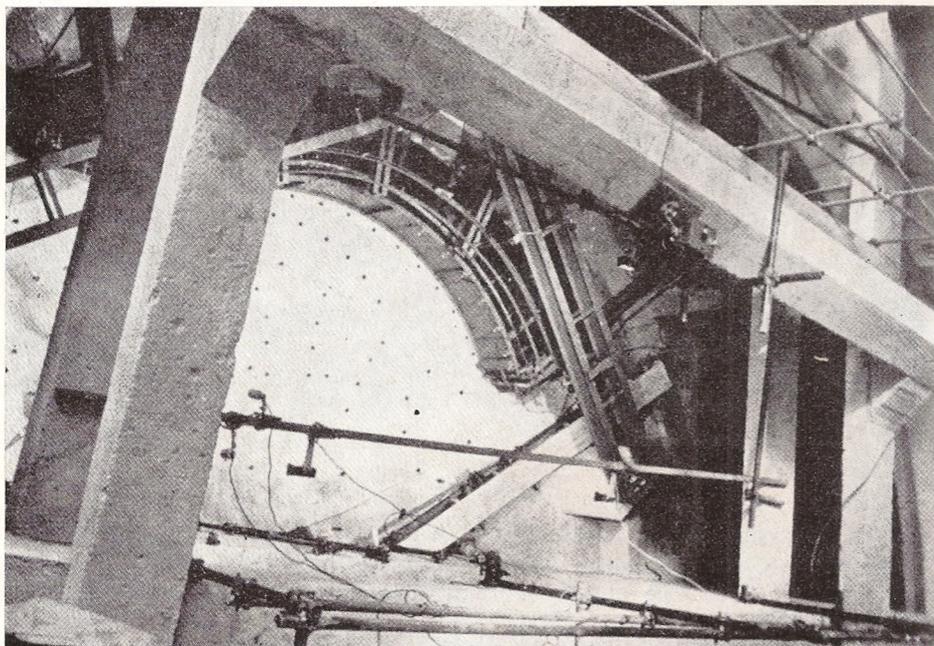


Fig. 10a

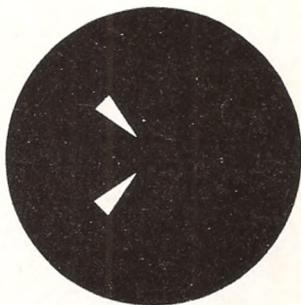


Fig. 10b

Sul modello erano fissati 104 segnali, opportunamente distribuiti, della forma indicata in fig. 10 b; come si vede, ognuno contiene due mire costituite da triangoli bianchi su fondo nero, disposti a 90° , in modo da poter misurare lo spostamento, qualunque sia la direzione in cui esso si verifica. Di 10 segnali si sono misurate le tre coordinate spaziali rispetto ad un sistema arbitrario, mentre di tutti gli altri si sono determinati solo i dislivelli mediante livellazione geometrica e quindi le quote.

La camera è stata posta con asse approssimativamente verticale, fissata ad una robusta trave a distanza di 5 m dal coronamento della diga.

Il principio del metodo di misura è il seguente. La camera era tenuta fissa e sulla stessa lastra venivano fotografati i segnali con esposizione variabile, nelle varie condizioni di carico; le immagini dei segnali risultavano abbastanza diversamente contrastate per poter misurare, in un comparatore di precisione, sia le coordinate nelle condizioni iniziali, sia le loro variazioni.

Dalle coordinate dei 10 punti d'appoggio si ricavano i sei elementi d'orientamento assoluto, approssimati piuttosto grossolanamente, perché gli errori hanno una scarsa influenza nel calcolo degli spostamenti; finalmente si calcolavano le coordinate spaziali iniziali dei punti e le variazioni planimetriche (la quota, come si è detto, era nota e supposta invariabile). Tutti i calcoli sono stati effettuati per mezzo di un elaboratore elettronico, con un programma appositamente studiato. Lo s.q.m. in ciascuna coordinata, ottenuta dal confronto di misure ripetute sulle stesse lastre, è risultato di $2.5 \mu\text{m}$; esso è però probabilmente inferiore a quello effettivo. Tuttavia, da altre prove fatte, si deduce che lo s.q.m. di una coordinata sul modello è dell'ordine di 0.1 mm. In base ai risultati di queste prove, l'I.S.M.E.S. ha fatto costruire due camere appositamente studiate e molto rigide, per l'applicazione sistematica del metodo.

2 - Salvo che nel caso prima visto, le variazioni vengono in genere calcolate dalla differenza delle coordinate corrispondenti nelle diverse situazioni. Se ne ha un esempio molto interessante, per l'ingegnosità degli artifici a cui si è fatto ricorso, nella misura delle deformazioni subite da un'antenna per satellite a causa delle variazioni di temperatura [12].

In fig. 11 si vede uno schema dell'antenna che era racchiuso in un vano isolato soggetto a variazioni di temperatura fra -35° e $+120^\circ$ C. All'antenna sono fissati 15 segnali auto-illuminati, quelli di cui si vogliono misurare gli spostamenti, costituiti da una microlampada di diametro 1.5 mm posta in fondo ad un cilindretto di diametro 8 mm, alto 1 cm; sulla parte superiore del cilindro risulta illuminato un disco centrale e più anelli concentrici studiati in modo da poter essere sempre facilmente collimabili con una marca da $25 \mu\text{m}$. Il vano è chiuso da una lastra di vetro che non reca danno per la presa perché le immagini dei punti fotografati attraverso di essa subiscono spostamenti che causano errori nelle coordinate di 0.05 mm al massimo.

Davanti al vetro è posta una gabbia in invar con 9 punti segnalizzati di

Camera di Simulazione

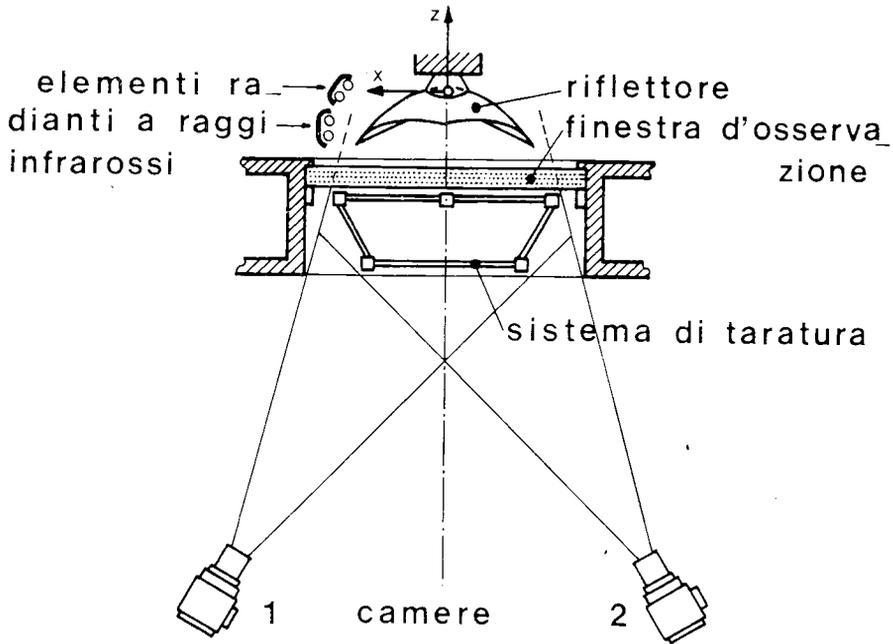


Fig. 11

coordinate note con precisione di qualche centesimo di mm, che è fotografata insieme all'antenna. La gabbia viene inserita solo prima delle prese perché non risenta in alcun modo delle variazioni termiche. Le coordinate dei 9 punti segnalizzati vengono utilizzate per determinare l'orientamento interno, esterno e distorsione della camera, mentre le coordinate dei punti oggetto sono calcolate per intersezione. Dato che la gabbia si ripositiona sempre «circa» nella stessa posizione, le eventuali roto-traslazioni dell'antenna non possono venire evidenziate: per questo motivo, in tutte le situazioni di temperatura successive alla prima, viene calcolata con minimi quadrati quella rototraslazione che meglio fa coincidere i 15 punti oggetto con i corrispondenti determinati nella situazione iniziale. I residui, ossia le differenze di posizione dopo questa rototraslazione ottimale, sono le deformazioni cercate dovute a variazioni di temperatura.

I fotogrammi sono stati scattati con camera Hasselblad, $f = 50$ mm, da una distanza di 2 m. La precisione che si voleva ottenere nelle coordinate dei punti oggetto era di ± 0.1 mm. La precisione, calcolata sui residui dei punti della gabbia, è risultata di $0.07 \div 0.15$ mm. Le massime deformazioni che si sono riscontrate sull'antenna sono state di 3 mm.

3 - Concludiamo questa rassegna con qualche parola circa le applicazioni del metodo fotogrammetrico alla misura degli spostamenti delle dighe, applicazioni quasi di routine per gli organismi specializzati.

Ad esempio, ne riferisce una Brandenberger [13] concernente il ripetuto controllo di una diga in pietra, nella quale i fotogrammi sono stati presi da sei stazioni distanti anche più di 100 m dalla diga, con rapporti di base di 0.20 ÷ 0.25 e camera Wild P.30. Sulla diga erano dipinti un centinaio di segnali, 4 dei quali inclusi nella triangolazione di base.

Le misure sono state fatte con uno stereocomparatore Wild e la restituzione analitica con un programma un po' complesso basato in parte sulle equazioni di collinearità, in parte su quelle alle parallassi, e con inserzioni, eventualmente multiple, per la determinazione delle coordinate. Gli spostamenti, calcolati come differenza di coordinate, hanno precisioni $\sigma_x = 15$ mm, $\sigma_y = 22$ mm (y rappresenta le distanze oggetto-camera), $\sigma_z = 7$ mm. Per le dighe in terra, questa precisione può considerarsi sufficiente perché gli spostamenti sono di parecchi cm, mentre non lo sarebbe per le dighe in muratura, per le quali bisognerebbe lavorare più da vicino, utilizzare camere con focale lunga, rapporti di base elevati e quindi convergenze anche forti, il che comporta necessariamente l'uso della fotogrammetria analitica.

Fra i lavori fatti su dighe in terra, se ne hanno alcuni eseguiti con fotogrammetria analogica ma utilizzando fotogrammi presi con camere balistiche. In altri casi ancora le strutture d'appoggio delle camere erano progettate in vista di una loro utilizzazione nel tempo, nel senso di poter rimettere la camera a distanza di tempo esattamente nella stessa posizione; gli spostamenti si possono allora evidenziare e misurare direttamente sul restitutore. Infatti, mentre l'osservazione stereoscopica di due fotogrammi ottenuti nelle stesse condizioni di presa e fotografando un oggetto rimasto identico, dà l'impressione di un oggetto assolutamente piatto, nel caso siano invece intervenuti spostamenti di parti dell'oggetto verso la camera si potranno osservare e misurare in tali punti delle parallassi longitudinali e quindi le variazioni di distanza dalla camera. Si tratta quindi nuovamente di un metodo variometrico, la cui labilità risiede nelle difficoltà che s'incontrano nel riposizionare una camera a distanza di tempo nelle identiche condizioni.

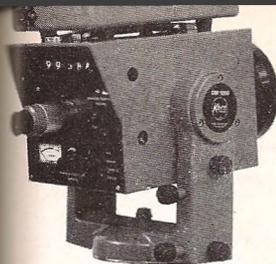
VII. *Considerazioni conclusive*

Gli esempi illustrati confermano l'applicabilità e l'utilità del rilievo fotogrammetrico in una grande varietà di casi e di problemi da risolvere; nello stesso tempo mettono in evidenza il grande numero di tecnologie impiegate. Si può dire che quasi in ogni caso si è studiato un procedimento particolare, quello cioè che sembrava corrispondere meglio alle esigenze operative e di precisione. In parte ciò sarà sempre necessario, ma in parte è conseguenza dello stadio sperimentale in cui la fotogrammetria non cartografica si trova ancora. Se le applicazioni speciali del procedimento fotogrammetrico dovranno, come è altamente augurabile, divenire sempre più frequenti o addirittura sistematiche, è necessario giungere ad una certa uniformità di procedure, poiché essa si tradurrebbe in una notevole economia di tempo e di costo. Si tratta di un processo lento, data la molteplicità dei temi proposti, ma necessario e possibile.

Altro elemento che risalta chiaramente è l'apporto determinante della fotogrammetria analitica; senza di essa una notevole percentuale dei problemi affrontati, non solo di quelli descritti, non avrebbe potuto essere risolta, almeno con la necessaria approssimazione.

BIBLIOGRAFIA

1. INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL: *Sondeur ionosphérique de Mende - Etude de la surface* (Observatoire de Meudon).
2. LOFSTROM K.G.: *Eine Analytische Methode mit Bundelausgleichung und ihr Einsatz in Sonderanwendungen der Photogrammetrie*. XII Congresso I.S.P.
3. INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL: *Pales de turbine - Contrôle de normes de construction* (Electricité de France).
4. VERCASSON M., BERNIN A.: *Contrôle photogrammétrique de la forme des aubages des turbines hydrauliques et de leurs modèles réduits*. Bulletin n. 22 de la Soc. Française de Photogrammétrie.
5. BERNIN A., CARBONNELL M.: *Contrôle Photogrammétrique des grands réflecteurs d'ondes par profils lumineux*. Bulletin n. 31 de la Soc. Française de Photogrammétrie.
6. PRESSENSE L.: *Etude de la précision obtenue par photogrammétrie analytique dans le contrôle des normes de construction d'un grand bâtiment*. XII Congresso I.S.P.
7. DOHLER M.: *Application de la photogrammétrie et du traitement électronique des données aux travaux du génie civil*. Bulletin n. 20 de la Soc. Française de Photogrammétrie.
8. TOGLIATTI G.: *Fotogrammetria e « Design »*. Rivista di Ingegneria n. 5-6, Maggio-Giugno 1973.
9. LINKWITZ K.: *Die Ermittlung des Zuschnitts für die Dächer der Olympiasportstätten München* Sonderdruck aus der « Zeitschrift für Vermessungswesen », Heft 9-10, 1972.
10. LINKWITZ K., MILEV G., WIEDEMANN M.: *Geodätische Kontrollmessungen an den Olympia-Dächern in München*. Sonderdruck aus « Allgemeine Vermessungs-Nachrichten », Heft 11, 1972.
11. BERNINI F., CUNIETTI M., GALETTO R.: *A photogrammetric method for assessing the displacements under stress of large structure models (experimental applications)*. Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria del Politecnico di Milano, n. 179. 1968.
12. ARGYRIS J.H., AICHER W., EBERLE K., KIRSCHSTEIN M.: *Measuring of three-dimensional deformations via photogrammetric methods and electronic data processing*. I.S.D. Report n. 118, Stuttgart, 1972.
13. BRANDENBERGER A.J., EREZ M.T.: *Photogrammetric Determination of Displacements and Deformations in Large Engineering structures*. The Canadian Surveyor, vol. 26, n. 2, June 1972.
14. HOTTIER P.: *Contribution à l'étude expérimentale de la précision de la photogrammétrie analytique à courte distance (7-12 m) dans le cas du couple*. XII Congresso I.S.P.
15. BOTTINGER W.U.: *On some aspects of taking close-range photographs for photogrammetric evaluation. Practical experiences in photographing the models of the cable-net roofs for the olympiad at Munich*. XII Congresso I.S.P.



02.878231

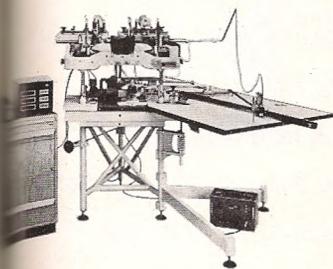
...iti



...inatografi



...eorestitutori



...-Variograph



è il telefono della
KOH·I·NOOR in Italia.
Chiedete dell'ufficio
KERN o della D.A.S.*
qualunque sia la vostra
esigenza nel campo della
topografia, geodesia,
aerofotogrammetria
e degli articoli
per ingegneria.

* Divisione Autonoma Apparecchiature Speciali

VENDITA • LEASING • DIMOSTRAZIONI • ASSISTENZA

KOH·I·NOOR HARDTMUTH SpA
STRUMENTI PER DISEGNO, INGEGNERIA E TOPOGRAFIA
DIVISIONE AUTONOMA APPARECCHIATURE SPECIALI

20121 MILANO VIA SACCHI 5-7 TEL. 878231 • 00198 ROMA VIA NIZZA 63 TEL. 866503

HEWLETT  PACKARD
 SALMOIRAGHI

DISTANZIOMETRO MOD. 3800 B

Portata:

1.500 m con un solo prisma
3.000 m con tre prismi
(in ore notturne, tali distanze possono essere raddoppiate)

Precisione:

valore minimo apprezzabile, 1 mm e.q.m. \pm (3 mm + 5 mm/km) per temperature comprese fra -15 e $+40^{\circ}\text{C}$. Tempo medio per una misura: 1 minuto
Correzione automatica frequenze per condizioni ambientali varie.



Potenza consumata:

12 Watts
batteria al piombo od al Ni-Cd, con carica batteria incorporato.

Dimensioni:

distanziometro, 33x26x15 cm
batteria, 17,5x17,5x22 cm

Pesi:

distanziometro, 7,5 kg
batteria, 5,8 kg

FILOTECNICA SALMOIRAGHI S.p.A.
20122 MILANO - VIA S. LUCA, 10 - TEL. 8474841-2-3-4

una organizzazione capillare di vendita presente coi propri negozi in tutto il Paese

ALESSANDRIA

Via Migliara 1 - Tel. 51104

ANCONA

Corso Garibaldi 80 - Tel. 31415

BARI

Piazza Umberto I, 7 - Tel. 219476

BOLOGNA

Via Indipendenza 3 - Tel. 229401

CATANIA

Via Etna 201/203 - Tel. 228121

FERRARA

Corso Martiri Libertà 79/81 - Tel. 33927

FIRENZE

Via Calzaiuoli 73/75 - Tel. 294956

FOGGIA

Corso Cairoli 7 - Tel. 22209

GENOVA

Via XX Settembre 204/R - Tel. 565743

Via XXV Aprile, 30-32/R - Tel. 206855

LA SPEZIA

Corso Cavour 39/41 - Tel. 34421

MILANO

Via Orefici 5 - Tel. 871564/871174

MILANO

Corso Buenos Aires 1 - Tel. 265893

NAPOLI

Via Roma 244/245 - Tel. 391120

NAPOLI

Piazza Vanvitelli 1 - Tel. 377012

PESCARA

Corso Umberto I, 9 - Tel. 26370

REGGIO CALABRIA

Corso Garibaldi 240/242 - Tel. 22902

ROMA

Via Nazionale 200 - Tel. 481961

SAVONA

Via Paleocapa 102/R - Tel. 20850

SIENA

Via Banchi di Sopra 53/R - Tel. 24867

SIRACUSA

Corso Matteotti 82/84 - Tel. 26581

TARANTO

Via Di Palma 13 - Tel. 29191

TERNI

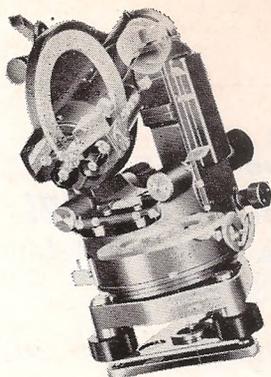
Corso Tacito 22 - Tel. 420202

TORINO

Via Roma 27 - Tel. 540007

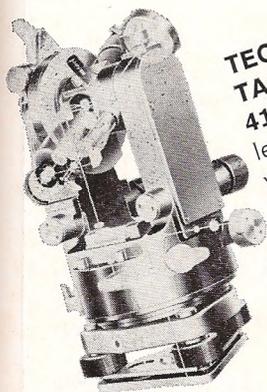
VENEZIA

Mercerie del Capitello, 4959 - Tel. 28084

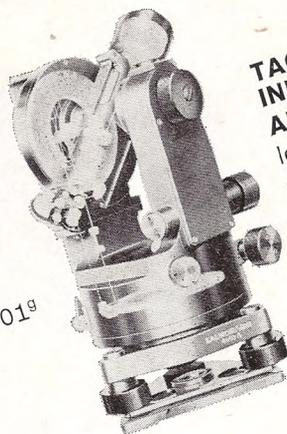


**AUTORIDUTTORE
"TARI" 4180**
 ± 3 cm sulle distanze
 ± 1 cm sui dislivelli
 $\pm 0,001^g$ in azimut

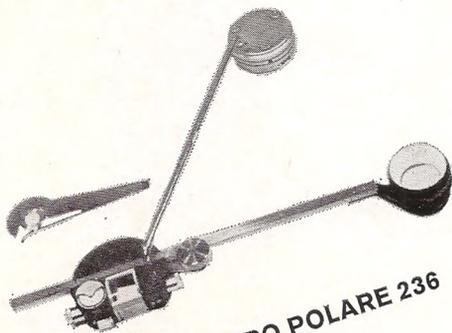
SALMOIRAGHI



**TEODOLITE
TACHEOMETRO
4150/NE**
letture al cerchio
verticale ed
orizzontale: $\pm 0,001^g$



**TACHEOMETRO AD
INDICE ZENITALE
AUTOMATICO 4149/A**
letture al cerchio
verticale ed
orizzontale: $\pm 0,002^g$



PLANIMETRO POLARE 236
ad unità variabile
precisione: $\pm 0,2\%$

I. R. T. A.

ISTITUTO di RILIEVI TERRESTRI e AEREI

Via Quintiliano, 41 - MILANO - Telefono n. 5060955

*Rilievi stereofotogrammetrici di alta precisione
in qualsiasi scala per*



GHIACCIAIO DEI FORNI
Scala orig. 1 : 5.000 curve m. 5

*costruzioni stradali
e ferroviarie
progetti di bonifica
e irrigazione
piani regolatori
mappe catastali
impianti idroelettrici
sistemazioni
montane
studi glaciologici
sistemazioni fluviali
monumenti
fotografie aeree
mosaici fotografici
triangolazioni
livellazioni*