

METODI ATTUALI PER IL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO DI MONUMENTI

*Carmelo Sena**
COMUNICAZIONE UFFICIALE AL XVIII CONVEGNO NAZIONALE S.I.F.E.T.
LUCCA 22-27 settembre 1978

1 - Premessa

L'impiego di metodi fotogrammetrici nel rilievo di monumenti, opere di architettura, agglomerati urbani, centri storici, ecc., suscita attualmente particolari attenzioni ed interesse in varie categorie di studiosi ed operatori tecnici. La Fotogrammetria, infatti, spesse volte può aiutare a risolvere problemi di rilievo e di documentazione che altrimenti sarebbero di difficile e complessa soluzione; rappresenta quanto di più raffinato può oggi fornire la tecnica del rilievo metrico; viene cioè incontro a precise esigenze scientifiche ed economiche, non solo sul piano nostro nazionale ma, come dimostra il Simposium dell'ICOMOS, che qui si svolgerà nei prossimi giorni, internazionale.

E' forse bene chiarire subito, a scanso di equivoci, che anche in questo settore, il Fotogrammetra si pone in stretta collaborazione con i vari specialisti (rilevatori e restauratori di monumenti, storici dell'arte, urbanisti, archeologi, ecc.), per fornire il valido supporto cartografico, ad una certa scala, oggettivo, completo, chiaro, preciso nei limiti della convenienza economica e dei risultati, voluti.

Questo supporto, di solito, deve poi essere passibile di interpretazione, di studio, anche di rielaborazione, senza però che se ne vari il contenuto metrico originario.

Come è noto, già la fotogrammetria aerea ha trovato ampio utilizzo nel rilievo plano-altimetrico di zone archeologiche, centri urbani, ecc. Qui si vuole piuttosto analizzare un altro tipo di fotogrammetria, classificabile in un certo senso come fotogrammetria terrestre, e che serve per il rilievo di prospetti di monumenti, rilievo di cupole, di scavi (anche di piccole dimensioni), rilievo di interni, e al possibile collegamento delle due tecniche (l'aerea e la terrestre), per il rilievo di agglomerati urbani, centri storici, ecc. a

grandissima scala ($\frac{1}{500} \div \frac{1}{100}$).

Come si può subito osservare, questi rilievi non possono essere assimilabili al classico rilievo della fotogrammetria terrestre, di solito relativo a terreni accidentati in zone montuose, con tratti aventi notevoli variazioni di distanze dalla base (si pensi al rilievo di ghiacciai). Infatti la maggior parte delle opere da rilevare richiedono, come già detto, rilievi di prospetti di solito situati su piani verticali o quasi e quindi a distanze quasi costanti dalla base di presa (anche opere, con prospetti molto movimentati, possono essere opportunamente trattati in modo da soddisfare la condizione sopra detta), a scale piuttosto grandi.

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

Tralasciamo a questo punto di considerare gli aspetti generali ed interpretativi, fondamentali ed interessanti in altre sedi, per prendere in esame quegli aspetti che possono interessare invece i Topografi ed i Fotogrammetri, cioè gli aspetti tecnici delle varie metodologie; mi sia permesso di fare notare, che pur nei loro limiti, essi richiedono ampia e profonda conoscenza della tecnica fotogrammetrica generale, della strumentazione, dei metodi di calcolo, ecc. Richiedono inoltre anche buone capacità topografiche (si tratta, di solito, della progettazione ed esecuzione di microoperazioni di vario tipo).

La presente relazione ha pertanto lo scopo di voler mettere in evidenza alcuni aspetti caratteristici e peculiari di questa branca, per i Fotogrammetri, che certamente ben conoscono questi problemi; mentre, per i non Fotogrammetri, vuole fornire alcuni elementi fondamentali per inquadrare questo, speriamo interessante, settore.

2 - *Classificazioni*

2/a) Una prima classificazione possibile dei vari metodi, basata sul tipo di camera da presa utilizzata, può essere la seguente:

- 2/a/1) con utilizzo di fototeodolite;
- 2/a/2) con utilizzo di monocamere;
- 2/a/3) con utilizzo di bicamere.

Come si vede, la classificazione di cui sopra 'prende in considerazione solo camere fotogrammetriche: in effetti l'utilizzo di macchine fotografiche normali (con caratteristiche ottico-meccaniche pregevoli) è senz'altro pensabile. In particolare nel caso del rilievo di oggetti vicini (distanza di presa sul valore massimo di qualche metro) diverse ed interessanti pubblicazioni relative a studi ed applicazioni sono state presentate alla Commissione V dell'ultimo Congresso Internazionale di Fotogrammetria, di Ottawa (1972). A mio parere, anche se allettante, l'utilizzo di camere non fotogrammetriche può trovare solo applicazioni in casi particolari del rilievo monumenti e pone poi tutta una serie di problemi di orientamenti interni ed esterni, risolubili con vari metodi, ma che certo appesantiscono la fase di restituzione.

2/b) Un'altra classificazione possibile, relativa al trattamento dei fotogrammi, è la seguente:

2/b/1 - Metodi impieganti coppie di lastre:

- 2/b/1/1) Restituzione con strumenti analogici (restituzione analogica) usando:
prese inclinate, prese convergenti, prese miste, prese normali.
- 2/b/1/2) Restituzione con mono o stereo-comparatori ed elaborazione dei dati con calcolatori elettronici (restituzione analitica).
- 2/b/1/3) Restituzione per punti, con strumenti analogici (restituzione numerica).

2/b/2) - Metodi impieganti lastre singole:

- 2/b/2/1) Raddrizzamento grafico.
- 2/b/2/2) Raddrizzamento con raddrizzatori.
- 2/b/2/3) Raddrizzamento analitico.

Per un panorama organico, anche se succinto, di quanto detto, cominciamo dall'esame dei metodi che impiegano coppie di lastre, opportunamente prese. Sono questi i metodi più largamente usati ed importanti, sia per l'ampiezza dei tipi di lavori che permettono, sia per le precisioni conseguibili. In questa categoria rientrano gli utilizzi sia dei fototeodoliti che delle moncamere e delle bicamere.

Il concetto fondamentale della presa è riconducibile allo schema classico: è cioè necessario definire una *distanza di presa*, legata alla scala media dei fotogrammi che si vuole ottenere, funzione della scala del disegno finale (e quindi della precisione, del dettaglio, ecc.).

In un certo rapporto con la distanza di presa, è possibile calcolare la *base di presa* (distanza tra due successive stazioni di presa): il valore di questo rapporto dipende da diversi parametri, quali il campo della camera, il valore della sovrapposizione che si vuole dare ai successivi fotogrammi, le caratteristiche del restitutore che si vuole utilizzare, la precisione che si vuole conseguire, a problemi di defilamenti, ecc.; valori abbastanza comuni

sono quelli che danno $\frac{b}{d} = \frac{1}{4} \div \frac{1}{10} = \frac{1}{m}$ (in fotogrammetria terrestre si può,

come è noto, giungere a valore più piccoli, fino a $\frac{1}{20} \div \frac{1}{25}$).

Non ha qui alcun senso od interesse il calcolo dell'intervallo di scatto in quanto sia la camera che l'oggetto da rilevare sono di solito in posizione fissa. Se si lavora con una moncamera o con un fototeodolite, esso viene spostato di regola manualmente e, a parte considerazioni sull'illuminamento del monumento, l'intervallo tra una presa e la successiva può essere qualsiasi; se si lavora con una bicamera, si hanno congegni elettrici che possono permettere di scattare, nello stesso istante, le due fotografie successive, e quindi l'intervallo di scatto è nullo.

Per quanto riguarda la messa in stazione della camera, essa deve seguire alcune norme a seconda dello strumento e del metodo utilizzato, ma in generale si può affermare che l'operazione risulta più semplice per le moncamere; anche questa operazione è di solito eseguita manualmente, in condizione di strumento stabile sul terreno; in altre condizioni, può essere conveniente eseguire accorgimenti opportuni (camere poste su tralicci o strutture metalliche, su basi mobili, ecc.).

Per bene comprendere, dal punto di vista geometrico la relazione tra le grandezze in gioco, scriviamo la nota relazione (1), per una coppia di fotografie stereoscopiche (fig. 1):

$$(1) \quad d = \frac{b \cdot p}{x_2 - x_1} \quad \text{essendo} \quad \begin{array}{l} b = \text{base di presa} \\ p = \text{distanza principale} \\ d = \text{distanza di presa} \\ x_2 - x_1 = \text{parallasse stereoscopica} \end{array}$$

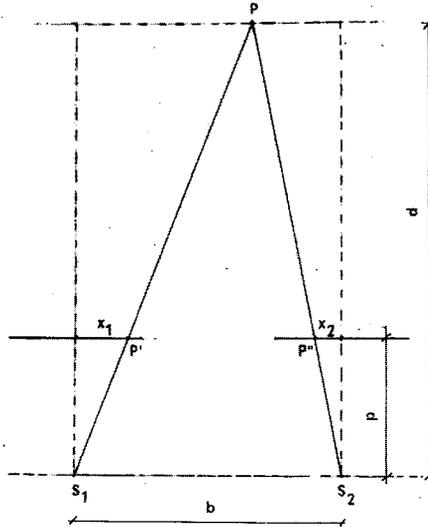


Fig. 1

La varianza di d vale:

$$(2) \quad \sigma_d^2 = \left(\frac{p}{x_2 - x_1} \right)^2 \cdot \sigma_b^2 + \left(\frac{b}{x_2 - x_1} \right)^2 \cdot \sigma_p^2 + \left(\frac{b \cdot p}{(x_2 - x_1)^2} \right)^2 \cdot \sigma_{(x_2 - x_1)}^2 =$$

$$= \left(\frac{d}{b} \right)^2 \cdot \sigma_b^2 + \left(\frac{d}{p} \right)^2 \cdot \sigma_p^2 + \left(\frac{d^2}{b \cdot p} \right)^2 \cdot \sigma_{(x_2 - x_1)}^2$$

se poniamo $\frac{d}{b} = m$; $\frac{d}{p} = n$ (denominatore della scala del fotogramma) si ha:

$$(3) \quad \sigma_d^2 = m^2 \cdot \sigma_b^2 + n^2 \cdot \sigma_p^2 + (m \cdot n)^2 \cdot \sigma_{(x_2 - x_1)}^2$$

Come è noto, per le operazioni del tipo che qui consideriamo, si possono mediamente porre questi valori:

$$\sigma_b = \pm 0,001 \text{ m}$$

$$\sigma_p = \pm 0,00001 \text{ m}$$

$$\sigma_{(x_2 - x_1)} = \pm 0,00001 \text{ m} \quad \text{e la } \textcircled{3} \text{ può ancora scriversi:}$$

$$(3 \text{ bis}) \quad \sigma_d^2 = m^2 \cdot \left[\sigma_b^2 + \left(\frac{b}{p} \right)^2 \cdot \sigma_p^2 + m^2 \left(\frac{b}{p} \right)^2 \cdot \sigma_{(x_2 - x_1)}^2 \right]$$

Come si vede, ad es. nel caso di $d = 50 \text{ m}$ $p = 100 \text{ mm}$ $b = 5 \text{ m}$

$$\frac{b}{p} = 50$$

$$\frac{d}{b} = 10$$

$$\frac{d}{p} = 500$$

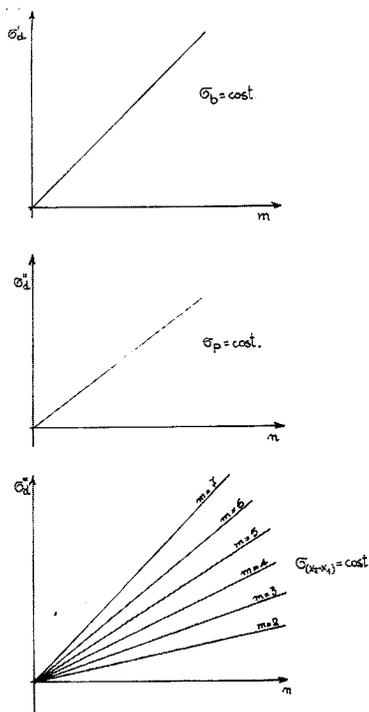


Fig. 2

i singoli contributi valgono (fig. 2)

$$\begin{aligned}\sigma'_d &= 1 \text{ cm} \\ \sigma''_d &= 0,5 \text{ cm} \\ \sigma'''_d &= 5 \text{ cm.}\end{aligned}$$

Si vede quindi qual'è l'importanza d'avere un rapporto m piccolo.

Le relazioni sopra scritte sono da tenersi in considerazione, in particolare tutte le volte che si lavora con bicamere (valore della base di presa fisso).

E' in generale sempre più conveniente avere una base di presa la più grande possibile (compatibilmente con la richiesta sovrapposizione, con l'angolo di campo, ecc.), ma occorre tenere nel giusto peso il fatto che ciò favorisce, ad esempio, la formazione di zone defilate nel modello.

Le basi di presa conviene risultino circa parallele alla giacitura del piano o dei piani di proiezione e situati in opportuna posizione rispetto al monumento da rilevare.

Conviene inoltre che tra due successive stazioni di presa ci siano limitati dislivelli (per prese con sviluppo orizzontale; per prese a sviluppo verticale, limitati disassamenti); angoli di convergenza e di inclinazione noti (semplici

dispositivi permettono di conoscere tali parametri con facilità) o generalmente piccoli. Un'altra considerazione necessaria è la seguente: se si pensa di effettuare una restituzione analitica, le note prima fatte devono essere riviste e possono financo cadere, sempre che i programmi di calcolo utilizzati permettano la ricostruzione analitica del modello con qualsivoglia valore di convergenza, inclinazione, ecc.

Se invece si effettua una restituzione di tipo analogico, è necessario oltre al solito controllo sulla corrispondenza tra le caratteristiche della camera da presa e quelle delle camere di restituzione, eseguire un'attenta analisi dell'insieme delle operazioni di presa (legate alle caratteristiche del monumento da rilevare) con le caratteristiche strumentali del restitutore prescelto.

Fatte queste premesse di carattere generale, passiamo ad un esame dei vari metodi seguendo la prima classificazione, relativa alle camere da presa.

3 - Metodi che utilizzano i fototeodoliti

Come è noto, un fototeodolite è uno strumento composto da un teodolite e da una camera da presa. L'accoppiamento deve essere tale da garantire alcune condizioni di rettifica tra assi del teodolite e assi della camera: ciò porta di solito ad avere strumenti concepiti per un accoppiamento più o meno rigido e complesso, accoppiamento che richiede caratteristiche meccaniche certamente notevoli. Con i fototeodoliti è possibile determinare i parametri dell'orientamento esterno delle camere da presa; cioè è possibile individuare le coordinate dei punti di presa e le rotazioni degli assi della camera. I dati ottenuti topograficamente mediante il teodolite e gli altri accessori di corredo (treppiedi, segnali di collimazione, stadia orizzontale, ecc.), durante le prese, definiscono in maniera completa, gli orientamenti esterni delle successive posizioni della camera. Convieni però sempre fare sul monumento che si vuole rilevare qualche misura, diretta o indiretta, di distanze e di dislivelli, come elemento di controllo.

L'uso del fototeodolite è particolarmente vantaggioso quando s'è costretti a fare delle prese difficili perchè, riuscendo a determinare gli elementi dell'orientamento esterno delle camere da presa, si sa già come affrontare il problema dell'orientamento relativo ed assoluto (di solito analogico) della coppia di fotogrammi.

Purtroppo come è noto, anche facendo bene le varie operazioni di rettifica del teodolite e le operazioni sopra dette in fase di presa, quando si fa l'imposizione dei dati di orientamento sullo strumento restitutore, il modello presenta delle parallassi ed anche i punti di appoggio dopo l'orientamento assoluto di solito denunciano delle discrepanze. Occorrono alcune correzioni successive (in verità, non molte); tutto sommato, il procedimento d'orientamento relativo di solito particolarmente laborioso nei casi di fotogrammetria terrestre, nel caso qui considerato, data la quasi costanza di distanza della base dal monumento, risulta più semplice (è una situazione analoga a quella della fotogrammetria aerea, in terreno poco movimentato). Di solito esiste l'inconveniente, però comune anche agli altri metodi, che la parte da restituire della lastra interessata non copra tutto il formato; ciò

procura anche maggiori difficoltà durante le operazioni di orientamento relativo. Dato lo sviluppo recente dei metodi analitici, è anche pensabile di poter ricavare i valori finali di φ , ω , k da imporre alle due camere del restitutore, per mezzo di un orientamento analitico (utilizzando un computer, dei punti noti ed un calcolatore elettronico per l'elaborazione dei dati). Verrebbe però così a cadere il concetto stesso su cui si basa l'utilizzo del fototeodolite: tale metodo può essere piuttosto vantaggiosamente utilizzato quando si lavora con una camera singola.

I fototeodoliti presentano l'inconveniente di non essere utilizzabili su basi mobili e su apparecchi elevatori.

Citiamo alcuni esempi di moderni fototeodoliti, ricordando per inciso che le Case che li costruiscono, producono anche strumenti restitutori che accettano coppie di fotogrammi ottenuti da essi:

I'F.T.G.1/B Galileo (focale mm. 166, formato 10×15 cm²); il Photheo 19/1318 della Ottica di Jena (focale mm 190, formato 13×18); il Wild P30 (focale 165 mm, formato in cm 10×15) ed il Wild P32 (come il P30, ma con obiettivo a più alta definizione; $f = 64$ mm, formato in cm 6×9 , sia a film che a lastra).

4 - Metodi che utilizzano le monocamere

L'utilizzo di una semplice camera fotogrammetrica, di una camera cioè con orientamento interno noto, di solito sopportata da un normale basamento con tre viti calanti, su tréppiede e su apposito supporto, posto sul piano di campagna o in posizione sopraelevata, ha come caratteristica fondamentale che le operazioni di presa fotografica e le operazioni topografiche devono svolgersi in maniera indipendente.

Distinguerò due tipi fondamentali:

4/1°) camere che possono assumere solo la posizione con asse di presa orizzontale (o verticale);

4/2°) camere che possono assumere qualsiasi posizione ed in particolare alcuni valori fissi di inclinazione (sia verso l'alto che verso il basso).

Le camere del 1° tipo hanno costituzione piuttosto rigida e realizzano la condizione sopra detta con notevole precisione, dispongono perciò di buone livelle (sia sul basamento che sulla camera), di dispositivo di rotazione di precisione, di viti micrometriche per piccoli movimenti, ecc. Permettono la sola effettuazione di prese normali o zenitali: questa limitazione ha, come vedremo, come contropartita d'avere alcune semplificazioni in restituzione (ad esempio, valore di ω nullo).

Più numerose sono le camere del 2° tipo, che di solito mediante un supporto a snodo fissabile sul basamento, hanno la possibilità di assumere qualsiasi posizione (in pratica, possono esistere alcune limitazioni dovute, ad esempio, a questioni di ingombro delle parti in rotazione); a questa categoria si possono considerare appartenenti quelle camere che mediante accorgimenti costruttivi opportuni (blocchi prefissati nello snodo di rotazione), possono assumere valori predeterminati di inclinazione (di solito più numerosi per inclinazioni verso l'alto che verso il basso). Il movimento azimutale delle camere è di solito sempre libero, anzi alcuni strumenti (e qui

la distinzione con i fototeodoliti comincia evidentemente a sfumare), possiedono persino un cerchio azimutale. Alcune camere inoltre possono essere sopportate dal basamento di un teodolite, cioè si ha intercambiabilità tra teodolite e camera, cosicchè una stazione fotografica può diventare anche stazione topografica.

Alcune camere hanno la possibilità di creare o verificare un allineamento perpendicolare all'asse della camera, mediante cannocchialetto spezzato, che spesso funziona però solo in condizione di camera con asse di presa orizzontale.

4/5°). Conviene definire cosa intendiamo per « posizione normale » o come altri scrive « caso normale »: è la situazione, di solito piuttosto raramente realizzabile, nella quale la base o le basi di presa risultano orizzontali (cioè il dislivello è nullo tra le successive stazioni fotografiche) e parallele al piano o ai piani di proiezione che si sceglieranno per la restituzione; gli assi di presa della camera risultano, sulle varie stazioni, orizzontali (o verticali) e paralleli tra loro oltre che perpendicolari alle basi.

Come si vede, questo caso è più facilmente realizzabile con le bicamere, come vedremo in seguito, che non con le monocamere. Inoltre non solo il monumento da rilevare deve avere caratteristiche tali da potere permettere con una certa semplicità il soddisfacimento delle condizioni sopra dette (se ad esempio il monumento è piuttosto irregolare, diventa già difficoltosa la realizzazione della condizione di perpendicolarità tra piani di proiezione e assi di presa), ma anche lo spazio attorno al monumento deve permettere, senza ricorrere a particolari strutture, di realizzare basi di presa orizzontali, ecc. Diverso è il problema se il rilievo si riduce ad uno solo o a pochi modelli (monumento di piccole dimensioni); in questo caso, se bastano due o tre stazioni fotografiche, magari con basi di presa piccole (dell'ordine del metro), può anche essere facile porsi nelle condizioni prima dette. Realizzare le operazioni di presa in « posizione normale » vuol dire potere utilizzare apparecchi di restituzione semplificati, cioè apparecchi di costo non eccessivo, di abbastanza semplice uso, nei quali cioè le varie operazioni di orientamento si riducono di molto (si tratta di controllare la formazione del modello, ponendolo in opportuna scala), e quindi con elevata produttività.

4/4°). Alcune camere, come abbiamo già detto, permettono di realizzare assi di presa inclinati sul piano verticale, con inclinazione nota: se dunque si realizzano tutte le condizioni prima viste nel « caso normale » (ad eccezione dell'orizzontalità degli assi di presa), ci troviamo ancora a potere utilizzare strumenti di restituzione semplificati, che mediante però un piccolo calcolatore analogico, riassorbono l'effetto dell'inclinazione degli assi di presa (uguale per le due lastre). Questa possibilità è notevole, perchè in alcuni casi, potere fare delle prese inclinate, evita una serie di problemi, come ad esempio la necessità di sopraelevare le stazioni di presa, per coprire con un unico fotogramma normale l'intera altezza del monumento, o effettuare più serie di fotogrammi da stazioni a quote diverse, o aumentare la distanza di presa, ecc. Evidentemente, l'inclinazione dell'asse di presa, favorisce la formazione di zone defilate.

4/5°). La situazione, diciamo, « generale » dell'operazione di presa è quella in cui non vengono rispettate le condizioni viste nel caso « normale » e nel

caso successivo, pur cercando di non allontanarsene molto: ricordiamo che allontanarsi dal « caso normale » vuol dire passare da restitutori semplificati a restitutori completi, cioè gli stessi utilizzati per l'aerofotogrammetria. In questo caso, evidentemente i costi sono più alti e le apparecchiature sono di uso più complesso: infatti per potere eseguire con esse l'orientamento dei fotogrammi è necessario imporre (entro i limiti strumentali), i valori di convergenza e di inclinazione delle camere e le componenti b_y e b_z della base.

Vuole anche significare rendere più onerose le operazioni topografiche di appoggio, perchè mentre nel « caso normale », se è nota la base di presa, teoricamente non necessita la conoscenza di altri elementi per la restituzione del modello (in pratica, è bene avere elementi di controllo), nel « caso generale » occorre avere i soliti 3-4 punti (meglio se 5) di coordinate note, per l'effettuazione dell'orientamento assoluto. Nel « caso normale », ripetiamo non sempre realizzabile, occorre considerare con attenzione l'operazione topografica iniziale, per realizzare le condizioni prima dette, mentre nel « caso generale » si ha maggiore libertà d'azione e la possibilità di adattare le operazioni di presa fotografiche e topografiche, al monumento ed alla precisione che si vuole conseguire.

Molto frequenti sono i casi in cui è necessario elevare la camera da presa, ad esempio nel rilievo di scavi e zone archeologiche (asse di presa nadirale), per il rilievo di monumenti con prospetti alti o con spazi antistanti ridotti, ecc. Diverse sono le soluzioni adottate; è fuori dubbio che in questo settore le monocamere, magari con alcune modifiche, sono le più utilizzabili, per il piccolo peso, il minimo ingombro, la maggiore adattabilità.

Il caso generale bene si presta anche alla restituzione di tipo analitico.

Come esempi di monocamere ricordiamo: la U.M.K. 10/1318 della Ottica di Jena; la TMK della C. Zeiss (Oberkochen); la Terrestrial Wide Angle Camera 10/1318 dell'Ottica di Jena; la Wild P31; la MK.70 della Hasselblad; la Verostat Galileo.

5 - *Metodi che impiegano le bicamere*

Per bicamera intendiamo l'insieme di due camere fotogrammetriche di uguali caratteristiche, a distanza fissa e nota (detta base), con assi di presa perpendicolari alla base e quindi tra loro paralleli. Le due camere inoltre devono soddisfare altre condizioni, quali il valore di sbandamento nullo e la differenza di inclinazione trasversale nulla.

Come si vede, la bicamera realizza tutte le condizioni esaminate per il « caso normale » della presa: infatti anche la condizione di base orizzontale si realizza facilmente, perchè la bicamera è di solito sopportata da un basamento con tre viti calanti, posto in posizione centrale e munito di livella; le condizioni di parallelismo con il piano di proiezione si possono realizzare in varie maniere, materializzando, ad esempio, degli allineamenti paralleli o effettuando riporti di distanze opportune uguali.

La base di solito può variare tra due valori: ogni Casa Costruttrice infatti fornisce la bicamera con base piccola (di solito 40 cm) o con base grande (100 o 120 cm); basi maggiori costituiscono un grosso problema

costruttivo e di maneggevolezza. L'insieme delle due camere può subire delle inclinazioni (in alcuni casi, con valori predeterminati), fino alla condizione di assi di presa zenitali o nadirali.

Le bicamere dunque presentano il vantaggio della rapidità delle operazioni di presa, un non eccessivo lavoro topografico, utilizzo di restitutori semplificati, all'uopo costruiti, rapidità nelle operazioni di orientamento.

Il modesto valore della base, pone però i problemi già esaminati; pertanto il loro utilizzo è consigliabile, quando si vogliono ottenere rilievi di tipo « planimetrico », mentre la 3^a dimensione di solito ha precisione più scadente. Le bicamere, per le ragioni sopra dette, vengono proficuamente utilizzate nel rilievo di piccoli monumenti ed in altre speciali applicazioni della fotogrammetria del vicino. E' anche vero che, in assenza di altra attrezzatura, per aumentare a piacere il valore della base di presa, si può considerare e utilizzare solo una delle due camere o entrambe come una, ma così facendo si perdono quasi tutti i vantaggi che una bicamera offre, con lo svantaggio di utilizzare una strumentazione di solito molto ingombrante e pesante.

Un altro inconveniente, comune d'altronde anche a molte monocamere, è che essendo il formato lastra rettangolare, non è possibile disporre il lato più lungo o più corto a piacere in orizzontale o in verticale, a seconda cioè della situazione del monumento da rilevare (un lato risulta del 25 ÷ 30% maggiore dell'altro).

Invece che con base orizzontale, ci sono bicamere che sono predisposte per lavorare anche con base verticale: questo utilizzo può essere particolarmente vantaggioso quando il monumento da rilevare ha sviluppo in verticale.

Citiamo alcuni esempi di bicamere:

- la C 40 e la C 120 ($f = 64$ mm) della Wild;
- la S.M.K. 40 e la S.M.K. 120 della Zeiss di Oberkochen;
- la D.M.K. 100/1318 dell'Askania,
- la 2/0404 della Ottica di Jena ($f = 50$ mm);
- la Verostat o BSG 1 Galileo-Santoni;
- la « A special » della Galileo;
- la SKB-45 e la SKB 100 della Sökkisha.

6 - Alcune considerazioni sui restitutori utilizzabili

Nei precedenti paragrafi abbiamo esaminato, con particolare riguardo, le metodologie della presa dei fotogrammi, a seconda della camera a disposizione e delle altre considerazioni esposte. In effetti, alle operazioni di presa e di appoggio topografico, seguono le importantissime operazioni di restituzione e di disegno. Su queste ultime però, non credo sia necessario fare lunghi discorsi, più di quanto non sia già stato precedentemente fatto, perchè in definitiva sono operazioni molto simili a quelle che si fanno in fotogrammetria aerea. E' però essenziale fare notare che il disegno qui si differenzia dalla normale metodologia topografica, in quanto comprende anche una fase compilativa importante e delicata che richiede l'intervento e la stretta collaborazione di uno specialista, archeologo, architetto o storico dell'Arte. Questa operazione conclude tutta una serie di intese che si sono

sviluppate durante le varie fasi del rilievo e che hanno presupposto unitarietà di vedute ed efficace collaborazione.

Dal punto di vista della strumentazione, c'è da tenere conto che il formato delle lastre delle camere «terrestri» è più piccolo (si hanno diversi formati; i più comuni sono, in cm., 9×12 , 10×10 , 10×15 , 13×18); che le distanze principali delle camere possono anche avere valori molto diversi (molte sono le camere che hanno distanza principale compresa tra 50 e 100 mm; mentre si hanno anche esempi di camere con distanze principali notevoli, superiori anche ai 220 mm; a questo scopo i restitutori dispongono, a seconda del tipo, di telaietti opportuni ed ampia variazione della distanza principale o di camere di restituzione adatte, ecc.). I fotogrammi poi sono di solito solo in parte restituibili: per questo è necessario usare opportuni metodi durante le operazioni di orientamento relativo, annullando le parallassi in punti particolari dello stereogramma e calcolando, volta per volta, i valori della sovraccorrezione. La scala che si vuole ottenere in restituzione può avere valori molto grandi (sono correnti le restituzioni a scala $1/50$ e $1/100$, ma si possono avere anche scale più grandi) e quindi le precisioni richieste possono giungere all'ordine di qualche centimetro ed anche meno (questione preoccupante in particolare, sulla 3^a dimensione). Abbiamo accennato al fatto che non ci troviamo nei classici casi della fotogrammetria terrestre ed i restitutori analogici pertanto utilizzabili, possono anche non avere l'attrezzatura per le restituzioni terrestri. A parte i restitutori semplificati (costruiti come detto appositamente in funzione delle bicamere e che costituiscono un equipaggio unico, difficilmente utilizzabile in altre maniere), la scelta del restitutore deve essere sempre oculata.

Come è noto, i restitutori a proiezione meccanica hanno ad esempio una più ampia possibilità di accettare distanze principali diverse, entro dati limiti. I restitutori a proiezione ottica ed ottico-meccanica, sono invece limitativi: accettano solo infatti distanze principali corrispondenti a quella degli obbiettivi delle proprie camere.

Occorre, in generale, esaminare in quali casi ci si può trovare: se si dispone già di strumentazione di restituzione o se si è nella possibilità di comperare ex-novo. Nel 1° caso, se ad esempio si dispone di restitutori a proiezione meccanica, occorrerà provvedersi di camere da presa con focali comprese entro quelle accettate dai restitutori; si può, è vero, ricorrere a ingrandimenti o rimpicciolimenti delle lastre, variando di conseguenza opportunamente la distanza principale, ma a parte considerazioni varie (si deve poter disporre di apparecchiature adatte), è sempre un passaggio in più al quale si assoggettano le lastre e quindi non consigliabile.

Se si dispone invece di restitutori a proiezione ottica o ottico-meccanica, occorre avere una camera che abbia la stessa distanza principale delle camere di proiezione.

Nel 2° caso, cioè se si vuole costituire un'attrezzatura completa di presa e di restituzione, si ha evidentemente una maggiore libertà d'azione e si possono trovare soluzioni ottimali in funzione dei tipi di rilievo che si pensa di volere fare, dell'economicità complessiva e delle preferenze.

Le Case Costruttrici hanno oramai quasi colmato, in funzione di questo notevole interesse nel campo del rilievo di monumenti e di oggetti vicini, il vuoto che esisteva nel settore delle camere e dei restitutori adatti; molti strumenti, di notevoli caratteristiche sono stati immessi sul mercato (anche

se a costi ancora piuttosto elevati). Grande interesse, con varie applicazioni, hanno anche i restitutori analitici; si possono senz'altro prevedere sviluppi notevoli di tali tecniche, nel caso si riuscisse a realizzare, anche in Italia, un lavoro sistematico di rilievo dei monumenti, in particolare in quei casi in cui le prese possono solo essere effettuate con forti valori di convergenza, inclinazione, sbandamento, ecc., casi che altrimenti non troverebbero soluzione. Come esempi di restitutori, ricordiamo: il Terragraph della Zeiss Oberkochen, lo Stereoaotografo 1318 dell'Ottica di Jena; l'A 40 della Wild; il Verostat plotter della Galileo; l'Horigraph HB-100 plotter della Sokkisha; il Technocart dell'Ottica di Jena; lo Stereosimplex 2/b della Galileo.

7 - Cenni ai metodi di raddrizzamento

In parecchi casi, si può evitare di fare ricorso ai procedimenti prima esposti, ricorrendo invece ai procedimenti di raddrizzamento che come detto, impiegano non più coppie di lastre, ma lastre singole e richiedono una più breve elaborazione. Questi metodi possono essere utilizzati quando il monumento da rilevare ha prospetti piani ed in ogni caso, quando non interessa la 3^a dimensione: se il monumento ha degli oggetti o superfici irregolari, tutto ciò che sta fuori dal piano di riferimento, viene proiettato su questo piano, in posizione errata: l'errore (planimetrico) aumenta con l'aumentare della distanza dal piano.

Ricordiamo, in breve, che il raddrizzamento fotografico consiste nella trasformazione della fotografia originaria in una nuova fotografia, quale si sarebbe ottenuta se l'asse di presa della camera che ha scattato la iniziale fotografia, fosse stato perpendicolare al piano di riferimento (fig. 3). La fotografia raddrizzata, può essere ottenuta in opportuna scala (di solito, ingrandita).

Abbiamo qui fatto cenno al metodo fotografico, il più utilizzato, che si avvale di strumenti opportuni detti « raddrizzatori »; ma si può avere un raddrizzamento grafico (manuale, con l'aiuto delle leggi della prospettiva); oggi non è molto usato, mentre agli inizi faceva parte della cosiddetta « metrofotografia grafica », ed aveva quali validi sostenitori gli architetti, che in esso trovavano una presentazione più artistica ed uno stile più proprio, in opposizione alla « stereofotogrammetria », con carattere certamente più tecnico. Infine si può avere un raddrizzamento analitico che viene fatto di solito per punti. Si misurano su un tavolo (tipo ad es. « il Digimetro »), con possibilità di registrazione automatica, le 2 coordinate dei punti che interessano, su una fotografia ingrandita. Si effettua la trasformazione, con l'ausilio di un calcolatore elettronico, riferendo questi punti ad un sistema definito di solito da quattro punti noti opportunamente scelti in modo d'inquadrare il monumento o la parte di monumento da rilevare. I dati acquisiti, elaborati, sono poi riportati a disegno, alla scala voluta, mediante un tavolo tracciatore automatico, che può essere anche asservito direttamente ad un calcolatore. Il raddrizzamento analitico non ha teoricamente limitazioni strumentali; può essere ripetuto su più piani, opportunamente scelti (sui quali occorre avere i soliti punti d'appoggio). Il raddrizzamento fotografico, per ragioni meccaniche ed ottiche legate all'uso dei raddrizzatori, ha invece limitazioni: ad es. se l'angolo α (fig. 3) è superiore a certi valori (diversi a seconda dello strumento usato e della focale della camera da presa), il raddrizzamento può essere impossibile.

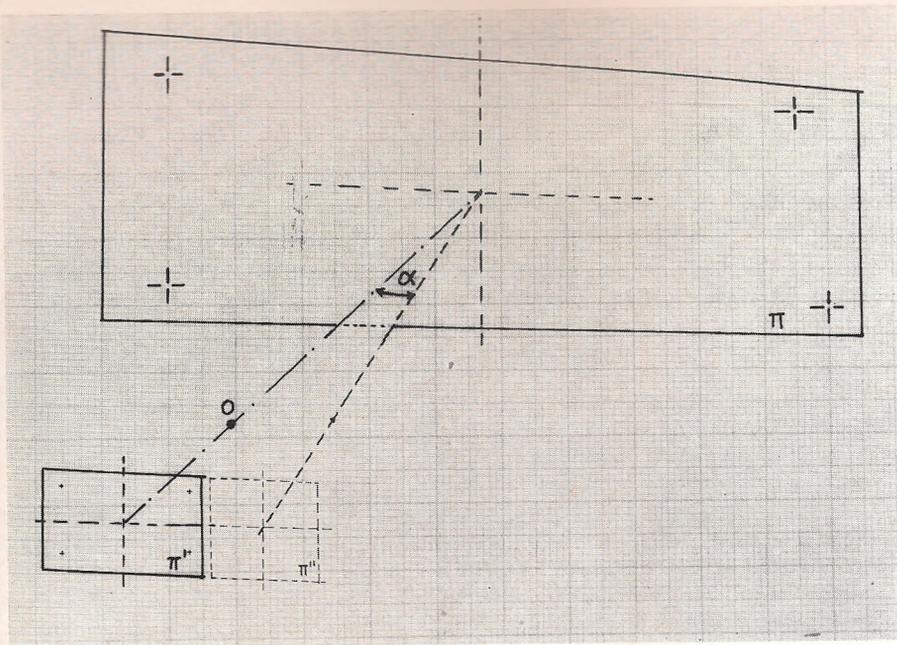


Fig. 3

Le camere da presa utilizzabili possono essere tutte quelle già viste; tra i raddrizzatori, ricordiamo: il Bausch e Lomb; il Kargl; lo Zeiss SEG. V ed in particolare il KEG. 30 della C. Zeiss recentemente (1971) prodotto.

L'appoggio topografico richiesto è, come detto, di almeno quattro punti su ogni fotogramma, posti in modo da racchiudere la parte da raddrizzare. Se il rilievo è costituito da più fotogrammi, si rende necessaria l'effettuazione di una rete di punti di appoggio, rilevabile con i metodi soliti della Topografia; si può anche ricorrere all'utilizzo di particolari telai con segnali artificiali, sostenuti da fili a piombo, sul piano del prospetto, a distanze note.

8 - Osservazioni conclusive

Per completare il panorama, bisogna fare un breve cenno a ciò che ancora rappresenta una novità e cioè l'impiego di fotografie a colori e dell'ortofotografia: come è noto, la fotografia a colori ha già un notevole impiego nell'aerofotogrammetria; non si trova invece sul mercato materiale su lastre, utilizzabile nelle camere da presa terrestri. Ci risulta che alcune prove siano state fatte utilizzando pellicole a colori incollate su supporti rigidi, con risultati abbastanza positivi: ma attualmente, il procedimento risulta un po' complicato, in particolare in campagna: si spera che una qualche soluzione possa favorire l'utilizzo delle fotografie a colori anche nei rilievi di monumenti, apportando così un notevole contributo all'aspetto interpretativo sempre molto importante.

Anche per quanto riguarda l'ortofotografia ci risulta che siano in corso delle prove da parte di diversi studiosi. Come è noto, gli ortoproiettori non sono ancora strumenti molto comuni o di facile reperimento, ma è certo che quando lo saranno, l'ortofotografia applicata ai monumenti potrà rappresentare un nuovo notevole ausilio. Infatti molte volte abbiamo sentito la richiesta, fatta da studiosi e da tecnici, di potere disporre di una fotografia « metrica » del monumento interessato: evidentemente, l'ortofotogramma soddisferebbe a pieno queste richieste.

All'inizio della nostra nota, avevamo accennato all'importanza di stabilire un collegamento tra fotogrammetria aerea e terrestre, per il rilievo di agglomerati urbani, centri storici e complessi monumentali. Sappiamo quanto è complessa un'operazione di questo tipo, anche dal punto di vista dello Storico, dell'Architetto, dell'Urbanista: infatti in questi rilievi spesso ciò che è importante non è il particolare, ma l'idea fondamentale che genera l'insieme, i rapporti (non solo geometrici) di volumi, di superfici, di linee. E questi possono essere percepibili in maniera soggettiva, anzi, alle volte, la loro validità è solo soggettiva.

Come può in questo difficile equilibrio, intervenire la Fotogrammetria che per sua natura è invece oggettiva, può giungere al particolare e concretezza sempre, geometricamente, tutto?

Al solito, penso sia necessario anche in questo delicato settore, non stabilire degli assurdi esclusivismi, ma cercare di intendere l'utilità che apporti diversi possono fornire alla soluzione di questi importanti problemi: e se si riconosce l'utilità di una qualche rappresentazione, mi sembra fondamentale che essa abbia una base valida e quindi metrica, alla quale poi si possono collegare tutte le altre considerazioni, soggettive o no.

Ma esistono anche difficoltà tecniche, in questo collegamento: il rilievo aereo deve risultare a scale molto grandi (1/500 o maggiori), il che richiede voli a quote notevolmente basse (sui 400 m. circa), con tutti i problemi che ciò pone; per aumentare la scala del rilievo si può pensare all'utilizzo di elicotteri e di dirigibili; sono state fatte prove anche con palloni frenati. E' però fuori dubbio che se si vogliono ottenere risultati validi, occorre poter fare le prese alle quote volute, con prese circa nadirali, con intervalli di scatto voluti, cioè con regolare sovrapposizione e andamento tra fotogrammi successivi.

Il rilievo da terra può invece seguire i criteri in precedenza esposti, in particolare nel caso di presa che abbiamo chiamato « generale »: le operazioni, data la loro vastità, devono essere abbastanza flessibili e bene armonizzate. In particolare, la rete topografica d'appoggio assume notevole importanza, in quanto deve poi permettere la fusione tra i vari rilievi.

9 - Attività del « Centro di fotogrammetria dei monumenti », di Torino

9-1. Per concludere, riteniamo interessante un breve cenno all'attività ed all'organizzazione del Centro di Torino. L'Istituto di Topografia e Fotogrammetria del Politecnico di Torino (Facoltà d'Ingegneria), si interessa al problema dell'applicazione di metodi fotogrammetrici al rilievo di monumenti, solo dal 1966.

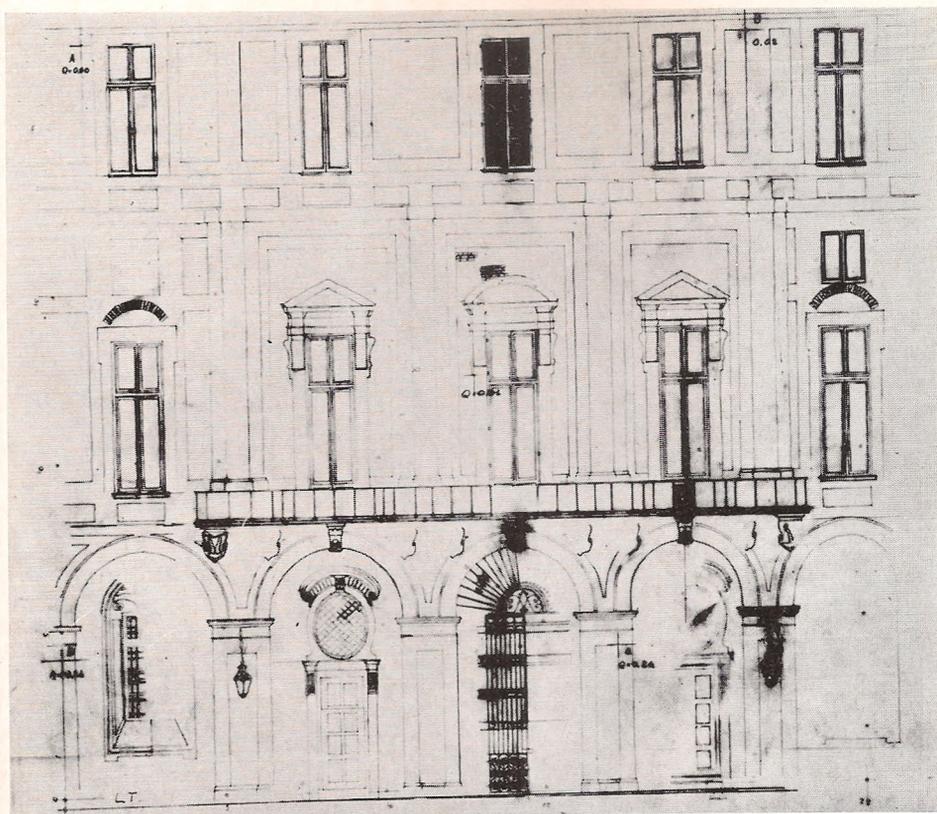


Fig. 4 - Esempio N. 1: PROSPETTO DEL CORTILE DI PALAZZO REALE TORINO (originale di restituzione)

Questo interesse è nato essenzialmente per le richieste di collaborazione fatte da studiosi illustri, nel campo dell'archeologia e della storia dell'Arte, dell'Università di Torino e di Milano, che qui desideriamo vivamente ringraziare, per il loro interessamento attivo e cordiale.

Questa richiesta aveva duplice finalità: quella di creare un Centro in Torino capace di svolgere un'attività completa, allineata sul piano scientifico con quella degli analoghi Centri nati in altre Nazioni; e di poter disporre, con una certa continuità e tempestività, di rilievi oggettivi e con determinate caratteristiche di precisioni, a scopo di studio, di restauro e di documentazione, per monumenti di particolare interesse artistico-storico.

Il Centro, a motivo di questioni burocratiche, ha però costituzione recente e nasce dalla collaborazione (questa oramai lunga e fruttuosa) tra l'Istituto di Archeologia dell'Università di Torino, diretto dal Prof. Giorgio Gullini ed il nostro Istituto di Topografia, diretto dal Prof. Giuseppe Inghilleri.

Nei primi tempi, disponevamo per le riprese fotografiche, del fototeodolite FTG1/B Galileo e per la restituzione del Beta/OMI. Pertanto i primi rilievi (Palazzo Reale di Torino - fig. 4 - 1966; Chiesa di San Lorenzo in To-

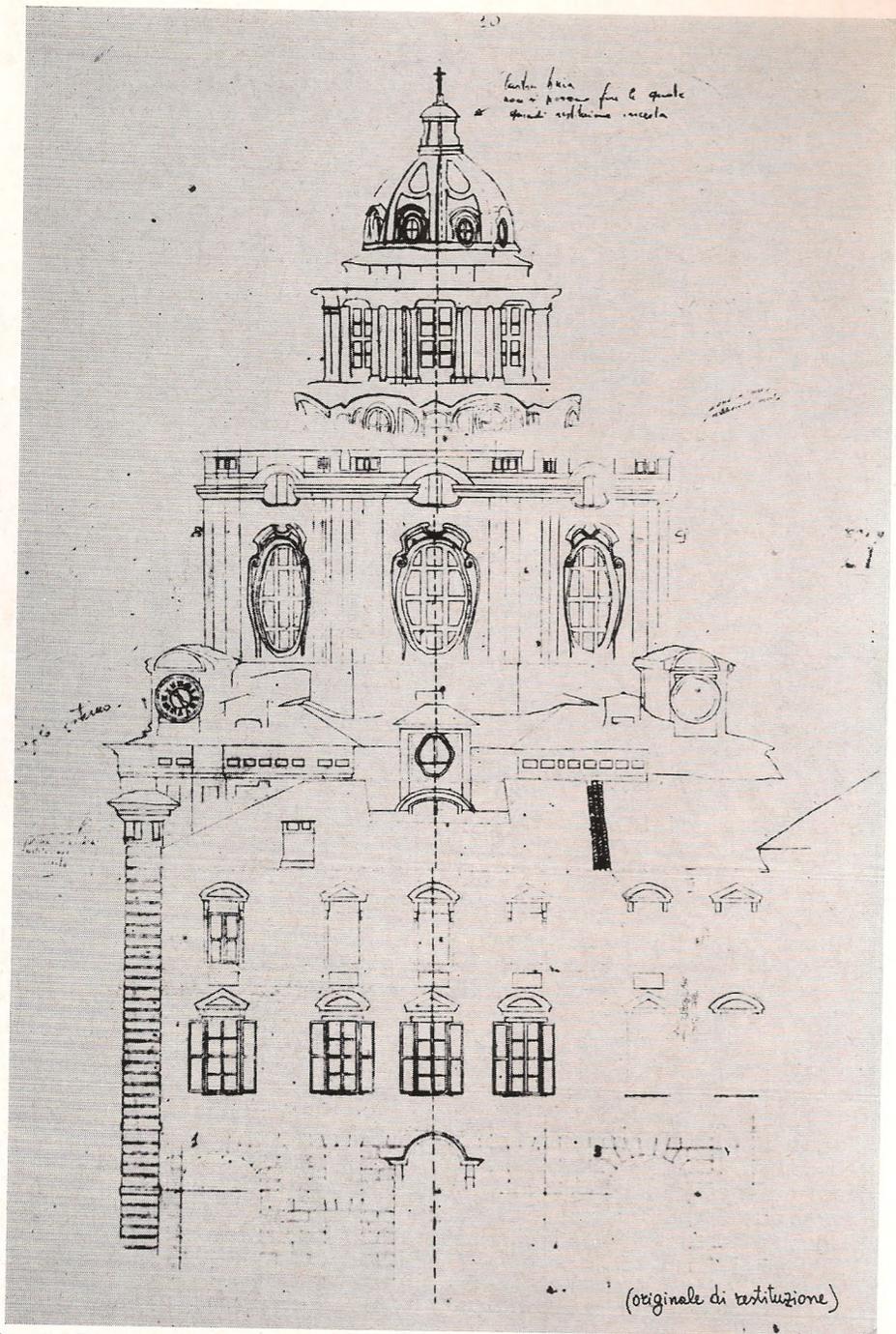


Fig. 5 - Esempio N. 2: CHIESA DI S. LORENZO - PROSPETTO PRINCIPALE TORINO (originale di restituzione)

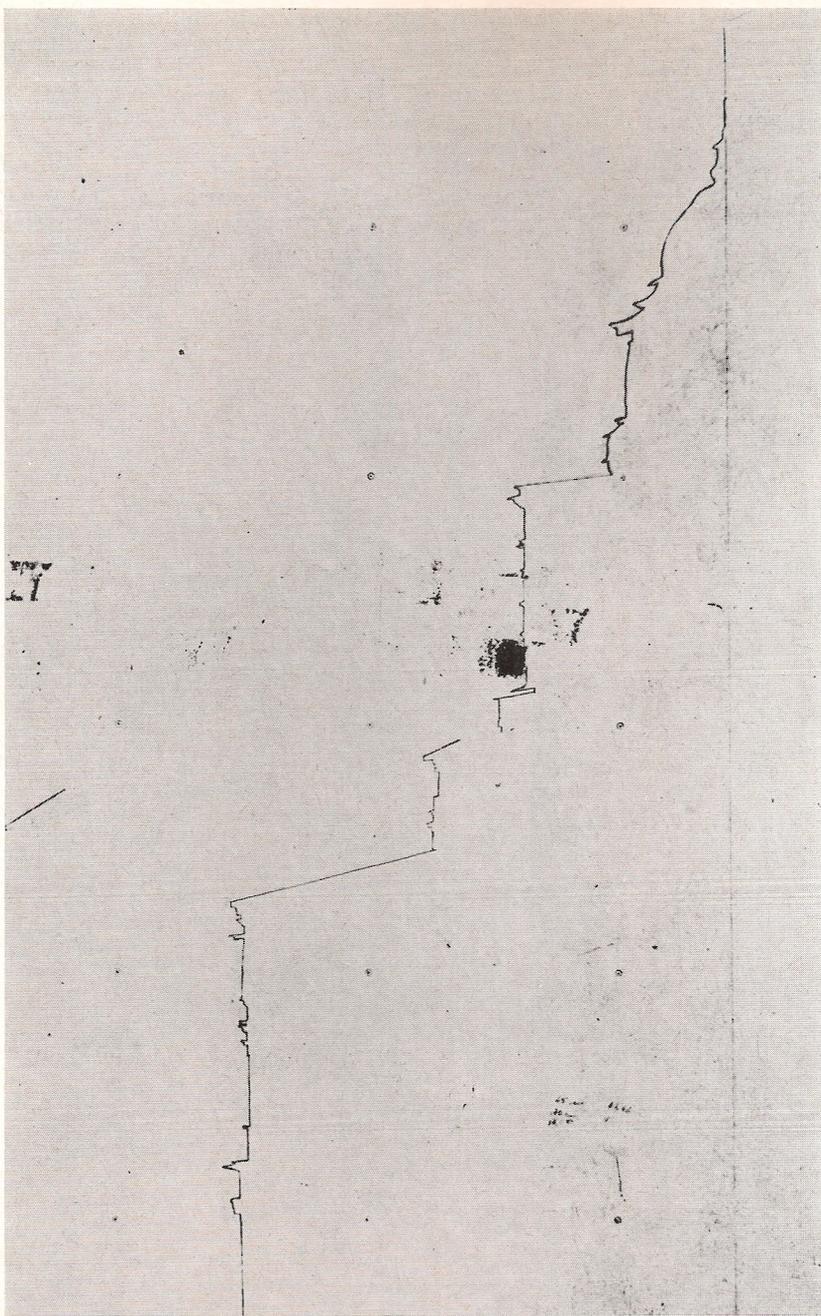


Fig. 6 - Esempio N. 2: CHIESA DI S. LORENZO - PROFILO ESTERNO
(originale di restituzione)

rino - figg. 5-6 - 1967) furono effettuati mediante metodi che permettevano l'utilizzo delle apparecchiature sopra dette, e con la collaborazione della Soprintendenza ai Monumenti, di Torino.

Fu poi acquistata dall'Istituto di Archeologia, la monocamera T.M.K. Zeiss, mentre l'Istituto di Topografia aveva la disponibilità di un restitutore Stereosimplex 2/B Galileo: con queste apparecchiature, furono effettuati i rilievi della campagna d'Iraq (1969-70) nella quale furono fatti i rilievi completi della Ziqqurat di Aqar-Quf (fig. 7), dei prospetti della Piazza dei Templi in Hatra, della volta del Taq-Kirsna (fig. 10) e di alcuni scavi in Seleucia.

Sempre in collaborazione con l'Istituto di Archeologia dell'Università

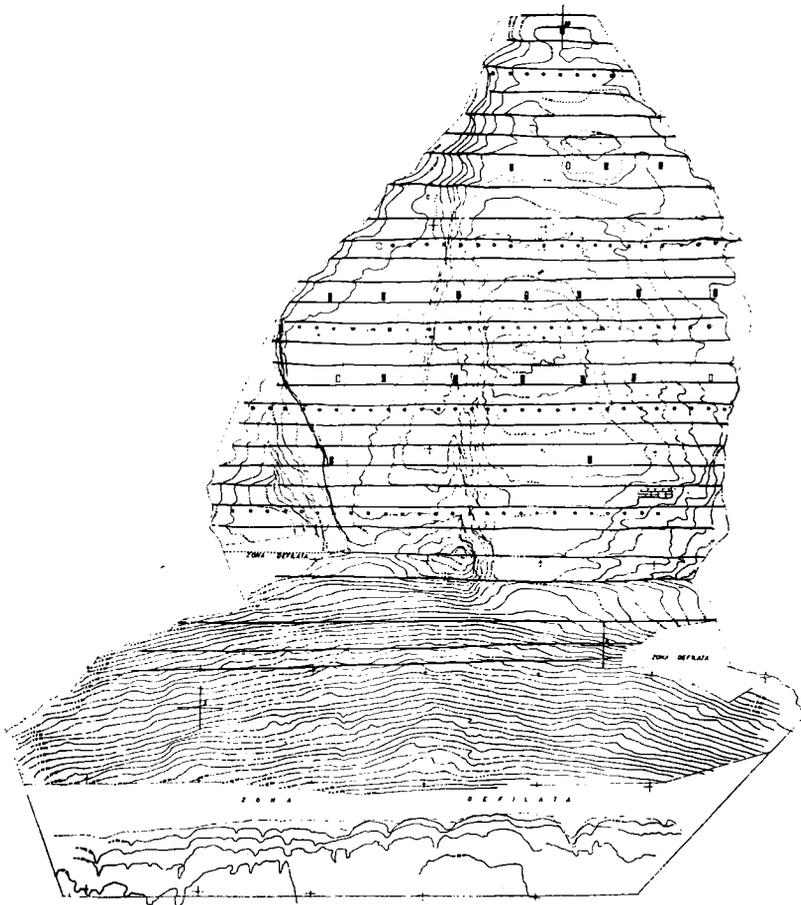


Fig. 7 - Esempio N. 3: PROSPETTO DI ZIQQURAT

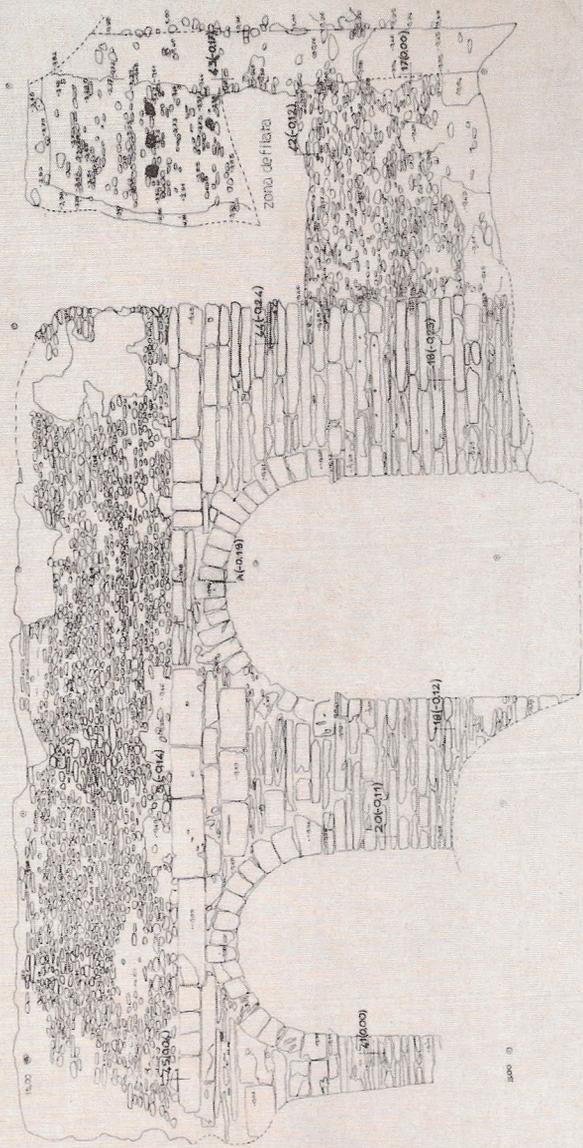
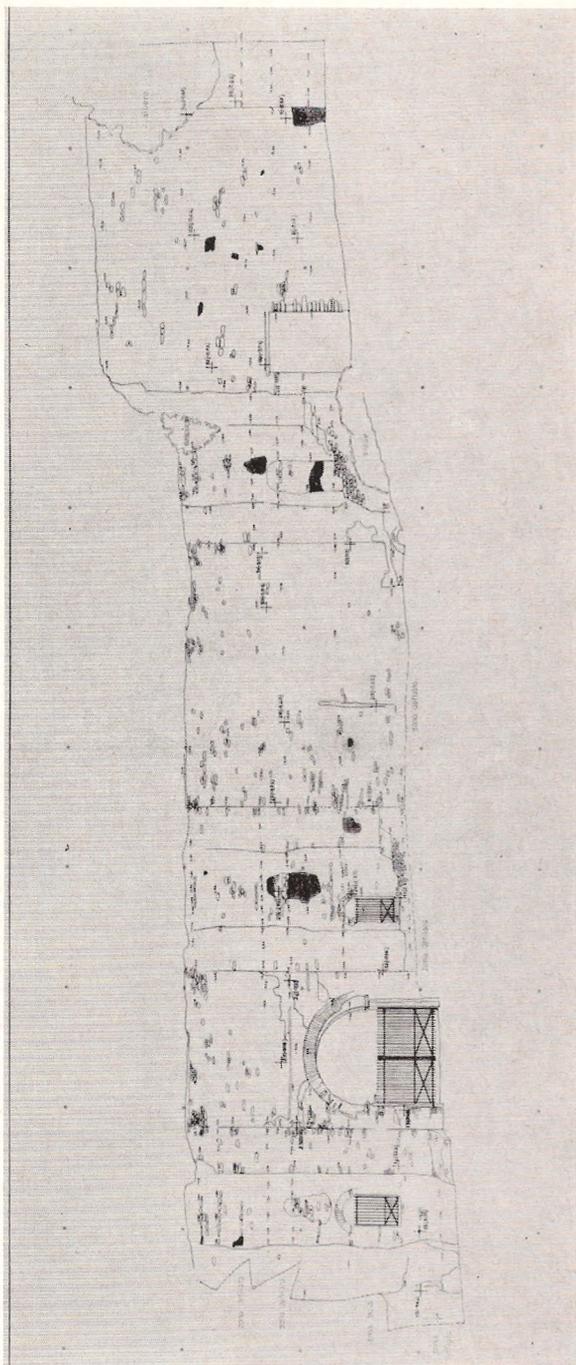


Fig. 8 - Esempio N. 4: SUSÀ - TERME GRAZIANE - LATO SUD - Scala 1:50
 Rilievo Fotogrammetrico



**Fig. 9 - Esempio N. 5: SUSA - TRATTO DI MURO ROMANO DALL'ARCO
DI AUGUSTO ALLE TERME GRAZIANE - Scala 1:50 - Rilievo Fotogrammetrico**

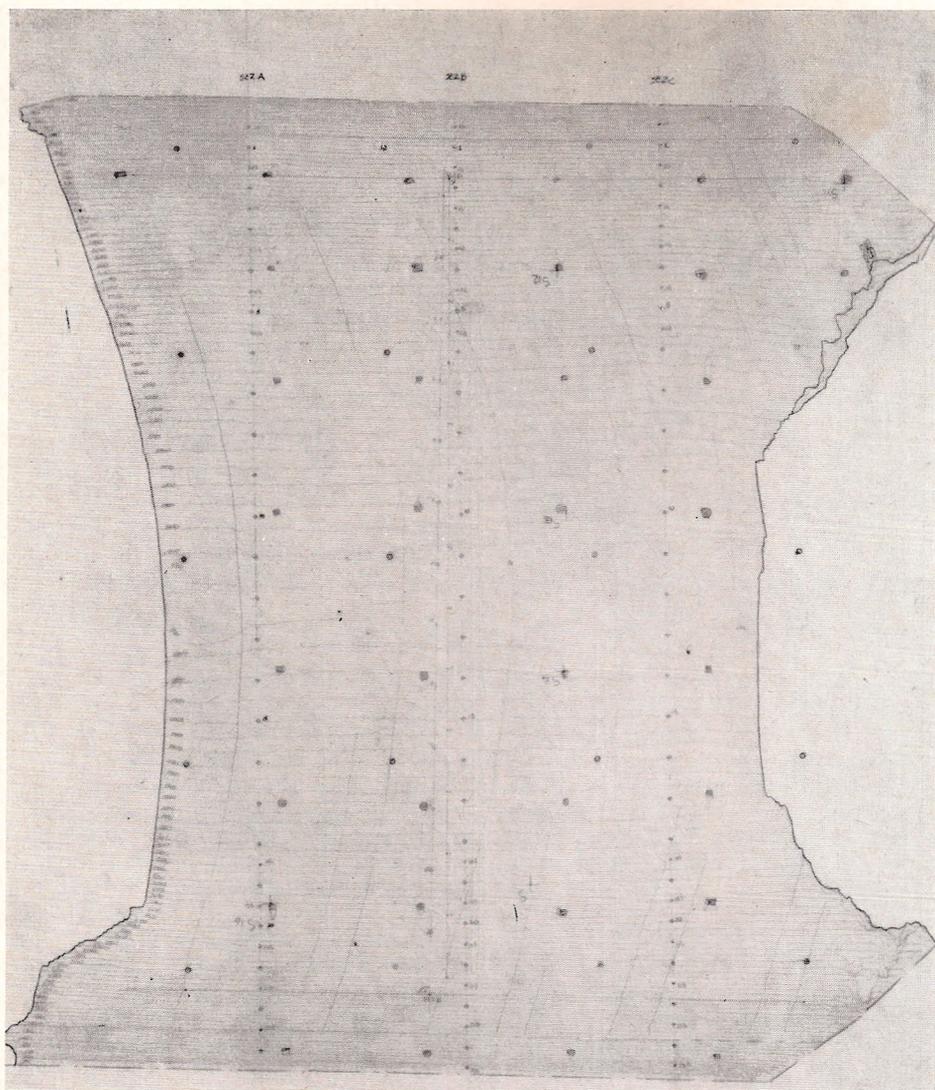


Fig. 10 - Esempio N. 6: TAQ-KISRA - Scala 1:50, Equid. 0.20
(originale di restituzione)

di Torino, fu fatta nel 1970 una campagna di rilevamenti in Sicilia (Selinunte), con il rilievo completo del Tempio E (fig. 11) (fu fatta anche una restituzione numerica relativa a due prospetti, per lo studio dell'inclinazione degli assi delle colonne).

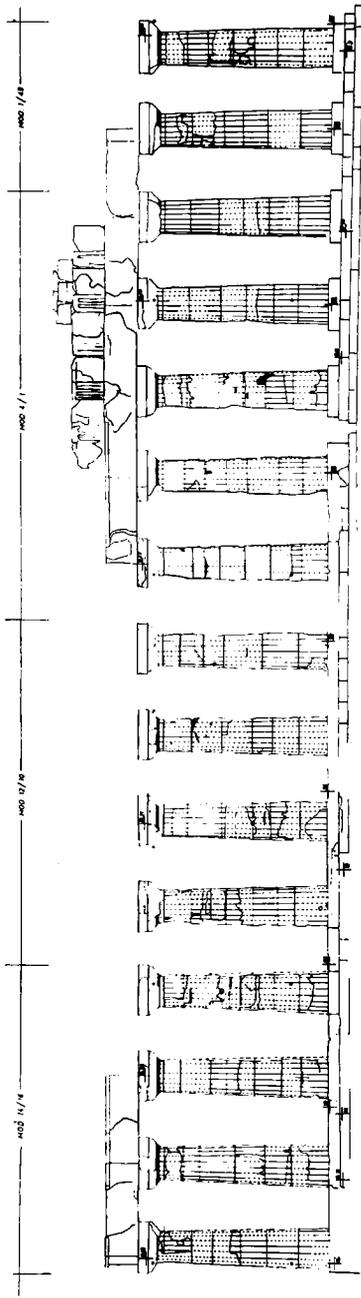
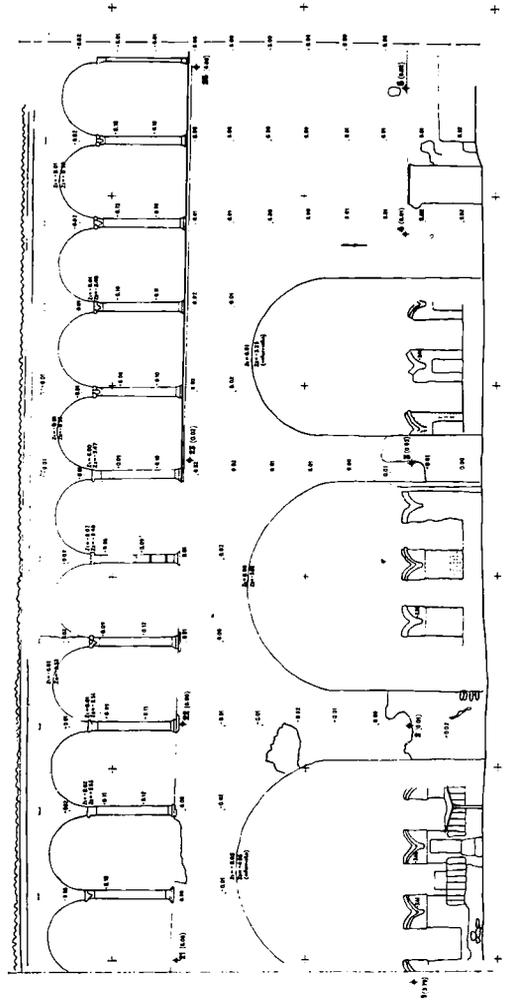


Fig. 11 - Esempio N. 7: PROSPETTO DEL TEMPIO E DI SELINUNTE
 Fig. 12 - Esempio N. 8: CASTELLO DI VIGEVANO



CASTELLO DI VIGEVANO

PROSPETTO DEL LOGGIATO DI RACCORDO TRA LA
 FALCONIERA E IL CORPO PRINCIPALE DEL CASTELLO

Scala 1:50

LEGENDA

- 21 - quota del punto sulla faccia superiore
- 21 - quota del punto corrispondente sulla faccia posteriore



BILIEVO FOTOGRAMMETRICO ESEGUITO DALL'ISTITUTO DI
 TOPOGRAFIA E FOTOGRAMMETRIA DEL POLITECNICO DI
 TORINO

Aprile 1971

Nel 1971, in collaborazione con l'Istituto di Storia dell'Arte dell'Università di Milano, furono fatti i rilievi (aerei e terrestri) del Castello di Vigevano (fig. 12) (con un esempio di triangolazione analitica ed un esempio di rad-drizzamento fotografico, per una parete sulla quale c'erano delle decorazioni presumibilmente del Bramante).

Il Sovrintendente alle Antichità del Piemonte, prof. Carducci, aveva intanto mostrato ampio interesse ai nostri metodi di rilievo, ed in collaborazione, furono rilevate le mura romane e le Terme Graziane in Susa (1971-72) (figg. 8-9).

Questa collaborazione con le Sovrintendenze aveva ad estendersi ed attualmente il Centro è interessato ai seguenti rilievi:

— anfiteatro romano di Susa e teatro romano di Benevagienna, per la Soprintendenza alle Antichità del Piemonte (in fase di esecuzione);

— rilievo dei templi di Agrigento, per la Soprintendenza alle Antichità di Agrigento;

— rilievo dell'Abbazia di San Galgano a Chiusdino, per la Soprintendenza ai Monumenti di Siena;

— rilievo della Villa dei Quintili a Roma, per la Soprintendenza alle Antichità di Roma.

E' stata anche svolta un'attività didattica, rivolta al personale direttivo e tecnico di varie Soprintendenze.

Fra i programmi del Centro c'è anche la costituzione di un Archivio Fotogrammetrico Nazionale, per conto della Direzione Generale delle Belle Arti.

Sono parecchi i problemi relativi alla formazione di un archivio e tra questi citiamo:

— si eseguono delle riprese fotografiche ed operazioni topografiche, ma senza sapere bene che cosa si richiederà poi in futuro, in restituzione;

— quali strumenti verranno usati in restituzione;

— quale deve essere la scala media più opportuna dei fotogrammi;

— opportuna conservazione delle lastre e del materiale topografico.

Sono problemi risolvibili, come attestano con la loro validità, gli Archivi già esistenti in altre Nazioni: per i più pessimisti, ricordiamo che sotto certi aspetti anche un monumento già restituito ad una certa scala, dopo qualche anno, per nuovi studi, può essere « obsoleto » e non avere più significato.

Abbiamo anche in corso alcuni esperimenti per l'inserimento con disegno automatico di prospettive di edifici o parti di edificio, su riprese fotografiche da punti noti. Per quanto più propriamente riguarda l'organizzazione del Centro, ricordiamo quelle che sono attualmente le strumentazioni di cui si dispone:

9-1-1°) camere:

F.T.G.1/B Galileo

bicamera Verostat Galileo

T.M.K. Zeiss

9-1-2°) restitutori:

Stereosimplex 2/B Galileo

Beta/OMI

Stereocartografo IV Galileo

Mono-comparatore TA1/OMI.

9-2. Tenendo conto del fatto che nell'Istituto di Topografia di Torino è attualmente in fase di controllo e studio il restitutore analitico D.S. delle officine Galileo, progettato dal Prof. Inghilleri, si è fatta una serie di programmi di lavoro per l'utilizzo di restitutori analitici in genere, nel problema del rilievo di monumenti, tenendo conto delle considerazioni precedentemente fatte. In particolare, queste prove ci sembrano interessanti, per i seguenti motivi:

9-2-1°) gli orientamenti, relativo ed assoluto, di una coppia di lastre vengono effettuati molto velocemente; pertanto viene un po' a cadere la preoccupazione della restituzione di un numero molto forte di modelli, per il costo e per il tempo impiegato e si possono più facilmente progettare riprese anche con distanze di presa minori, a vantaggio di una migliore precisione;

9-2-2°) le prese inclinate possono facilmente essere restituibili, qualsiasi sia il valore dell'inclinazione;

9-2-3°) le prese convergenti, con grosso valore dell'angolo di convergenza, possono essere trattate con opportuni programmi ma richiedono uno « zoom », per eliminare le grosse variazioni di scala delle zone omologhe dei fotogrammi.

Si auspica di iniziare quanto prima l'opportuna sperimentazione in questo importante settore.

Il Centro avrà, quanto prima, la disponibilità anche di un elevatore idraulico trasportato da un autocarro: se ne prevede l'utilizzo per le riprese dall'alto per gli scavi archeologici, per le riprese di monumenti molto alti. ecc.

Come si vede, molto è ancora possibile fare in questo importante campo del patrimonio culturale italiano. Speriamo che le indicazioni fornite in questa mia nota, possano essere di una qualche utilità, in questo senso.

BIBLIOGRAFIA

- H. FORAMITTI: *La Photogrammétrie ou service de la Construction et de l'Architecture*. Deutsche Bauzeitung No. 9/1966.
- C. SENA: *La Fotogrammetria nel rilievo di monumenti e lavori di Architettura*. Bollettino SIFET n. 2 - II Trimestre 1968.
- M. CARBONNELL: *L'Histoire et la situation présente des applications de la Photogrammétrie à l'Architecture*. Rapport sur invitation au XI Congrès Internationale de Photogrammétrie (1968).
- L. HARDEGEN: *L'utilisation de la Photogrammétrie pour la conservation des Monuments Historiques*. Revue Schweizerische Technische Zeitschrift (1969 - N. 35).
- C. SENA: *Corso di Fotogrammetria per il Rilievo dei monumenti: impianto e strumenti topografici*. Ed. Giappichelli, Torino, 1971.
- B. ASTORI - C. SENA: *Considerations on the Photogrammetric survey of Castle of Vigevano*. Presented paper al XII Congresso Internazionale di Fotogrammetria - Ottawa 1972.
- COMITÉ INTERNATIONAL DE PHOTOGRAMMÉTRIE ARCHITECTURALE: *La Photogrammétrie Architecturale de 1968 à 1971*. Bulletin N. 45 (1972) de la Société Française de Photogrammétrie.
- C. SENA: *A Photogrammetric Survey of some monuments in Iraq*. Presented paper al XII Congresso Internazionale di Fotogrammetria - Ottawa 1972.
- LOSCHNER - BERLING - FORAMITTI: *Architekturphotogrammetrie*. Denkmalpflege, Kulturjüterschutz - Aachen 1972.