

REFERENCE

- [1] *Ackermann, F.*: «Großmaßstäbige Aerotriangulation». Report given at the Symposium of Commission IV of the SIP at Prague, 1966, 31 pages.
- [2] *Pichlik, V. und Skládal, L.*: «Problems of Accuracy Facing Czechoslovak Aerial Photogrammetry in Built-up Areas on 1 : 1 000 to 1 : 5 000 Scales». Geodeticky a Kartograficky obzor, No. 12 (54) Special Edition, pp. 1-14.
- [3] *Nagy Pál Jenő*: «Vermessung von Innengebieten öffentlichen Charakters mit der Anwendung von stereophotogrammetrischen Grundmaterialien». Report given at the Symposium of Commission IV of the SIP at Prague, 1966, 9 pages.
- [4] ... «Handbuch für die topographische Aufnahme der Deutschen Grundkarte (Top. Handbuch)». Compiled by the Land Survey Offices by order of the Working Committee of the State Survey Offices of the Federal Republic of Germany, Stuttgart 1956, 171 pages.
- [5] *Jerie, H. G.*: «Theoretical Height Accuracy of Strip- and Block- Triangulation with and without Use of Auxiliary Data». Report given at the Symposium of Commission III of the SIP on Aerotriangulation, Urbana/III., 1966.
- [6] *Imhof, E.*: «Kartographische Gelädedarstellung». Verlag Walter de Gruyter u. Co., Berlin 1965, 425 pages.
- [7] *V. Gruber, O.*: «Bildmaßstab und Kartenmaßstab». Bildmessung und Luftbild 1937, pp. 98-102.
- [8] *Kasper, H. and Blaschke, W.*: «Luftbildmessung und Straßenbau». Reprint from «Brücke und Straße», Nos. 1, 2, and 3, 1960, 32 pages.
- [9] *Kersting, R.*: «Die Anwendung der Luftbildmessung in der Flurbereinigung». Thesis Technische Hochschule, Darmstadt 1959, 93 pages (see also No. 26 of the «Schriftenreihe für Flurbereinigung», published by the Federal Ministry of Food, Agriculture and Forestry).
- [10] *Blachut, T.J.*: «Results of Experimental Plotting for 1 : 50 000 Maps». The Canadian Surveyor, Vol. XV, No. 3, May 1960, pp. 138-160.
- [11] *Förstner, R.*: «Das Versuchsfeld Reichenboch der OEEPE» (in preparation).
- [12] *Förstner, R.*: «Paßpunktbestimmung. Ein Beitrag zur indirekten Streckenmessung». Thesis Technische Hochschule, Berlin. Luftbild und Luftbildmessung, No. 23, 1943.
- [13] *Buchholz, A.*: «Photogrammetrie». VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1960, 520 pages.
- [14] *Förstner, G.*: «Verteilung von Lagefehlern». Bildmessung und Luftbild 1942, No. 1/2, pp. 18-27.
- [15] *Ackermann, F.*: «Über die durch Blockausgleichung erzielbare Lagegenauigkeit». Report given at the 30th Photogrammetric Weeks in Karlsruhe 1965.
- [16] *Ackermann, F.*: «On the Theoretical Accuracy of Planimetric Block Triangulation». Report given at the International Symposium on Aerotriangulation, Urbana/III. (USA), 1966.
- [17] *Schwedefsky, K.; Rube, K.; Förstner, R. and Burkhardt, R.*: «Die Radialschlitz-Triangulation. Eine neue Ausführungsform der Radialtriangulation». Luftbild und Luftbildmessung, No. 29, 1944, 107 pages.
- [18] *Förstner, R.*: «Further Results of the Renfrew International Experiment». The Canadian Surveyor, Vol. XVIII, No. 2, pp. 27-35 and No. 3, pp. 62-67 (see also: «Weitere Ergebnisse aus dem internationalen Versuch Renfrew». NaKaVer., Ser. I, No. 27, pp. 5-39).
- [19] *Kneißl, M.*: «Forschungsvorhaben Roggenstein». DGK, Ser B, No. 89 1965, 95 pages.

CONFRONTO ECONOMICO FRA I METODI TERRESTRI DI RILEVAMENTO E QUELLI FOTOGRAMMETRICI

Prof. R. FÖRSTNER
Francoforte sul Meno

SOMMARIO

E' scontato che usiamo la fotogrammetria per scopi cartografici. Ci asterremo dal fare un esteso paragone tra i metodi puramente terrestri e quelli fotogrammetrici. Ci occuperemo unicamente della determinazione dei punti di controllo e dei lavori terrestri complementari. L'economia di queste due operazioni dipende in gran parte dalla scala dei fotogrammi. Per questa ragione, abbiamo dapprima studiato in che modo la scala dei fotogrammi sia influenzata dalla precisione occorrente, dalla interpretazione, dal restitutore e dalle dimensioni della carta. Il costo della determinazione terrestre dei punti di controllo è confrontato col costo di una aereotriangolazione. Il rapporto fra le spese per la determinazione di un punto di controllo e la spesa per la formazione di un modello di aereotriangolazione è decisivo per la scelta del procedimento da usare. Dalle formule date noi possiamo facilmente concludere in quali casi la triangolazione di una strisciata e di un blocco è più conveniente della determinazione terrestre dei punti di controllo. Il volume del lavoro complementare terrestre varia considerevolmente, e spesso dipende dalle condizioni locali.

In questa comunicazione sono dati solo degli spunti operativi. In particolare si raccomanda di pubblicare più frequentemente dati attendibili ottenuti dalla pratica del lavoro topografico e fotogrammetrico.

1. INTRODUZIONE

Il compito di trattare problemi economici è sempre cosa alquanto difficile, perchè le persone che sono molto addentro nelle questioni di fotogrammetria ne parlano molto raramente, mentre al contrario coloro che ne parlano, sono nella maggior parte dei casi poco informati sull'argomento.

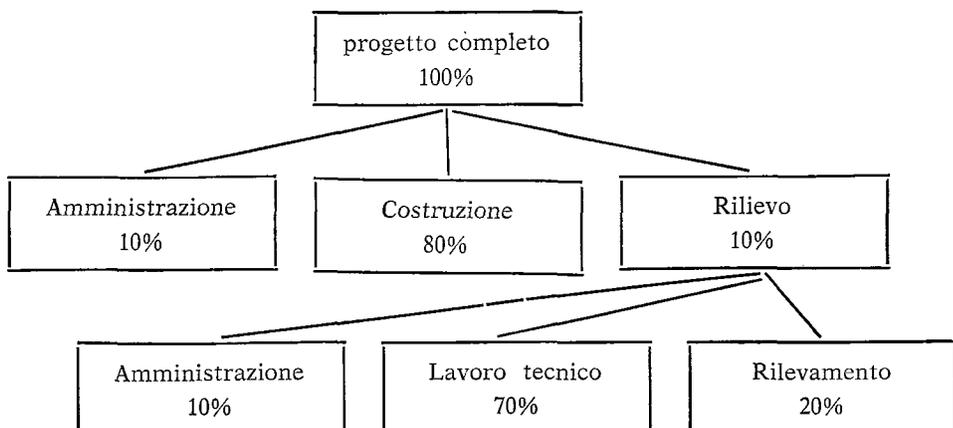
Difficilmente una compagnia privata rivela il segreto dei suoi calcoli economici, ed i calcoli degli enti pubblici devono essere trattati con molta cautela perchè detti enti non sempre stimano in modo esatto.

Alcuni anni fa, ad esempio, ebbi in visita un personaggio che si lagnava dell'alto costo di un rilievo fotogrammetrico. Egli era dell'opinione che sarebbe stato molto più conveniente fare il lavoro in « economia »; perchè così avrebbe avuto solo da pagare il volo. Ma aveva completamente trascurato il fatto che qualcuno avrebbe dovuto pagare l'ammortamento degli strumenti di restituzione che intendeva usare, e che anche gli operatori impiegati dovevano pur essere pagati su qualche bilancio.

Ammetto che il titolo nella sua forma presente mi ha causato non poche difficoltà. I sottotitoli della versione francese, comunque, mi hanno dato qualche traccia. Essi riguardano la ripresa e la restituzione di fotografie aeree per produrre fotogrammetricamente serie di carte a scale diverse, e trattano degli svantaggi e dei vantaggi della aereotriangolazione.

Non si prenderanno in considerazione le carte che coprono una intera regione, la cui produzione è spesso considerata come un compito culturale; nella maggior parte dei casi invece, il rilievo topografico è solo una parte di un progetto più ampio, come la costruzione di strade importanti o di case, l'esecuzione di una ricognizione fondiaria, ecc.; in questi casi solo approssimativamente il 10% dell'intero lavoro appartiene al campo della rilevazione topografica.

Se dividiamo questo 10%, troviamo che la maggior parte di esso è assorbito da lavoro di progetto e restituzione, consultazione con le persone interessate e simili, e che la porzione del lavoro di rilevamento topografico vero e proprio ammonta ad uno scarso 20%.



Ecco un esempio pratico: il bilancio preventivo della Città di Francoforte per le infrastrutture, ad esempio la costruzione di ponti e strade, ingegneria idraulica, lavori di drenaggio ecc., ammonta approssimativamente a 60 milioni di D.M., mentre il bilancio preventivo dell'Ufficio topografico municipale ammonta a 3 milioni di D.M.

2. COMPITI

Dobbiamo includere la fotogrammetria sia nel 20% del lavoro di misura vero e proprio, sia nel 2% del progetto totale. La fotogrammetria non conduce una vita sua propria, influenza invece altri campi di attività, ma fino ad ora questo effetto è stato insignificante.

Quale ne è la ragione?

Il più delle volte ci si aspetta che il nuovo metodo di misura dia dei risultati che abbiano un significato generale. Per esempio, si sono stabilite certe tolleranze che sono applicabili solo a determinati procedimenti. Però in seguito, il nuovo metodo è giudicato anche per mezzo di queste tolleranze. Mutamenti organizzativi di piccola entità sono considerati scomodi, perchè si è troppo pigri per cambiare i metodi tradizionali.

Per esempio, se supponessimo che gli strumenti di restituzione stereoscopica siano già vecchi di un centinaio d'anni, e che qualcuno oggi dovesse inventare l'asta metrica e il longimetro a nastro, allora le regole esistenti dovrebbero essere modificate in questo modo:

da che si è riusciti a misurare brevi distanze con accuratezza sufficiente tramite le aste ed i nastri, non ci sono obiezioni per l'uso di questi strumenti per distanza sopra i 50 metri.

Ma penso che la fotogrammetria abbia trovato assistenti di valore se ben usati; mi riferisco ai calcolatori elettronici, la cui utilità nessuna organizzazione di rilevamento può, a lungo andare, smentire, ed i cui risultati bisogna alla fine riconoscere.

E' piuttosto divertente ricordare che alcuni topografi, in posizioni direttive, hanno protestato per molti anni contro la determinazione fotogrammetrica delle coordinate nei sistemi di rilevamento ad estensione nazionale, con il pretesto che queste coordinate erano inadatte ad una revisione. Oggi questi stessi topografi, senza esitare, fanno uso delle medesime coordinate fornite dal calcolatore, ed anzi lodano con enfasi questo metodo.

Quali saranno dunque ora i nostri settori di indagine più importanti?

— Innanzitutto ricordo la determinazione delle coordinate, e non conta se esse sono usate per scopo catastale, per ricostruzione fondiaria o per la redazione di grafici per progetti di costruzione. Perciò dobbiamo considerare tutte e tre le dimensioni.

- Il prodotto finale dei rilevamenti topografici sono mappe o piante. Ma questo campo di lavoro, comunque, difficilmente riguarda i calcolatori elettronici. Alle carte del rilevamento nazionale devono essere aggiunte tutte le mappe per i progetti di costruzione per la pianificazione di città e simili. A parte la rappresentazione completa della planimetria, anche quella altimetrica è di particolare importanza. Non voglio discutere sul significato del termine « completo » per via del poco tempo a disposizione.
- Col raddrizzamento la cosa è differente. Ma non dovremmo dimenticare che anche lì la topografia ha un suo compito. Chi fornisce prese grandangolari per un mosaico al 25.000, e chi richiede per differenze di altezze di 500-1.000 metri errori planimetrici di 1-2 mm, ci domanda alla fin fine di eliminare le leggi di natura. Ciò non si può applicare alla produzione di ortofotografie e « Drop Lines ».

Se cercassimo di discutere interamente il nostro argomento sulla economia dei procedimenti di rilevamento topografico, noi dovremmo esaminare tutti e tre questi settori e determinare il costo ed il tempo richiesto sia per il metodo terrestre che per il metodo fotogrammetrico. Inoltre dovremmo distinguere, in accordo con le esigenze della pratica, tra un nuovo progetto di rilevamento e l'aggiornamento di quello esistente. Specialmente questa ultima possibilità potrà causare ai rilevatori notevoli affanni per il futuro. Poi dovremmo chiederci, per esempio, quanto denaro è stato impiegato per il rilevamento di una lottizzazione? e quanto ne potremo risparmiare usando la fotogrammetria? e quanto denaro è richiesto per il rilevamento al 25.000 o al 5.000 con la tavoletta o con il tacheometro? e quanto costa lo stesso rilevamento applicando i procedimenti della fotogrammetria? cosa costa l'aggiornamento topografico della carta di una città usando il metodo tacheometrico, e quanto costa lo stesso con il sussidio di ortofotografie?

Potremmo rispondere a queste domande chiedendo a differenti imprese di sottoporci offerte per ogni metodo di rilievo e per ogni specifico lavoro. Ma ognuno degli interpellati non giungerà forse a differenti risultati anche in dipendenza delle sue diverse capacità e sistemi organizzativi? e chi potrà dare una risposta attendibile alle domande: quanto costa un rilievo tacheometrico di 100 Km² alla scala di 1:5.000?

Non voglio ulteriormente complicare le cose facendo l'ipotesi dell'uso della fotogrammetria. Nella maggior parte dei casi ci asterremo dal far paragoni tra i metodi esclusivamente terrestri, e ci limiteremo ai lavori riguardanti il settore in cui si compenetrano metodi fotogrammetrici e terrestri, e precisamente:

- la determinazione dei punti di appoggio
- i lavori complementari a terra.

L'economia di questi due settori dipende largamente dalla scala della carta. Ma le necessità sembrano contraddirsi, dato che la determinazione dei punti di appoggio è maggiore per fotogrammi a piccola scala, mentre il lavoro complementare terrestre è proprio delle grandi scale. E noi dobbiamo accordare entrambe le esigenze.

3. LA SCALA DEI FOTOGRAMMI

3.1 *L'influenza della precisione*

La precisione della restituzione non dipende solo dalla scala dei fotogrammi, bensì anche dal restitutore dalla macchina da presa e dall'operatore.

Vi sono due differenti tipi di restitutori: quelli analogici, ed i comparatori. I comparatori sono usati solo per la determinazione delle coordinate. Per le macchine fotogrammetriche le dimensioni della pellicola e l'apertura dell'obiettivo giocano un ruolo importante. Faremo distinzione tra i formati 18x18 cm e 23x23 cm, nonchè tra fotogrammi normali, grandangolari e supergrandangolari. Oggi però si sa che la precisione non dipende solo dagli strumenti, bensì anche ed in forte misura dall'operatore. Perciò dovremo includerlo nel nostro ragionamento.

Siamo anche dell'opinione che sia stato ormai raggiunto il limite delle possibilità di misura. La precisione della restituzione potrà essere migliorata solo da strumenti nuovi. In accordo col «test» Reichembach dell'OEEPE, l'errore medio ottenuto con doppie misure fatte con restitutori analogici ammonta allo incirca a $3,5 \mu$ (nella scala del fotogramma). Un Centro fece eseguire le doppie misure da due differenti operatori. L'errore medio di misura aumentò a 10μ !

Bisogna comunque ricordare che in un caso l'ingrandimento nello strumento era in media di $2,5 X$, mentre nell'altro era solo di $1,8 X$. Se paragoniamo le coordinate finali con quelle ottenute per via terrestre, scompare la differenza di precisione in ambedue le misure.

Se confrontiamo i risultati delle misure fatte con restitutori analogici, con quelle eseguite ai comparatori, troviamo una situazione analoga alla precedente. Qui si deve tener conto della differenza di scala del modello. Alcuni anni fa ci siamo trovati di fronte ad un problema di questo tipo, quando apparvero sul mercato i teodoliti forniti di micrometro ottico: l'errore di lettura non era correlato all'errore di collimazione.

3.1.1 Errori planimetrici

Supponiamo che l'errore medio delle coordinate di un punto segnalizzato, appartenente ad un singolo modello in restituzione, con quattro o cinque punti di controllo, sia pari a $m_o' = 12 \mu$ (nella scala del fotogramma), un valore che è già stato usato da *Ackermann* (1) al «Symposium» di Praga.

Con misure al comparatore, lo stesso errore è di minore entità. Le opinioni sugli errori nelle coordinate di punti non segnalizzati sono ancora discordi. La OEEPE trovò un errore di $0,25 m$ (al vero) per punti facilmente identificabili, ed un errore di $0,50 m$ per punti difficili da identificare.

La scala dei fotogrammi variava tra $1:4700$ e $1:10.000$. Dato il fatto che l'errore di misura è relativamente piccolo, l'errore di identificazione per grandi scale è relativamente più grande che per le scale minori.

Ciò è parzialmente in contrasto con i risultati pubblicati al Congresso di Praga. In accordo con questi risultati l'errore medio dovrebbe essere di circa 35μ sul fotogramma (cfr ad esempio (2) e (3)). Ma supponiamo che la precisione di restituzione richiesta sia $m_o'' = 0,2 mm$.

Da ciò si conclude quanto segue:

- Se prendiamo i risultati ottenuti dall'OEEPE per punti non segnalizzati allora la precisione per punti facilmente identificabili non è sufficiente per una restituzione in scala $1:1.000$. Se mescoliamo «punti di facile e punti di difficile identificazione», la maggior possibile scala di restituzione sarebbe $1:2.000$.

- Ma se prendiamo i risultati delle varie relazioni pubblicate a Praga, allora:

$$m_b = 6m_k \quad (1)$$

(m_b = denominatore della scala del fotogramma, m_k = denominatore della scala della carta); ad es. un fotogramma in scala $1:6.000$ sarebbe sufficiente per restituire al 1.000 . Se prendiamo la stessa precisione, per la restituzione di linee, allora la stessa legge è applicabile all'intera restituzione, per es. la planimetria di una carta all' $1:5.000$ potrebbe essere dedotta da fotogrammi dall' $1:30.000$. Per la «Carta fondamentale tedesca» all' $1:5.000$ comunque, l'errore medio planimetrico di un punto da ripristinare ammonta a $\pm 3,0 m$ (cfr. (4)).

In accordo con ciò sarebbe anche sufficiente un fotogramma in scala $1:60.000$.

- Se con misure di coordinate con punti segnalizzati è possibile ottenere l'errore medio m_o , il denominatore della scala richiesta è:

$$m_b = \frac{m_o}{m_o'} \quad (2)$$

Se $m_o = 6 cm$. — precisione che frequentemente non è ottenuta neppure

per punti trigonometrici — allora $m_b = 5.000$. Per progetti speciali, come ad es. rilevamenti di ferrovie, è richiesta una maggiore precisione, soprattutto in fatto di precisione relativa.

— Se i punti segnalizzati sono solo da restituire, si ha:

$$m_b = 16 m_k \quad (3)$$

Se non ci sono altre ragioni, da fotogrammi all'1:15.000 si possono trarre carte all'1:1.000.

3.1.2 Errori altimetrici

Supponiamo che l'errore medio della parallasse orizzontale di un punto segnalizzato sia costante e pari a $m_{px} = 12 \mu$ (nella scala del fotogramma).

Questo valore non è ancora stato confermato dalle ricerche pratiche per tutte le scale e per tutti i tipi di macchine.

Nel caso di fotogrammi supergrandangolari, *Jerie*, (5), ammette per m_{px} un valore che è approssimativamente più alto del 20%.

Ora

$$m_{px} = m_h' \cdot \vartheta \quad (4)$$

In fotogrammi normali il rapporto di base è circa 0,3; in fotogrammi grandangolari è di 0,6, e per i supergrandangolari è 0 = 1.

Ciò prova che l'errore altimetrico dipende dal tipo di macchina: ad es m_h' diverrà 40 μ , 20 μ , 12 μ , rispettivamente.

Dall'equazione (4) risulta pure che con le stesse dimensioni dell'immagine l'errore altimetrico è proporzionale alla focale f . Per il formato di 23x23 cm.

$$m_h' = 0,13 \cdot 10^{-3} \cdot f \quad (5)$$

Per punti non segnalizzati supponiamo $m_{px} = 18 \mu$ (la valutazione ottenuta da Pichilik e Sklädol (2) per i vertici delle gronde sono mediamente dello stesso ordine di grandezza). Il valore corrispondente per il disegno delle curve di livello non è ancora noto con esattezza; e di ciò diremo più avanti.

Ora qual è la precisione delle quote riportate sulla carta? Sembra pressoché impossibile rispondere a questo quesito. *Koppe e Hammer* stabilirono per via empirica che gli errori in quota delle curve di livello crescono proporzionalmente alla pendenza del terreno ed hanno posto:

$$m_h = a + b \cdot \text{tang. } \alpha \quad (6)$$

Sfogliando la letteratura corrispondente si desume che la dipendenza dell'errore altimetrico m_h dall'inclinazione α è alquanto discutibile. Ma questa non è la sola difficoltà.

Se raggruppiamo i coefficienti a e b in concordanza con l'equazione (6) per differenti scale, e cerchiamo di trarne un valore medio come funzione della scala della carta, allora troveremmo che ciò è in pratica impossibile. D'accordo con *Imhof* (6), per es. l'errore medio altimetrico della carta topografica all'1:25.000 della Germania, sorpasserebbe l'errore medio della carta federale all'1:5.000 di 0,1 m, e l'errore medio della carta di Francia all'1:20.000 sarebbe più piccolo!

Se supponiamo una pendenza media del terreno e trasformiamo gli errori altimetrici, allora possiamo ammettere una legge che pressappoco dice:

$$m_h = c_t \cdot \sqrt{m_k} \quad (7)$$

Per tang. $\alpha = 0,1$ otteniamo $c_t = 0,012$ e per tang. $\alpha = 0,2$ troviamo $c_t = 0,016$, dove m_h è in metri. Perciò concludiamo:

— Se, per profili, l'e.q.m. altimetrico richiesto sul singolo punto è di 0,1 metri — e sarebbe senza senso superare questo limite — occorrerebbe un volo a quota di 400 metri per il formato 18x18 cm², ed una quota di 500 metri per il formato 23x23 cm². Comunque queste quote di volo non sono realizzabili.

— L'e.q.m. altimetrico di un singolo punto della carta fondamentale tedesca all'1:5.000 ammonterà a $m_h = 0,30$ m, per questa ragione la quota di volo può essere tre volte maggiore di quanto menzionato sopra.

Nel primo caso per $f = 21$ cm, m_b sarebbe 6.000, e nel secondo caso per

$f = 15 \text{ cm}$ avremmo $m_b = 10.000$.

- Con punti segnalizzati con lo stesso errore altimetrico m_b , le quote di volo potrebbero essere aumentate del 50%. Ciò si riferisce anche al denominatore della scala. Comunque, per i profili, l'uso di un obiettivo a campo normale non sarebbe ancora pratico data la grande scala del fotogramma (1:3.000).
- Dalle equazioni (4) e (7) si ottiene la ben nota formula di von Gruber (cfr. (7)):

$$m_b = c \cdot \sqrt{m_k} \quad (8)$$

Von Gruber ricavò empiricamente questa formula: i valori di c saranno compresi tra 100 e 130.

Nella più recente letteratura troviamo valori di c compresi tra 160 e 240. Da questo otteniamo per le curve di livello $m_{px} = 30 \mu$, valore usato da *Kasper e Blaschke* (cfr. (8)).

- In generale i rapporti di ingrandimento $v = m_b : m_k$ sono sensibilmente più piccoli per le misure altimetriche che per quelle planimetriche.

Per questa ragione la precisione in quota è decisiva per il piano di volo. Infine bisogna ricordare che sia gli errori altimetrici che quelli planimetrici sono concorrenti, vale a dire che gli errori altimetrici influenzano la precisione planimetrica e viceversa.

Le formule per gli errori usati in Inghilterra sono stabilite tenendo conto di questi fatti; non voglio però entrare nel dettaglio di questo argomento.

3.2 L'influenza della interpretazione

Supponiamo che i fotogrammi mostrino tanti più particolari quanto maggiore è la loro scala. Sfortunatamente le ricerche su questo argomento non sono così abbondanti come quelle sulla precisione quantitativa. Io non ho certo potuto radunare tutti i dati disponibili, per cercare di trovare una legge generale: ma probabilmente il materiale oggi disponibile non sarebbe adatto ad una tale valutazione, perchè non è sufficientemente omogeneo ed è difficilmente utilizzabile per istituire dei paragoni. Qui vi sono alcuni suggerimenti per rendere la ricerca meno gravosa.

- Al Congresso di Praga abbiamo imparato che nella restituzione topografica di una vecchia città all'1:1.000 da fotogrammi all'1:3.500, circa il 50% dei punti necessari era mancante.

- *Kersting* (9) riferisce i risultati delle misure di coordinate ottenute nella rilottizzazione di un territorio. Qui si parla di punti segnalizzati; la scala dei fotogrammi era di circa 1:8.400.

Finchè i punti erano individuati da cerchi a calce del diametro di 30 cm., circa il 15% di essi andavano persi nella restituzione: ciò era essenzialmente dovuto alle condizioni atmosferiche. Da quando i punti vennero segnalizzati su pezzi di lamiera, solo il 4-8% andò perso.

Si è trovato che i timori relativi a spostamenti di questi segnali erano infondati: per ridurre ulteriormente queste perdite, si usano scale dei fotogrammi maggiori.

- Buoni dati ci sono stati forniti dal saggio di Renfrew della Commissione IV della «SIP» (10).

Blachut fa differenza tra:

- a) oggetti piccoli (costruzioni, ponti)
- b) dettagli lineari (strade, ferrovie, fiumi)
- c) particolari estesi in superficie (boschi, laghi).

Il saggio mostra che con una restituzione all'1:25.000 da fotogrammi allo 1:50.000 i piccoli particolari sono resi solo per il 55%, mentre per i dettagli lineari si passa al 76%, che diventa oltre il 96% per le superfici estese. Con ulteriore cura, queste percentuali possono essere aumentate.

Il saggio non dice se si hanno vantaggi da una maggiore scala dei fotogrammi, né si sa se tutti gli elementi necessari per arrivare ad una resa completa, del 100%, siano in pratica richiesti.

La Commissione C dell'OEEPE riferì sul test di Reichenbach che nella scala del fotogramma di 1:8.000 circa il 95% dei segnali di 25x25 cm² erano facilmente identificabili, mentre solo l'80% era identificabile passando alla scala di 1:12.000. D'altra parte circa il 2,5% di tutti i punti erano persi alla scala di 1:8.000, passando al 6% per la scala di 1:12.000.

Questa differenza comunque può essere parzialmente spiegata dal fatto che i fotogrammi all'1:8.000 coprono maggior superficie di quelli all'1:12.000 (cfr. (11)).

Sarebbe auspicabile che le pubblicazioni contenessero non solo dati sulla precisione, ma che mettessero anche in luce le difficoltà attuali, in particolare per ciò che concerne la interpretazione qualitativa. E' qui che necessitano oggi più attendibili informazioni.

3.3 *L'influenza degli strumenti*

Ogni strumento ha una serie di movimenti che sono esattamente determinati: perciò la ripresa aerea deve essere studiata in modo tale che più tardi se ne possa facilmente eseguire la restituzione.

Alcuni strumenti possono danneggiarci per il loro eccessivo giuoco: per altro, con altri, ci sorprendiamo quando si giunge repentinamente al termine dello spazio utile per la restituzione. La misura delle coordinate ci è difficilmente causa di imbarazzo, dato che le coordinate del modello si possono praticamente convertire in ogni scala ed in qualsiasi sistema.

La situazione è diversa per la restituzione della carta: se il movimento della marca è trasferito, mediante snodi, al coordinatografo, si ottiene per mezzo dei meccanismi interposti una relativa libertà di movimento (come ad es. coi restitutori C8, A7, A8).

La trasposizione dal fotogramma o dal modello alla carta è possibile finchè le dimensioni del tavolo da disegno sono sufficienti e finchè i punti di controllo sono riportati sul foglio. Se il raggio d'azione di uno strumento non è sufficiente, allora la restituzione deve essere ulteriormente ridotta od ampliata con mezzi fotografici. Con altri strumenti come il B8, lo Stereotop, il Multiplex, ecc., il rapporto di ingrandimento tra scala del fotogramma e scala della carta è limitato. Ciò accade in particolare con tutti gli strumenti a proiezione ottica. Nel raddrizzatore SEG V della Zeiss, si può solo ingrandire sino al rapporto 6:1.

Tale situazione è simile anche negli ortoproiettori; le loro capacità di ingrandimento vanno da 2,5x a 4x con focale di 15 cm. Maggiori differenze in quota ridurranno ancora di più il campo di restituzione.

3.4 *L'influenza del formato della carta*

Per ciò che riguarda la determinazione di coordinate non vi sono difficoltà giacchè le coordinate stesse possono essere raggruppate a piacere: ma vorrei sottolineare con insistenza come in tutti gli altri casi il formato delle carte influenza decisamente la scala del fotogramma, se si ha riguardo anche ai fattori economici. E' sorprendente notare come spesso le scale dei fotogrammi vengono considerate solo in rapporto alla precisione ma non in funzione della carta che deve essere ottenuta da loro.

Così dovremmo scegliere quella scala, che è la più favorevole in rapporto al foglio di mappa, o viceversa, che un modello copra un numero intero di fogli della carta. Se il formato di questa è prestabilito, e se abbiamo scelto un certo taglio fotografico, allora c'è sempre una scala di fotogramma assai favorevole. In molti casi dovremmo scegliere quella scala, che è il più favorevole in rapporto al foglio della carta, anche se si dovesse scontare una piccola perdita in fatto di precisione. Se volessimo evitare questo ci dovremmo rassegnare a cambiare il formato della carta!

La grandezza dei fogli nelle carte comuni è in proporzione di 1 : 1 o di $\sqrt{2}$: 1, approssimativamente quindi 1,5:1; e allora due fogli possono essere ricoperti da tre modelli, o viceversa. Da ciò si può comunque sempre derivare le scale di fotogramma più convenienti. Il valore preso a caso dovrebbe essere fassativamente

escluso in sede di rilevamento aereo, e prima della ripresa dovremmo chiederci: «Quale tipo di carta vogliamo?», e non invece: «Che tipi di carte possiamo ottenere da questi fotogrammi?».

In accordo col già menzionato «Manuale per il rilevamento della carta fondamentale tedesca», un fotogramma in scala 1:15.000 è sufficiente per ottenere una carta all'1:5.000. Con un formato fotografico di 23x23 cm² ed una grandezza del foglio di 40x40 cm², comunque, a mio avviso, sarebbe più conveniente una scala compresa tra 1:10.000 e 1:12.000.

4. DETERMINAZIONE DEI PUNTI DI APPOGGIO

4.1 Numero dei punti di appoggio

In genere il numero dei punti di appoggio dipende dalla scala dei fotogrammi, dal formato delle lastre, dalla sovrapposizione e dalla grandezza e configurazione dell'area coperta (cfr. (12) e (13)).

Nella maggior parte dei casi usiamo quattro punti di appoggio per modello: una volta ogni tanto è conveniente o anche necessario un quinto punto situato nel centro del modello, che serve solo per l'orientamento relativo.

Dopo aver scelto una certa macchina, ed aver assunto le solite percentuali di sovrapposizione dei fotogrammi per il progetto del volo, allora il numero dei punti di controllo — facendo astrazione dal fattore supplementare dovuto alla forma dell'area — dipende solo dalla scala del fotogramma. Con l'equazione (8) si trova che il numero dei punti di appoggio per unità di superficie è all'incirca inversamente proporzionale alla scala della carta. Se

$$F' = (m_b \cdot 1)^2 (1-p_x) (1-p_y) = c' \cdot m_x \cdot 1^2 \quad (9)$$

è la solita superficie dello stereogramma ed F è, l'intera superficie, allora il numero dei modelli è:

$$n_M = \frac{F}{F'} \quad (10)$$

Se abbiamo m_x modelli in senso longitudinale ed m_y etrisciate, allora il numero dei modelli è:

$$n_M = n_x \cdot n_y \quad (11)$$

ed il numero dei punti di appoggio richiesti per un modello in posizione ideale, ad esempio tali che i punti di controllo delle strisciate adiacenti siano identici:

$$n_M = (n_x + 1) (n_y + 1) \quad (12)$$

In pratica il numero dei punti di appoggio è spesso assai più grande per la configurazione dell'area coperta. In questi casi è consigliabile di estendere la superficie F .

4.2 Determinazione terrestre dei punti di appoggio

Anche se attualmente si dispone di moderni distanziometri, il criterio per la determinazione terrestre dei punti di appoggio è mutato di poco.

Se non è disponibile una rete trigonometrica o se la densità di quella disponibile è insufficiente, non resta che costruirne una nuova o infittire la esistente.

Particolarmente adatto a questo lavoro è il tellurometro: con esso si determinano distanze sino a 40 Km. con errori di 10 o 15 cm. Le difficoltà sorgono solo per la insufficiente conoscenza delle condizioni metereologiche.

La rete viene infittita mediante poligoni trasversali, o con piccole catene di triangolazione; in confronto con i longimetri gli strumenti quale il geodimetro VI hanno una maggiore portata da 200 m. a 4.000 m.). Ad ogni modo bisogna ammettere che l'equipaggiamento degli strumenti è più oneroso che per il passato, con un conseguente aumento dei costi. Ma in rapporto alla spesa totale l'incidenza degli strumenti è ancora relativamente piccola.

La tecnica della determinazione dei punti deve essere adattata alle nuove possibilità strumentali. E' vantaggioso misurare quante più distanze possibili da una stazione, essendo facile compensare il più alto costo degli strumenti con un risparmio di tempo.

Le quote saranno determinate con livellazione geometrica o di tipo trigonometrico: non voglio entrare nel merito della rifrazione e dei suoi effetti.

Dobbiamo ricordare che in una scala relativamente grande quale l'1:5.000, una precisione altimetrica di 20 μ corrisponde ad un errore in natura di 10 cm.

La spesa per le misure trigonometriche oscilla, poichè dipende dalla distanza tra i punti collimati, dalla scala dei fotogrammi, e per es., dalla distanza dei punti di appoggio, dalla configurazione della superficie fisica, dalla stazione e dalla vegetazione. Si sa che le misure in zone coperte di vegetazione richiedono maggior tempo di quelle in zone libere. Il costo della determinazione di un punto è indicato da *Ackermann* come segue:

$$K_t = 60 \$ \quad (13)$$

(vedi (1)). Tale valore è in accordo con le nostre esperienze (cfr. anche (9)).

4.3 Triangolazione per strisciate

Ridurre i costi delle determinazioni terrestri è lo scopo proprio di ogni triangolazione. Supponiamo di combinare n_x' modelli in una strisciata e di avere nel primo e nell'ultimo stereogramma quattro punti di appoggio ciascuno, determinati con mezzi terrestri. Allora il numero dei punti di appoggio necessari n_{str} è ottenuto approssimativamente dalla seguente formula:

$$n_{str} : n = \lambda_1 \cong \frac{3}{n_x'} \quad (14)$$

Per compensare la mancanza di punti di appoggio i modelli devono essere restituiti come normali strisciate di triangolazione, con successivi fotogrammi concatenati in un restitutore analogico, oppure come modelli indipendenti. In questo caso possono essere usati gli stereocomparatori. Per un'area quadrata, otteniamo dalle formule (11) e (12):

$$n_M : n_E = \lambda_0 \cong 1 - \frac{2,3}{\sqrt{n_E}} \quad (15)$$

4.4 Blocchi

La sfavorevole propagazione degli errori nelle strisciate è quasi completamente eliminata nelle triangolazioni a blocchi. Già alcuni anni fa *Förstner* (14) ha dimostrato per mezzo di un piccolo esempio che con punti interpolati le ellissi degli errori sono abbastanza regolari. Le nuove vaste ricerche eseguite da *Ackerman* nel centro di addestramento internazionale di Delft hanno mostrato che queste scoperte sono applicabili anche ai blocchi di blocchi, (15) (16). Se consideriamo statisticamente il problema della compensazione, tale risultato non ci sorprende. Naturalmente i margini del blocco debbono essere provvisti di punti di appoggio; così le esperienze fatte formalmente dalla Hansa — Luftbild di Berlino con il metodo delle «slot-templet» sono confermate anche in teoria (7).

Supponiamo che gli stereogrammi iniziali e finali contengono due punti di controllo che possano essere usati per due strisciate adiacenti, e che in più ogni punto di controllo sia posto nella strisciata marginale ad un intervallo di due lunghezze della base, ad es. l'intervallo dei punti d'appoggio intorno al blocco corrisponde alla larghezza della strisciata. Allora si ottiene il numero n_{B1} dei punti richiesti dalla:

$$n_{B1} : n_E = \lambda_2 \cong \frac{2,8}{\sqrt{n_E}} \quad (16)$$

Il rapporto $n_M : n_E$ corrisponde a quello per la triangolazione per strisciate.

4.5 Costo della determinazione dei punti di appoggio.

Prima di tutto dobbiamo fare un chiarimento sul costo della misura di un modello. Il tempo richiesto per tale operazione differisce assai nei vari restitutori analogici. Lo stesso si può dire anche per le misure allo stereocomparatore.

Per amore di semplicità uso il valore trovato da *Ackerman* (1). Secondo lui il costo della misura di un modello per mezzo della aereotriangolazione è di:

$$K_p = 15 \$ \quad (17)$$

cioè:

$$L_o = K_p : K_t = 1 : 4 \quad (18)$$

Ora possiamo facilmente calcolare i costi totali K_E , K_{Str} , e K_{B1} , dei tre metodi di determinazione dei punti di appoggio.

Da ciò otteniamo i rapporti dei costi:

$$L_1 = K_{Str} : K_E = \lambda_1 + \lambda_0 \cdot L_0 \cong \frac{3}{n_x} - \frac{0,6}{\sqrt{n_E}} + 0,25 \quad (19)$$

$$L_2 = K_{B1} : K_E = \lambda_2 + \lambda_0 \cdot L_0 \cong \frac{2,2}{\sqrt{n_E}} + 0,25 \quad (20)$$

Come appare dalle formule (19) e (20) il limite più basso per L_1 ed L_2 è L_0 . Per $n_e = 100$ otteniamo $L_2 = 0,27$, cioè quasi L_0 . Di conseguenza il rapporto L_0 è molto più importante. Il rapporto L_1 è maggiore e così più sfavorevole di L_2 . Poiché, per di più, le triangolazioni aeree su strisciata hanno una più sfavorevole propagazione degli errori, dovremmo pensare, se possibile, ad una modificazione della compensazione del blocco.

La compensazione del blocco è non solo più accurata, ma anche meno dispendiosa. Naturalmente la triangolazione per strisciata sarà ancora applicata in casi particolari, ad esempio per progetti di strade.

Comunque in questo caso potremo facilmente praticare una regolare distribuzione dei punti di appoggio all'interno della strisciata. Solo nel caso di L_1 minore di 1, questo tipo di triangolazione è più favorevole della determinazione terrestre dei punti di appoggio. Nel nostro caso ciò si applica ad n_x' maggiore di 4. Se si cambia la posizione nei punti di appoggio cambia pure il valore di n_x' . Nelle equazioni (19) e (20) si può anche facilmente considerare il tempo richiesto per l'orientamento nella restituzione dei modelli ed inoltre, in accordo con la perdita di precisione, considerare anche differenti scale del fotogramma tra aereotriangolazione ed un singolo modello di restituzione.

5. LAVORO COMPLETAMENTE TERRESTRE

Nessuna restituzione fotogrammetrica è perfetta al punto da non richiedere un certo lavoro completamente da svolgere a terra. Nella restituzione per coordinate possiamo facilmente indicare la percentuale di punti persi, ma ciò è più difficile nel caso di restituzione cartografica. Qui il lavoro topografico è diviso tra il rilevamento complementare e la successiva elaborazione e preparazione della carta restituita. La mole di questo lavoro complementare varia considerevolmente e spesso dipende dalle condizioni locali. Non mi occuperò di questo particolare problema e ne farò solo pochi cenni. Il numero di punti persi è molto minore con punti segnalizzati che nel caso contrario.

Kersting (9) ha pubblicato alcuni risultati da un ampio lavoro in terreni rilotizzati. Secondo quanto egli afferma i lavori complementari in loco richiedono l'8% del tempo totale, o il 12% del costo totale: la pubblicazione non specifica le percentuali da attribuire alla restituzione delle coordinate ed ai dettagli topografici. Se adottare la pre- o la post-ricognizione, è probabilmente una questione di convenienza e di abitudine.

L'esperimento di *Renfrew* fornisce pure risultati attendibili. Naturalmente è molto più facile ridurre il numero dei punti persi dal 50 al 40%, che non dal 20 al 10%. Se fosse misurato solo il 50% dei «piccoli particolari», il procedimento di restituzione durerebbe in media 21 ore, ma quando si passasse al 70% si richiederebbero alla fine 35 ore (cfr. (10) e (18)). Ma la restituzione fotogrammetrica non è ancora la carta finale. Per *Kersting* anche il completamento della carta richiede quasi il 25% del tempo totale o il 12% del costo finale.

A conclusione, mi piacerebbe citare le differenti opinioni su due restituzioni fotogrammetriche quasi identiche.

Il primo giudizio afferma: «L'incertezza planimetrica rilevata su punti restituiti fotogrammetricamente, supera il limite degli errori stabilito dalla scala del disegno, per la rappresentazione di una carta catastale all'1:1000. Perciò la resti-

tuzione fotogrammetrica all'1:1000 non soddisfa le richieste di precisione tipiche di una carta a tale scala.

A parte il bisogno di precisione che il rilievo fotogrammetrico non può soddisfare, la restituzione con tale metodo non può essere senza dubbio paragonata alla carta ottenibile con un nuovo rilevamento diretto eseguito con metodi terrestri. La fotogrammetria richiede in precedenza un tal numero di operazioni complementari, che possono da sole essere considerate una carta completa e direttamente riproducibile. Probabilmente queste operazioni richiederanno un considerevole ammontare di tempo e di denaro».

Ma in un altro caso leggiamo: «La precisione fornita dalle restituzioni fotogrammetriche è stata studiata da prima confrontando la posizione di un certo numero di punti restituiti, con valori delle loro coordinate ottenute coi metodi terrestri; e poi confrontando la restituzione fotogrammetrica con la copia originale su lucido in scala 1:500, preparata su lavori terrestri.

Il confronto dei punti con le coordinate esatte, non ha messo in luce scarti considerevoli, al contrario la sovrapposizione della copia originale preparata con lavoro a terra alla carta fotogrammetrica ha messo in evidenza alcune peculiarità: la giacitura dell'asse stradale, così come quella dei pali della luce, gli edifici con gronda, e gli altri particolari ben individuati quali pietre miliari, cippi di confine, ecc., erano correttamente rappresentati in entrambe le carte, per ciò che riguarda precisione e rappresentazione qualitativa... D'altronde la carta fotogrammetrica offre — data la sua rappresentazione completa dei particolari planimetrici — una assoluta garanzia di conformità con la reale situazione del terreno; al contrario la carta ottenuta con procedimenti terrestri trae parte dei suoi dati dal libretto di campagna che non è, o può non essere, conforme alla situazione reale».

Queste osservazioni che ho citato solo per riassunto, confermano le differenti opinioni esistenti sulla restituzione fotogrammetrica.

Dovremo ricordare entrambi questi giudizi: la questione sarà sempre legata a quale carta vuole il committente, e fino a che punto vale la pena di usare i metodi classici, o se invece non sia meglio ricorrere ai sistemi moderni.

6. CONCLUSIONE

Mi spiace di non essere stato perfetto nel trattare l'argomento assegnatomi, ma più mi addentravo nello studio dei vari problemi, e più mi ci perdevo. Se però sono riuscito ad accostare due argomenti, ed a incitarvi a sprecare un po' di tempo su questi problemi, penso che lo scopo della mia comunicazione non sia fallito.