

## LA PRODUZIONE CARTOGRAFICA CON LA FOTOGRAMMETRIA

*Balilla Grifoni*  
I.R.T.E.F. - Firenze

Fino a pochi decenni fa i rilievi topografici venivano esclusivamente eseguiti mediante l'impiego di strumenti chiamati ancora classici quali il tacheometro, la tavoletta pretoriana, i vari tipi di autoriduttori, per non parlare degli altri mezzi sussidiari necessari al topografo per compiere il suo lavoro.

Con quegli strumenti l'operatore determinava gli elementi geometrici che, opportunamente elaborati, gli consentivano di tracciare sul piano tutti i particolari planimetrici del terreno e di descrivere l'orografia mediante quote altimetriche e curve di livello interpolate, quest'ultime, fra i punti quotati battuti in campagna.

Con la scoperta, avvenuta più di cento anni fa, della fotografia ed, in un periodo meno remoto, con la possibilità di effettuare prese fotografiche dall'aeroplano, ed in conseguenza, con l'idea di sfruttare questo nuovo mezzo ai fini cartografici, la topografia venne rivoluzionata nei suoi metodi tradizionali e poté spaziare in campi sempre più vasti ed assolvere a compiti sempre più impegnati. Si disse, giustamente, che l'aeroplano aveva dato le ali alla topografia. E questo avveniva in un periodo nel quale si faceva più pressante la ricerca di nuovi mezzi e di nuove risorse economiche, ricerca legata e dipendente alla conoscenza cartografica sempre più estesa della superficie terrestre.

La fotogrammetria rispose in pieno a queste esigenze ed i suoi procedimenti, sia da terra — fotogrammetria terrestre —, sia dall'aereo — aerofotogrammetria —, si imposero in tutti i campi dei rilevamenti topografici sostituendo, in un breve periodo di tempo quasi del tutto i mezzi tradizionali della topografia in tutte le gamme di scale.

In Italia, dopo i primi tentativi e gli insuccessi che inevitabilmente si verificano nell'applicazione pratica di tutte le innovazioni, già alla fine dello scorso secolo l'Ingegnere Paganini dell'Istituto Geografico Militare Italiano aveva sperimentato e messo a punto un sistema di rilevamento da terra per mezzo di fotografie prese da due stazioni topografiche con uno speciale apparato chiamato « fototeodolite », costituito, come dice la parola, da un normale teodolite a cui si era aggiunta una camera fotografica. Con tale apparecchio e con un ingegnoso sistema per meccanizzare i calcoli relativi alla elaborazione dei dati ricavabili dalle prese fotografiche, il Paganini rilevò varie carte alla scala 1 : 25 000 nella zona delle Alpi Marittime, sulle Cozie e sulle Alpi Apuane.

Anche oggi, con strumentazioni naturalmente assai più perfezionate, la fotogrammetria terrestre, da noi ed all'estero, è fondata sugli stessi principi sui quali il Paganini basò i suoi primi sistemi di rilevamento.

L'impiego della fotogrammetria terrestre è però ormai limitato ai rilevamenti, generalmente a grande scala, di terreni a pareti verticali o quasi, ove viene richiesta una particolare precisione in altimetria ed usati per lo studio di impostazione di dighe e per altre opere d'ingegneria ove è richiesta la costruzione di carte alle scale 1 : 500, 1 : 200 ed 1 : 100. Parimenti ancora la fotogrammetria terrestre è usata per lo studio e la rappresentazione di oggetti vicini, specie di opere architettoniche delle quali sia necessario disporre di una fedele descrizione rigorosamente geometrica dell'oggetto tale da rendere possibile la sua eventuale ricostruzione. In questo particolare campo basterebbe pensare alla grande importanza che tali speciali cartografie potrebbero avere nella formazione di un archivio dei rilievi attinenti alle tante pregevoli opere architettoniche che fanno parte del patrimonio artistico nazionale.

Maggiore importanza e rapido sviluppo ha avuto la fotogrammetria aerea le cui prime applicazioni furono da noi sperimentate, contemporaneamente a quanto veniva fatto all'estero, dopo la prima guerra mondiale. In Italia gli ideatori dei due sistemi tutt'ora usati per l'applicazione della fotografia aerea ai rilievi topografici sono stati, subito dopo il primo conflitto mondiale, il Santoni ed il Nistri i quali, pur partendo da concezioni diverse nella realizzazione delle apparecchiature di presa e di restituzione, giunsero alla costruzione delle moderne strumentazioni fotogrammetriche considerate fra le migliori del mondo .

Crediamo opportuno, prima di dare un cenno sulla produzione quantitativa della cartografia eseguita con i procedimenti fotogrammetrici, soffermarsi su quelle che sono le qualità peculiari della cartografia ottenuta per via fotogrammetrica e farne confronto con quelle proprie dei prodotti cartografici derivati dai rilievi diretti a terra.

Se si osserva una fotografia presa dall'aereo si nota come la prospettiva fotografica, pur non potendo essere geometricamente considerata una carta topografica, sia un eccezionale documento topografico-descrittivo dei luoghi di insuperabile realismo.

In esso tutta la rete idrografica è resa con evidenza perfetta, le case, le strade, le zone boschive, le erosioni, la stessa configurazione orografica, si presentano agli occhi dell'osservatore con la efficace naturalezza propria della fotografia.

Il prodotto cartografico, che dalla fotografia aerea deriva mediante la cosiddetta restituzione, conserva nella carta prodotta quelle doti e quelle caratteristiche precipue della fotografia.

Nella formazione della carta topografica i particolari delineati allo strumento restitutore vengono a formarsi per linee continue e non generati dall'unione di linee spezzate uscenti dai punti battuti a terra come è il caso dei rilievi diretti celerimetrici. Gli stessi particolari inoltre non dipendono, per ciascun punto che li determinano, da una serie di elementi numerici soggetti, ciascuno per una certa entità, ad errori di carattere accidentale come nel caso dei rilievi a terra per irradiazione.

Nei rilievi diretti a terra le poligonali, che ne costituiscono l'ossatura, vengono compensate degli errori di chiusura ma non sempre i risultati della compensazione sono esenti da residui errori accidentali di osservazione che vi permangono, sono di difficile individuazione ed infirmano i dati definitivi del rilevamento. Sempre nei rilievi tradizionali celerimetrici od eseguiti con la tavoletta pretoriana, la rappresentazione altimetrica viene effettuata mediante il tracciamento di curve di livello interpolate fra quote determinate in corrispondenza dei punti ove il terreno cambia pendenza, lungo i crinali, i fondi dei fossi, ecc. Talvolta, a causa della natura impervia, scoscesa, del terreno, in presenza di rocce o di pendenze fortissime, è praticamente impossibile mandarvi la mira per la rilevazione geometrica dei punti fondamentali necessari alla rappresentazione fedele dell'altimetria. In questi casi le curve di livello, rappresentanti le tracce grafiche dei vari piani orizzontali con il terreno oggetto, risulteranno frutto di compromessi dai quali non è estranea, all'abilità dell'operatore, anche la sua ...onestà professionale.

Nei rilievi fotogrammetrici si deve porre mente che uno stereogramma, cioè una coppia di fotografie stereoscopiche, riprese ad esempio da una quota relativa di metri 1500-2000 abbraccia una superficie di 300-400 ettari e che sono sufficienti 4 punti determinati a terra per orizzontare in planimetria e quota tutto il modello dello stereogramma, si comprende facilmente che tutti i particolari che verranno restituiti dipenderanno in accuratezza esclusivamente dalla precisione con la quale questi punti sono stati determinati e che la restituzione tutta sarà omogenea in ogni zona del fotogramma.

L'orografia verrà descritta a curve di livello le quali, per essere tracciate per linee continue e non interpolate fra punti noti, rappresentano effettivamente la traccia dei vari piani orizzontali equidistanti fra loro dal valore metrico fissato

per ogni tipo di carta.

Si potrebbe obiettare che se la fotogrammetria presenta degli indubbi vantaggi rispetto ai rilievi diretti in terreni mossi, scoscesi, di difficile accessibilità ma scoperti o poveri di vegetazione, sia di scarsa utilità e di difficile applicazione, ed i suoi elaborati geometrici risultino quindi di minore attendibilità, in terreni coperti da vegetazione arborea.

L'esperienza ci permette di rispondere che non sempre la copertura forestale impedisce totalmente, durante le operazioni di restituzione, la vista del suolo ed è possibile eseguire anche in terreni boschivi il rilievo aerofotogrammetrico con la stessa approssimazione di quello relativo a terreni scoperti purché si abbia cura di attuare certi accorgimenti tecnici come quelli di quotare prima tutti i punti del terreno che si intravedono stereoscopicamente fra le piante e ripetere più volte il tracciamento delle curve di livello. È intuitivo immaginare che dall'alto si vede molto meglio che stando a terra e che le difficoltà che si potrebbe incontrare nei rilievi da terra di terreni boscosi sono di proporzioni molto maggiori a meno che non si proceda a tagli sistematici e costosi o addirittura all'abbattimento del bosco.

Ma i vantaggi che offrono i sistemi aerofotogrammetrici di rilevamento topografico sono soprattutto dovuti alle loro grandi possibilità di produzione cartografica: zone vastissime, intere regioni possono venir sorvolate e quindi cartografate in tempi che, prima dell'avvento dell'aerofotogrammetria, potevano essere considerati addirittura utopistici.

Queste possibilità si riflettono ed hanno grande importanza in campo economico. E' infatti norma economica, seguita e verificata in sede d'aziende industriali e commerciali, che un fatto economico, una produzione industriale, affinché risulti economicamente utile e quindi redditizia debba concludersi nel minor tempo possibile. Il fattore tempo nella produzione industriale è la chiave del costo del prodotto. Non solo, ma sempre restando nell'ambito economico-produttivo, il fattore tempo è divenuto in questi nostri anni convulsi ed agitati da un dinamismo sempre in crescendo, condizione prima perché si possa lavorare, condizione essenziale perché il prodotto, nel caso nostro la carta, possa fornire veramente un'utilità. E poiché il valore è la misura dell'utilità, in definitiva la carta avrà un valore se verrà prodotta in un tempo il più breve possibile.

In questo campo la fotogrammetria aerea spazia ed ha davvero le ali.

Alcune cifre che si sono dedotte da relazioni ufficiali dimostrano quanto grande sia stato l'apporto dato dalla fotogrammetria alla soluzione dei problemi topografici e come rapido ed importante sia stato lo sviluppo della produzione cartografica aerofotogrammetrica in Italia e nel mondo:

L'Istituto Geografico Militare Italiano, dai primi esperimenti del Paganini del 1878 aveva, alla fine del 1934, prodotto 219.400 ha di rilievo alla scala di 1 : 25 000 eseguito mediante la fotogrammetria terrestre ed, in soli tre anni di impiego dei metodi di fotogrammetria aerea, aveva prodotto 216.000 ha alla scala 1 : 25 000 (1).

Ma si era solo agli inizi. Con l'uso sistematico di questi nuovi sistemi si giunse, sempre da parte dell'I.G.M., nel 1938 a questa situazione:

— circa 1.000.000 di ettari rilevati al 25.000 in territorio metropolitano,

— 966.000 ha al 100.000 rilievi in Libia,

— 805.500 ha al 100.000 rilevati in Eritrea (Bassopiano Occidentale).

Alla fine del 1938, per mezzo della fotografia aerea l'I.G.M. aveva inoltre allestito 787.000 ha di fotopiani alla scala 1 : 25.000 (2).

---

(1) Cfr. Comunicazione dell'IGM alla Commissione 7 del V Congresso Internazionale di Fotogrammetria - Roma 1938.

(2) Cfr. Comunic. dell'IGM al V Congresso di Fotogrammetria - Roma 1938.

Dal 1938 in poi in Italia la produzione cartografica per mezzo della fotogrammetria aerea venne notevolmente incrementata, sia da parte dell'I.G.M. che la impiegava sistematicamente per i rilievi della carta fondamentale della Nazione (1 : 25.000), sia con il sorgere di Enti e Società private che avevano introdotto le attrezzature e le tecniche fotogrammetriche nei loro sistemi di lavoro.

La Direzione Generale del Catasto nel 1934 decise di impiegare la fotogrammetria aerea per la formazione delle mappe catastali affidandone il compito ad imprese private: con tali sistemi furono rilevate alla scala 1 : 2000 ed 1 : 1000 parte delle province di Terni, Viterbo, Belluno, Firenze, Novara, ecc. e, per la prima volta in Italia, furono pubblicate le mappe catastali a curve di livello.

Nel 1939 la Compagnia Nazionale Imprese Elettriche (CONIEL) intraprese, con una sua organizzazione e provvista di mezzi per la presa aerea e per la restituzione, il rilevamento di gran parte dell'altopiano etiopico alla scala di 1 : 100.000 per lo studio e la valorizzazione idroelettrica dei bacini imbriferi di quelle regioni. Fu deciso di impiegare per tali rilievi il sistema aerofotogrammetrico, unico che avesse la possibilità di risolvere rapidamente il problema cartografico in quei territori ancora insicuri e di difficile percorribilità.

I voli di presa aerofotografica furono iniziati sull'area del bacino dell'Auasc per una superficie di circa 40.000 Km<sup>2</sup> e consistettero in quattro strisciate fondamentali della lunghezza di circa 150 Km correnti Est-Ovest e da strisciate secondarie della lunghezza di circa 60 Km perpendicolari alle prime e da queste dipendenti. L'appoggio planimetrico a terra venne assicurato da determinazioni astronomiche di posizione e da misure di grandezza effettuate in corrispondenza degli estremi delle strisciate fondamentali mentre l'ancoraggio altimetrico fu affidato alle misure di altitudine eseguite con osservazioni termobarometriche ripetute e riferite oltre che agli estremi delle basi anche ad altri punti intermedi delle strisciate. La restituzione venne effettuata previa determinazione degli elementi di orientamento esterno dei fotogrammi con l'impiego della triangolazione aerea.

Gli eventi bellici che si susseguirono dal 1940 in poi sorpresero la CONIEL quando i lavori cartografici erano in piena attività e si erano già prodotte carte al 100.000 per oltre 3.000.000 di ettari di varie zone dell'altopiano dello Scioa e dell'Amhara.

Durante l'ultima guerra la fotogrammetria aerea fu largamente impiegata da tutti gli eserciti belligeranti. Interi Stati furono sorvolati e ripresi con aerofotografie. Le foto aeree servirono per il rapido aggiornamento delle carte esistenti e per la costruzione di nuove. In Africa ed in molte regioni dell'Asia, teatri di guerra, milioni di fotografie furono scattate da quote diverse e milioni e milioni di Km<sup>2</sup> furono cartografati a scale dal 25.000 al 300.000. Alla fine del 1947 lo stato della produzione cartografica dell'Istituto Geografico Militare Italiano era salita ad oltre 400.000 ettari di fotogrammetria terrestre ed a circa 4.300.000 ettari di fotogrammetria aerea (3). Tale produzione sarebbe stata umanamente impossibile a realizzarsi con i mezzi normali della topografia.

Attualmente, restando nell'ambito nazionale, operano in Italia, oltre al nostro massimo Ente cartografico, l'I.G.M., una decina di Imprese private che hanno le loro apparecchiature aerofotogrammetriche in piena efficienza e sono al servizio di tutte le esigenze civili per rilevamenti alle scale 1 : 500, 1 : 1000, 1 : 2.000, 1 : 4.000, 1 : 5.000, 1 : 10.000, ecc., per scopi di bonifiche, di irrigazione, di ricerche minerali e geologiche, di progettazioni autostradali, stradali e ferroviarie, per attuazioni di assestamenti forestali, per programmazioni urbanistiche, ecc.

La nostra fotogrammetria, basata sui sistemi del Santoni e del Nistri ha avuto larga applicazione anche all'estero ove alcune organizzazioni private italiane sono rimaste aggiudicatarie di importanti lavori di rilievo in Siria, Egitto, Ma-

---

(3) Cfr. Relazione del Gen. Gelich, Direttore dell'IGM, al Convegno Scientifico di Firenze del 1947.

rocco, Tunisia, Sud Africa, Birmania, Libia, Ethiopia, Nigeria, Gana, ecc.

Recentemente, da parte della Regione Sarda è stato deciso di fare effettuare, per mezzo dei sistemi aerofotogrammetrici, il rilievo alla scala 1 : 10.000 di tutta la Sardegna per complessivi ettari 2.380.000 da effettuarsi in due anni. Si sta anche pensando di compilare, tramite l'aerofotogrammetria, la nuova carta d'Italia alla scala 1 : 10.000 in un tempo che non dovrebbe superare i cinque anni.

Tali programmi sono realizzabili solo in quanto si faccia ricorso ai procedimenti fotogrammetrici.

Ci pare utile ora ricordare un altro importante lavoro che ci ha interessato di persona e che venne affidato alla Società I.R.T.E.F. di Firenze a seguito di una gara internazionale bandita dal Governo Imperiale di Ethiopia nel 1965. Si è trattato di compilare, nel breve termine di un anno le carte alla scala 1: 2.500 ed 1 : 5.000 relative a 40 città e località dell'Impero Ethiopico per le programmazioni e regolamentazioni urbanistiche e per lo studio di un piano di sviluppo economico-sociale di quella regione.

La superficie totale da rilevare era di oltre 40.000 ettari sparsa in tutto il territorio dell'Impero, da Makallè nel Tigray a Dembidollo e Gambela ai confini con il Sudan, dall'impervie regioni del Goggiam all'Harar, ai margini estremi del bassopiano dancalo. Il lavoro venne condotto a termine nei tempi stabiliti dal contratto compresi i voli di presa la campagna a terra, la restituzione, il disegno e la riproduzione.

Parallelamente alla produzione fotogrammetrica propriamente detta, cioè quella che si esplica e produce le carte tramite gli strumenti restitutori, servendosi per l'appoggio dei punti determinati a terra dei mezzi classici della triangolazione e della livellazione o trova i suoi ancoraggi nei punti determinati con l'ausilio della triangolazione aerea, si svolge un'altra attività fotogrammetrica, quella comunemente denominata « fotogrammetria speditiva ». Questo tipo di fotogrammetria ha dato e sta dando un contributo eccezionale nel campo della conoscenza geografica di regioni di estensioni enormi, che fino a qualche decennio fa erano praticamente inesplorate e cartograficamente sconosciute.

Si è trattato in questo campo di costruire delle carte di carattere descrittivo, non rigorosamente geometrico, alle scale 1 : 100.000, 1 : 200.000 e 1 : 300.000 impiegando metodi grafici o meccanico-grafici di triangolazione radiale ed usando fotografie riprese da altissima quota, in genere da 10.000-20.000 metri di quota relativa. In queste carte la rappresentazione planimetrica del terreno è eseguita con sufficiente approssimazione e quella altimetrica è descritta efficacemente mediante curve dimostrative dell'orografia, curve che, pur non avendo che scarso valore geometrico, forniscono la configurazione del terreno e danno indicazioni pregevoli sulla sua morfologia.

Cartografie speditive compilate con tali sistemi coprono ormai gran parte dell'Africa, dell'Asia e dell'America e sono di innegabile utilità per la conoscenza di quei territori.

Anche nel campo della fotogrammetria speditiva, i primi documenti cartografici sono stati quelli prodotti da noi italiani: ci riferiamo alla cartografia speditiva eseguita durante le operazioni belliche in Africa Orientale nel 1935-1936.

Si ricorda a proposito che oltre il vecchio confine eritreo non esisteva, nel 1935, che una carta al milionesimo compilata sulla base di pochi itinerari e di notizie di esploratori inglesi, francesi ed italiani ed imbastita sulla trama di scarsissimi elementi appartenenti a rudimentali triangolazioni, a qualche rara determinazione astronomica di dubbia attendibilità e a degli schizzi di limitate superfici. Le urgenti necessità belliche in materia cartografica consigliarono l'impiego della fotogrammetria aerea per la formazione di carte oltre i vecchi confini eritrei.

Un Ufficio topocartografico appositamente costituito che risiedeva all'Asmara ed attrezzato con macchine aerofotografiche da presa, aerei e personale spécia-

lizzato fu subito in grado di fornire le carte necessarie desunte dalle aerofotografie mediante sistemi speditivi basati sulla triangolazione radiale, l'interpretazione stereoscopica dei fotogrammi, la loro mosaicatura e riduzione alla scala 1 : 100.000 o 1 : 50.000. Un foglio al 100.000 (circa 1.600 Km<sup>2</sup>), veniva allestito e stampato in tre colori nel giro di 10÷15 giorni dal momento della presa. Alla fine delle operazioni militari e cioè nel maggio 1936, (dopo circa 8 mesi di campagna) l'Ufficio topografico aveva prodotto carte al 50.000 ed al 100.000 interessanti una superficie totale di oltre 60.000 Km<sup>2</sup>.

Questo succinto e frammentario esposto ha preteso innanzi tutto far rilevare quali siano le qualità proprie della cartografia prodotta con i sistemi aerofotogrammetrici ma, più che altro, ha voluto sottolineare come sia stato rapido e crescente l'inserimento e lo sviluppo della fotogrammetria aerea nell'ambito della cartografia topografica, come i mezzi e le tecniche fotogrammetriche si siano industrializzate e come sia possibile risolvere definitivamente ed in un tempo relativamente breve, il problema della totale conoscenza della superficie terrestre .