
I. — COMUNICAZIONI E RELAZIONI

Rilievi fotogrammetrici nella regione del Karakoram eseguiti dalla spedizione di S. A. R. il Duca degli Abruzzi.

Memoria dell'ing. geog. PIO PAGANINI

(con una tavola fuori testo).

I.**Preliminari.**

S. A. R. il Principe Luigi di Savoia, Duca degli Abruzzi, la cui aureola di gloria e di simpatia, acquistata con le tante sue audaci e scientifiche imprese, va ora brillando di nuova luce per le recenti azioni ardite da lui compiute nell'attuale gloriosa campagna contro la Turchia, non tralasciò di sovrintendere alla pubblicazione di un'opera attesa da tutto il mondo scientifico, che vide la luce in questi giorni e che riguarda l'ardimentosa spedizione compiuta da S. A. R. nel Karakoram, con lo scopo di studiare questa solitaria e aspra regione altissima e salire, se possibile, qualcuna delle sue cime più eminenti (1). Quest'opera, la cui redazione fu affidata all'illustre dott. Filippo De Filippi che fece parte della spedizione in parola, riuscì importantissima sotto ogni riguardo, sia per la ricchezza di notizie riguardanti questa inospite regione e di relativi dati e osservazioni scientifiche interessanti la fisica terrestre, la geologia, la mineralogia, la bota-

(1) *S. A. R. il Principe Luigi Amedeo di Savoia Duca degli Abruzzi - La spedizione nel Karakorum e nell'Imalaia occidentale, 1909.* Relazione del dott. F. DE FILIPPI, illustrata da VITTORIO SELLA, Bologna, Nicola Zanichelli.

nica, ecc., sia per l'abbondanza di vedute, istantanee e panorami estesi, eseguiti da S. A. R., dall'illustre alpinista e fotografo cavalier Vittorio Sella e, per il rilievo fotogrammetrico, dal tenente di vascello marchese Negrotto Cambiaso, allora ufficiale d'ordinanza di S. A. R.

Nella dotta conferenza tenuta nel teatro Vittorio Emanuele di Torino, auspice la Sezione del Club Alpino Italiano di quella città, e nell'Aula Magna del Collegio Romano sotto gli auspicî della Società Geografica Italiana, l'Augusto Principe espose già brevemente come fu organizzata, eseguita e condotta a termine l'ardita esplorazione, nè mancò fino d'allora di accennare come fu eseguito il rilievo topografico della regione da lui studiata, che completava la pubblicazione di quella conferenza e che ora completa la nuova opera testè pubblicata.

Lo scrivente non può a meno di esprimere qui la sua immensa gratitudine verso S. A. R. che volle incaricarlo della esecuzione del rilievo in parola con lo speciale metodo fotogrammetrico da lui studiato per l'Istituto Geografico militare, per il munifico dono con cui S. A. R. volle manifestargli il suo compiacimento, per avere inoltre voluto inviargli il ricordo prezioso di una copia della detta conferenza, munita di dedica e firma di Sua Augusta mano e ora quello di una copia della nuova opera splendida sopracitata.

Volendo qui esporre il modo come fu eseguito l'accennato rilievo, occorre premettere che già il *Bollettino della Società Geografica* pubblicò fin dal luglio 1881 una prima relazione dello scrivente sui lavori di fototopografia iniziati all'Istituto Geografico militare, presentati al III Congresso Geografico Internazionale tenuto in Venezia nello stesso anno e un'altra relazione sullo stesso argomento, al I Congresso Geografico Italiano tenuto in Genova nel 1892 durante le feste colombiane (1). In queste relazioni e in

(1) P. PAGANINI, « La fototopografia », in *Bollettino della Società Geografica Italiana*, 1881, n. 7.

Id., « Del rilevamento fototopografico », in *Atti del primo Congresso Geografico Italiano*, Genova, 1892, e in *Rivista militare italiana*, 1893.

Id., « La fototopografia in Italia », in *Rivista di Topografia e Catasto*, supplemento del *Giornale dei Lavori Pubblici*, Roma, 1889, e *Rivista Marittima*, fascicolo di giugno-luglio 1889.

Id., « Nuovi appunti di fototopografia e applicazione della fotogrammetria all'idrografia », in *Rivista Marittima*, marzo 1894.

altre note successive (1) veniva esposto questo metodo dello scrivente con gli studi relativi che man mano valsero a migliorarlo e renderlo di pratica applicazione, nonchè i buoni risultati successivamente ottenuti nell'impiego che se ne fece all'Istituto Geografico Militare per le sue carte di frontiera alpina.

A queste relazioni e note potrà rivolgersi chi vorrà addentrarsi più profondamente nei particolari del metodo escogitato dallo scrivente e, in mancanza di esse, ad un volume dei manuali Hoepli che riassume il contenuto delle precedenti pubblicazioni (2).

II.

Preferenza data al metodo fotogrammetrico per il rilievo nel Karakoram.

Della regione del Karakoram visitata dalla spedizione di S. A. R. il Duca degli Abruzzi, il ghiacciaio Godwin-Austen, alla estremità orientale di quello più grande, del Baltoro, e le due sue ramificazioni che circondano a levante e a ponente il massiccio del Chogori, o K. 2, nonchè i contrafforti che fiancheggiano questi ghiacciai, furono rilevati colla fotogrammetria. Era noto che all'Istituto Geografico Militare il metodo fotogrammetrico ivi impiantato dallo scrivente e successivamente da lui perfezionato, veniva impiegato nel rilievo delle nostre Alpi con eccellenti risultati.

Con l'impiego di speciali apparati per le stazioni sul terreno e strumenti grafici per la costruzione della levata, il metodo in parola ha raggiunto un altissimo grado di praticità e semplicità,

(1) Le due ultime note furono pure tradotte: la prima in tedesco, nella *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 1891-92, in Hannover, e tutte due, in inglese, da J. A. FLEMER, nel *Report of the U. S. Coast and Geodetic Survey for the year 1893*, Washington, 1895, e in russo dall'ingegnere delle ferrovie russe RICHARD THIÈLÈ nella sua « Fototopografia pratica - Fotogrammetria », Pietroburgo, 1898.

ID., « Apparato fotogrammetrico per levate rapide al 50,000 e 100,000, per ricognizioni militari e per viaggi d'esplorazione » (mod. 1897), in *Rivista Marittima*, agosto-settembre 1897 e *Rivista di Topografia e Catasto*, vol. XI, Torino, 1898. Tradotta pure in russo dal Thièlè.

(2) P. PAGANINI, « Fotogrammetria », Manuale U. Hoepli, Milano, 1901.

e può quindi vantaggiosamente sostituire tutti gli altri metodi topografici in uso, specialmente nel rilievo dei terreni più difficili: sia perchè di alta montagna e percorsi da creste di difficile accesso o coperti da estesi ghiacciai, sia in terreni sulla frontiera, quando questa non si può oltrepassare, oppure occupati dal nemico, sia per quelli malsani, e in generale per tutti quei terreni dove per le lunghe e faticose marcie in una stessa giornata riesce molto limitato il tempo per il lavoro utile di determinare punti intorno allo strumento, o non si può restarvi lungo tempo come si richiede colla tavoletta pretoriana, col tacheometro, o col teodolite. Nel rilievo a piccole scale colla tavoletta pretoriana in alta montagna, la stadia viene abbandonata come inutile peso e i punti vengono determinati per intersezione; lo stesso dicasi per il tacheometro, le cui mire non servono che per piccole distanze e tale strumento viene allora adoperato come il teodolite, e anche qui i punti per la levata vengono determinati per intersezione; in tutti e tre questi casi le direzioni ai punti devono tutte essere prese sul terreno e numerosi schizzi a vista devono corredare queste osservazioni per raccapezzarsi poi in ufficio nella costruzione della levata topografica; se fra questi tre casi quello della tavoletta ha un certo vantaggio, quello cioè, di poter disegnare sul posto le forme del terreno, si richiede peraltro maggior tempo nell'esecuzione di ogni stazione.

Col metodo fotogrammetrico invece, tutte queste direzioni a quanti si vogliono punti del terreno, si ricavano in ufficio da immagini fotografiche del terreno ottenute in punti di stazione convenientemente scelti, mediante apparati fotografici speciali, nei quali la camera oscura è munita di organi per corredare le prospettive fotografiche degli elementi necessari, perchè possano servire in ufficio per il rilievo. Sul terreno il metodo fotogrammetrico non ha di comune con gli altri metodi sovraindicati che la determinazione del punto di stazione con visuali ai punti trigonometrici circostanti, cosa che, occorrendo, il metodo fotogrammetrico permette di fare in ufficio, valendosi del panorama fotografici, qualora le immagini di questi punti trigonometrici vi siano ben definite, come avviene generalmente in alta montagna dove essi sono individuati da punte con segnali, o cime spiccate; il lavoro sul terreno colla fotogrammetria si riduce quindi alla rettificazione e correzioni dello strumento, all'esecuzione del panorama e

registrazione su apposito libretto di campagna delle sole osservazioni necessarie per determinare il punto di stazione e gli elementi delle varie prospettive che compongono il panorama. In conclusione non si ha quindi che da raccogliere delle immagini del terreno da rilevare quale si vede dai diversi punti di stazione, sulle quali immagini si possono eseguire a campagna finita e nella tranquillità dell'ufficio tutte quelle operazioni che cogli altri metodi bisogna eseguire sul terreno; con un altro vantaggio in più, di potere in questo modo determinare quanti punti si vogliono a seconda della scala del rilievo e della quantità di particolari che si vogliono rappresentare. Così anche il vantaggio di potere eseguire con un solo lavoro di campagna, il rilievo del terreno a diverse scale, è esclusivo del metodo fotogrammetrico; infatti per ricavare un raffittimento di punti, sia per dei nuovi capisaldi, sia per la rappresentazione del terreno, che con questo metodo si può fare moltiplicando i punti sulle immagini, con tutti gli altri metodi occorre il ritorno sul terreno.

III.

Brevi cenni sul metodo fotogrammetrico dell'Istituto Geografico militare.

Gli apparati fotogrammetrici ideati dallo scrivente forniscono prospettive fotografiche verticali, sulle quali sono tracciati, dalla fotografia stessa, due assi ortogonali che hanno per origine il punto principale della prospettiva; questa origine data dall'incrocicchio di due fili è, per costruzione accurata, anche l'incontro dell'asse ottico dell'obbiettivo, o della camera oscura, col piano dell'immagine. Dei due assi ortogonali che rimangono tracciati sulla negativa e quindi sulle prove positive che se ne ritraggono, l'uno è la traccia del piano orizzontale che passa per il punto di vista della prospettiva, cioè l'orizzonte della stazione, e l'altro la traccia del piano verticale che contiene l'asse ottico dell'obbiettivo e quindi anche il punto di vista della prospettiva stessa.

Perchè una prospettiva fotografica possa servire per il rilievo col metodo dello scrivente, è necessario conoscere la distanza del suo punto di vista dal piano di essa, cioè la lunghezza della

normale a questo piano condotta dal detto punto, come ordinariamente con altri metodi fotogrammetrici; però, trattandosi qui di prospettive nelle quali il terreno rappresentato e da trattarsi oltrepassa in distanza i 200-300 metri, il secondo punto nodale dell'obbiettivo può ritenersi come il loro punto di vista, se l'obbiettivo, ben inteso, fu messo *a fuoco* per questa distanza, o meglio per l'infinito, e quindi la distanza focale principale dell'obbiettivo, che è una quantità costante per uno stesso apparecchio, può ritenersi come distanza del punto di vista di tutte le prospettive ottenute con esso (1). Per questo ogni obbiettivo degli apparati dello scrivente è munito di una graduazione che dà questa distanza in millimetri e decimi di millimetro, determinandola una volta per sempre in principio della campagna, col mettere a fuoco punti lontani del terreno e coll'eseguire più osservazioni su diversi oggetti per avere un valore medio più approssimato al vero. Questo valore si manterrà poi costante per tutte le prospettive che si eseguiranno durante la campagna, salvo poi a determinare con una maggiore precisione, alla fine della campagna stessa, il valore effettivo di questo elemento delle prospettive su carta che devono servire alle misure necessarie per il rilievo, elemento il più importante, inquantochè stabilisce il rapporto fra le dimensioni degli oggetti e quelle delle corrispondenti immagini sulle prospettive; importa quindi che esso venga determinato con la più gran cura e all'uopo rettificato col calcolo prima di procedere alla costruzione grafica del rilievo (2).

Un altro elemento necessario e che deve prendersi sul terreno è l'orientamento della prospettiva, cioè l'angolo orizzontale che l'asse ottico della camera oscura, ossia la normale dal punto di vista alla prospettiva, fa con la visuale ad un punto ben determinato del terreno o, in mancanza, l'azimut dell'asse ottico dato da una bussola annessa all'apparecchio (3).

Con questo metodo il lavoro intorno all'apparecchio si riduce al minimo, cioè: correzioni di esso, eseguitamento del panorama

(1) Cfr. « La fototopografia in Italia », in *Rivista Marittima*, giugno-luglio 1889.

(2) « Nuovi appunti di fototopografia », in *Rivista Marittima*, marzo 1894.

(3) Cfr. « Apparato fotogrammetrico per levate rapide alle scale del 50,000 e 100,000, ecc. », in *Rivista Marittima*, agosto settembre 1898.

ed osservazioni azimutali e zenitali, oppure azimutali solamente, come nel caso dell'apparecchio fotogrammetrico che la spedizione ha portato seco nel Karakoram, limitate ai punti trigonometrici circostanti per poter situare il punto di stazione e, tutt'al più, anche a quei punti rimarchevoli che, mirati da varie stazioni, possono a loro volta servire da capisaldi a cui riferire le successive stazioni, nel caso fossero stati insufficienti i punti geodetici nella regione da rilevarsi.

IV.

Apparecchio fotogrammetrico impiegato per il rilievo nel Karakoram.

Lo scrivente studiò vari tipi di apparati fotogrammetrici per i lavori dell'Istituto e li fece costruire all'officina « Galileo » di Firenze, la quale, quando il tenente di vascello marchese Negrotto-Cambiaso, ufficiale d'ordinanza di S. A. R. il Duca degli Abruzzi, fu indirizzato dall'illustre prof. Jadanza dell'Università di Torino, all'Istituto Geografico militare e allo scrivente, per apprendere il metodo in parola ed acquistare un apparato fotogrammetrico per la spedizione, non aveva di pronto che un apparato « Modello 1897 » che fu studiato per i rilievi in Eritrea; questo strumento, se presentava effettivamente non pochi vantaggi sui precedenti per il caso di rapide esplorazioni, cioè: minor peso e volume, e maggior facilità e semplicità di maneggio, era per altro il meno adatto per lavori di altissima montagna; disgraziatamente non vi era tempo sufficiente per la costruzione di un nuovo tipo di strumento recentemente studiato dallo scrivente, che riunisce i vantaggi di quest'ultimo con quelli di apparati costruiti precedentemente.

L'apparato in parola (mod. 1897) di piccola distanza focale (18 cm.) che utilizza la lastra 18×24 col lato maggiore di 24 cm. orizzontale per avere maggior campo in questo senso, se può servire molto bene per rilievi di terreni come quelli d'Eritrea e riuscì utilissimo nei lavori russi in Transbaicalia e nella Transcaucasia dove il terreno è meno aspro che sulle Alpi, epperò i dislivelli meno sensibili, non si presta bene nell'Himalaja. Infatti, stazioni fotogrammetriche eseguite sui ghiacciai del Baltoro e Godwin Austen

essendo relativamente basse rispetto alle cime circostanti, non tutti i panorama ottenuti comprendevano le cime più alte, come sarebbe stato necessario, per il campo verticale troppo limitato che il lato minore della lastra (18 cm.) permetteva. Di più, l'apparecchio in parola non essendo, come tutti gli altri dello scrivente, munito di cerchio verticale e di cannocchiale — tutto con quest'apparecchio dovendo essere dato dalla fotografia — le direzioni ai punti trigonometrici e capisaldi secondari si dovevano pure ricavare dalle prospettive, ciò che se semplificava il lavoro attorno allo strumento, doveva naturalmente portare un maggior lavoro in ufficio. Comunque, quest'apparecchio — in confronto di quelli precedentemente costruiti per l'Istituto Geografico militare, tenuto conto dello scopo a cui deve servire, più semplice, leggero, di facile impiego, di minor prezzo e suscettibile di tutta l'esattezza richiesta nei moderni lavori topografici — permette raggiungere una grande rapidità nel lavoro sul terreno, rendendo minimo il tempo in cui l'operatore rimane esposto ai disagi ed intemperie per raccogliervi gli elementi indispensabili sopracitati.

Per ottenere in breve tempo schizzi o rilievi, nelle esplorazioni in regioni poco note e inospitali, questo apparecchio presenta un altro vantaggio, quello cioè di mantenere per lungo tempo le varie correzioni e rettifiche fatte in principio della spedizione per la buona riuscita delle stazioni, cosa facile a comprendersi con una breve descrizione dell'apparecchio stesso.

Esso consta di una camera oscura fotografica, rigida, in alluminio per maggior leggerezza, della forma di un prisma retto la cui base è un trapezio isoscele; la faccia posteriore di essa, che si eleva sul maggiore dei lati paralleli del trapezio è costituita di una intelaiatura che porta il vetro smerigliato o, al suo posto, il telaio con la lastra sensibile. La faccia anteriore della camera porta, fissato al suo centro, un tubo entro il quale scorre un altro a vite col passo di un millimetro, che porta l'obbiettivo. Una graduazione in millimetri, che ha per origine il piano focale, ossia la superficie smerigliata sulla quale si formano le immagini, è incisa esteriormente lungo il tubo fisso, e un anello fissato col suo lembo anteriore al tubo porta-obbiettivo abbraccia col lembo posteriore smussato a coltello, il [tubo fisso; così muovendo il tubo mobile per fare avanzare o retrocedere l'obbiettivo, il taglio

del lembo posteriore dell'anello, percorrendo la graduazione, serve di linea di collimazione per indicare, sulla graduazione stessa, la distanza dell'obbiettivo dal piano focale: il lembo smussato essendo diviso da incisioni numerate, in dieci parti eguali, su di esso si possono leggere le parti di giro del tubo mobile, cioè i decimi di millimetro da aggiungere al numero di millimetri letto sul tubo fisso e avere così in millimetri e decimi di millimetro la distanza del 2° punto nodale dell'obbiettivo dal piano su cui si formano le immagini, ossia: la distanza del punto di vista della prospettiva, che si determina una volta per sempre, in principio della campagna e che si chiama: *distanza focale indicata*.

L'obbiettivo dell'apparecchio, fissato al tubo mobile è un'anastigmatico Zeiss grandangolare di 182 mm. di distanza focale principale — quella del catalogo —. Con piccolo diaframma produce un'immagine netta di 40 cm. di diametro con 104° di campo; appartiene ad una serie degli obbiettivi Zeiss, la più adatta per lavori fototopografici. Col diaframma $\frac{f}{35}$ si ha un'immagine netta, senza distorsioni, sopra le lastre 20×26; così la lastra 18×24, impiegata nell'apparecchio in parola, fornisce immagini finissime e corrette in tutte le loro parti anche con diaframma di maggiore apertura, mentre la luminosità è tanto grande che conviene valersi di lastre con emulsione di media sensibilità, o meglio di lastre ortocromatiche.

Le prospettive ottenute coll'apparecchio che la spedizione portò seco nel Karakoram, hanno un campo orizzontale di 67° e verticale di 54°, per cui con 6 prospettive ottenute spostando successivamente di 60° l'asse ottico della camera oscura, reso orizzontale, intorno all'asse verticale di rotazione, si ottiene un panorama che comprende l'intero giro d'orizzonte e si possono ricavare angoli in altezza o in depressione fino a 27°. Certamente che, dati i forti dislivelli nella regione esplorata dalla spedizione, sarebbe occorso un maggior campo verticale, ma, come si è detto, il nuovo tipo d'apparecchio che avrebbe permesso elevazioni o depressioni molto maggiori, non era ancora costruito; in questo si potrà fissare la camera oscura dell'apparecchio in modo di potere anche impiegare le lastre col loro lato maggiore di 24 cm. verticale, nel qual caso si potranno ricavare altezze angolari fino a 33° 30' e di più, perchè si potrà anche impiegare la camera

oscura col suo asse ottico inclinato, sopra o sotto l'orizzonte, di quantità angolari note.

Per l'intero giro d'orizzonte occorrerà però un panorama di 8 lastre con spostamenti orizzontali dell'asse ottico della camera, successivamente di 45° ; o senza l'accennato cambiamento nella posizione della camera nell'apparecchio, potendosi essa ridurre a canocchiale girevole intorno ad un asse di rotazione trasversale orizzontale, con cerchio graduato verticale — come nell'apparecchio «Modello 1890» — si potranno osservare angoli in elevazione, o in depressione, anche di cime le cui immagini capitassero fuori della lastra. Certamente questo nuovo strumento avrebbe facilitata di molto la costruzione del rilievo e coi panorama di maggior campo verticale, con non maggior lavoro in ogni singola stazione, si sarebbe raccolta una messe maggiore di dati ed elementi necessari per la costruzione grafica stessa.

Come in tutti gli apparecchi dello scrivente, anche in quello portato dalla spedizione, l'asse ottico dell'obbiettivo è, per accurata costruzione, disposto normalmente al piano dell'immagine e l'incontro del detto asse con questo piano vien segnato fotograficamente sulla prospettiva insieme col terreno da questa rappresentato, dall'incrocicchio di due sottilissimi fili d'argento, ortogonali fra loro, tesi innanzi al vetro smerigliato, sull'intelaiatura posteriore della camera in modo da poterli facilmente togliere e rimettere, oppure sostituire prontamente in caso di rottura.

Tre bracci piegati ad angolo retto, situati sotto la camera, l'uno anteriormente e due posteriormente sui fianchi di essa, portano alle loro estremità un foro attraverso il quale ogni braccio può essere liberamente attraversato da un corrispondente stelo a vite fissato normalmente sul piatto mobile o alidada del cerchio orizzontale; dadi e controdadi che si avvitano sugli steli mediante appositi spilli e posti sopra e sotto le estremità dei bracci sui quali agiscono a contrasto, possono fissare rigidamente questi sugli steli e quindi anche la camera alla voluta posizione sull'alidada; posizione che, salvo eccezionalissimi accidenti di viaggio o di trasporto, rimane invariabile per tutta la durata della campagna. Questo fatto è importante, inquantochè l'accennata posizione voluta deve soddisfare alla condizione che quando l'asse di rotazione dell'apparecchio è reso verticale, il piano che contiene l'asse ottico della camera oscura e il filo che deve segnare l'oriz-

zonte della stazione è orizzontale; si comprende allora come l'unica correzione da farsi all'apparecchio nel punto di stazione sia quella di correggere la livella rendendo in pari tempo verticale l'asse di rotazione dell'apparecchio. Vedremo in seguito come si ottiene l'accennata condizione, quando, come nel nostro caso, l'apparecchio non è munito di cerchio verticale e di cannocchiale.

Il cerchio azimutale dello strumento in parola, del diametro di 14 cm., ha il suo lembo graduato da 0° a 360° e ogni grado è diviso in due parti di 30' ciascuna; il nonio situato sull'alidada permette di leggere il minuto primo e, per interpolazione a vista, di apprezzare anche i 30". Oltre ai tre steli sui quali si può fissare la camera oscura, l'alidada porta una livella, una lente in corrispondenza del nonio e una vite di richiamo con vite d'arresto a pressione, per i piccoli movimenti di collimazione.

Per ottenere la verticalità dell'asse di rotazione dell'apparato, tre viti di livello che traversano la testa del treppiede sostengono il cerchio azimutale il quale è mantenuto sul treppiede da un'asta a vite con molla e manubrio, che si fa attraversare la testa del treppiede stesso da sotto in sopra per avvitarlo in un pezzo mobile a forma di mezza sfera, trattenuto sotto il cerchio da apposito collare.

Una bussola tipo Dixey o Schmalkalder è situata sulla parete superiore della camera oscura; la sua posizione può rettificarsi in modo che il piano visuale dei suoi traguardi si può situare nella stessa direzione dell'asse ottico della camera oscura, valendosi, per ottenere questa condizione, di un punto lontano del terreno. Si può così servirsi della bussola per avere l'orientamento del panorama, quando non si abbiano in vista punti trigonometrici o in qualsiasi modo ben determinati.

Il treppiede, come in tutti gli apparecchi dello scrivente, è scomponibile e ciascun piede, che può servire in marcia da bastone di montagna, si può fissare rigidamente alla testa del treppiede nella posizione voluta, secondo l'inclinazione e l'asperità del terreno. Nell'apparecchio acquistato dalla spedizione ciascun piede si può anche dividere in due parti per facilitarne il trasporto in un unico sacco, per riunirle poi solidamente quando si deve eseguire la stazione. In questo apparecchio la camera oscura si può mantenere fissa rigidamente sull'alidada del cerchio orizzontale, anche nello zaino in cui l'apparecchio viene trasportato.

In questa posizione, rettificata al principio della campagna o solamente quando si teme che qualche scossa accidentale possa averla turbata, si può mantenere per tutta la campagna. Come si è già detto, questa posizione costante della camera oscura sull'alidada — in modo che il piano contenente l'asse ottico e il filo destinato a segnare l'orizzonte sulle prospettive sia normale all'asse di rotazione dello strumento, affinché questo piano risulti orizzontale quando detto asse, mediante la livella e relative viti, vien reso verticale — costituisce la correzione più importante dell'apparecchio e si può fare una volta per sempre in principio della campagna.

V.

Rettifiche dell'apparecchio descritto.

Per gli apparati che lo scrivente ha fatto costruire precedentemente per l'Istituto Geografico, questa rettifica si ottiene: o col canocchiale dell'ecclimetro, che si può capovolgere (mod. 1884), oppure con la camera oscura ridotta a canocchiale rovesciabile (mod. 1890). Per l'apparato che consideriamo, senza cerchio verticale e senza cannocchiale, si raggiunge la sopracitata condizione nel modo seguente: si comincia col mettere approssimativamente alla stessa altezza sull'alidada del cerchio graduato reso in precedenza orizzontale, i tre bracci fissati inferiormente sotto la camera, muovendo con gli appositi spilli i dadi inferiori, dopo aver alzato quelli superiori per lasciar liberi i movimenti dei bracci stessi sui rispettivi steli. Guardando quindi attraverso al vetro smerigliato e riparandosi col panno nero affinché la luce esterna non perturbi le immagini ottiche, si mireranno successivamente con l'incrocicchio dei fili, dei punti lontani che si giudicano all'orizzonte, alternando questi puntamenti con movimenti a dritta e a sinistra dell'alidada e quindi della camera, e altresì con l'alzare e abbassare convenientemente i dadi che sostengono i bracci di questa, finchè si trova un punto che negli accennati movimenti della camera in un senso o nell'altro, intorno all'asse di rotazione, sembri con la sua immagine percorrere il filo orizzontale da un suo estremo all'altro, senza staccarsene nè al disopra, nè al disotto.

Ammessa la verticalità dell'asse di rotazione dell'apparato, si sa (1) come questo fatto importante non si verifica che nel caso appunto in cui è orizzontale il piano che contiene l'asse ottico della camera oscura e il filo destinato a tracciare colla sua immagine l'orizzonte della prospettiva; in qualsiasi altro caso l'asse ottico non essendo orizzontale e quindi anche la superficie smerigliata non essendo verticale, negli accennati movimenti di rotazione a destra o a sinistra, intorno all'asse di rotazione, l'immagine del punto mirato allontanandosi, a sinistra o a destra, dall'incrocicchio dei fili lo si vedrebbe man mano staccarsi dal filo orizzontale descrivendo il ramo di una *iperbole* che si stenderà verso l'alto o verso il basso, secondo che il punto mirato si trova al disotto o al disopra dell'orizzonte. Infatti, se l'asse ottico della camera oscura in direzione di un punto lontano non è orizzontale, nel suo movimento di rotazione intorno all'asse verticale genera una superficie conica che ha per asse l'asse verticale stesso dell'apparecchio e per vertice l'incontro del prolungamento dell'asse dell'apparecchio coll'asse ottico; l'intersezione del piano dell'immagine con la superficie conica così generata è una *conica* che nel caso nostro è una *iperbole*. Sarebbe una *parabola*, quando l'asse ottico fosse inclinato di 45° sopra o sotto l'orizzonte.

Nel movimento di rotazione della camera intorno all'asse verticale, il raggio inviato dal punto lontano nell'interno della stessa attraverso all'obiettivo e che al principio del movimento era in direzione dell'asse ottico, si scosterà da questo, pur mantenendosi sulla superficie conica considerata; così il luogo geometrico delle successive intersezioni del raggio inviato dal punto lontano nella camera oscura col piano dell'immagine, sarà appunto l'intersezione di questo piano con la superficie conica in questione, cioè un'*iperbole* e nel caso speciale sovraccennato una *parabola*.

Diminuendo l'inclinazione dell'asse ottico, e più questo si avvicina ad essere orizzontale, nel movimento di rotazione della camera esso descriverà una superficie conica il cui vertice sarà sempre più ottuso e quindi la curvatura dell'*iperbole* diminuirà fino a che l'asse ottico divenuto orizzontale, nell'accennato mo-

(1) Cfr. opere citate precedentemente.

vimento di rotazione descriverà un piano orizzontale la cui intersezione col piano dell'immagine, divenuto a sua volta verticale, sarà una linea retta che nel caso nostro si confonderà con l'immagine del filo orizzontale della camera, destinato appunto a segnare la linea d'orizzonte delle prospettive.

Questa rettifica che si può effettuare anche negli altri apparati che lo scrivente ha studiato per l'Istituto, ma più difficile ad ottenersi per la poca lunghezza del filo orizzontale, riesce invece molto bene e rapidamente con l'apparato in parola, per l'esteso campo orizzontale della camera. Si avrà cura di rendere dapprima orizzontale il filo destinato a segnare l'orizzonte del panorama, valendosi prima del solo movimento dei dadi che sostengono i bracci posteriori della camera oscura in modo che un punto lontano qualsiasi che capita sul filo ad una delle sue estremità, muovendo la camera per tutta l'ampiezza del suo campo intorno all'asse di rotazione, vada ad intersecare l'altra estremità del filo stesso; sarà così rettificata l'orizzontalità di questo filo. Se poi il punto considerato non è sull'orizzonte, nel movimento della camera intorno all'asse di rotazione si vedrà il punto descrivere la curva e passare quindi al disopra o al disotto dell'incrocicchio secondochè l'asse ottico è inclinato sotto o sopra l'orizzonte; il vertice dell'iperbole si troverà in tal caso sul filo verticale e sarà allora più facile apprezzare la convessità di detta curva; si girerà allora il solo dado che sostiene il braccio anteriore della camera, per alzarlo od abbassarlo secondo che si vede l'immagine del punto passare al disotto o al disopra dell'incrocicchio. Valendosi in seguito dell'incrocicchio per i successivi puntamenti ad altri punti più prossimi all'orizzonte, si raggiungerà presto la condizione richiesta; ottenuta questa, si stringeranno i dadi superiori contro i bracci, a contrasto coi dadi inferiori, nonchè i controdadi superiori e inferiori, per fissare rigidamente la camera nella voluta posizione. Si è certi allora che la condizione accennata si manterrà per lungo tempo, realizzandosi essa tutte le volte che si ridurrà verticale l'asse di rotazione dell'apparecchio.

VI.

Panorama e prospettive fotografiche per il rilievo.

Il panorama ottenuto nelle suesposte condizioni contiene l'immagine di tutto il terreno visto dalla stazione, e con gli altri panorama ottenuti in convenienti punti di stazione determinati successivamente si può alla fine della campagna, o in qualsiasi epoca e in differente scala, eseguire il rilievo della zona di terreno che quei panorama insieme abbracciano. Cogli elementi raccolti, ogni prospettiva che fa parte di questi panorama viene per il rilievo considerata isolatamente, la distanza focale essendosi mantenuta costante per tutte, e tutte risultando corredate della loro linea d'orizzonte e della traccia del piano verticale che contiene il punto di vista e il punto principale di esse, coll'orientamento della linea che unisce questi due punti, epperò dell'asse ottico, per ciascuna prospettiva. In pratica si adoperano per il rilievo le copie positive su carta, potendosi tener conto dell'alterazione subita da un'unica qualità di carta adottata e valersi quindi di una distanza del punto di vista modificata in conseguenza e che viene determinata prima di procedere alla costruzione grafica, indipendentemente da quella *indicata*, nel modo che già si è esposto in precedenti pubblicazioni (1).

La distanza focale f , o del punto di vista, così rettificata per servire al rilievo, fu chiamata *distanza effettiva* del punto di vista, per distinguerla da quella *indicata* dalla graduazione dell'obbiettivo nell'esecuzione dei panorama. Se, come abbiamo visto, la distanza focale *indicata* si mantiene costante per tutte le prospettive eseguite dalle varie stazioni, durante le quali si conserva all'obbiettivo una posizione costante determinata in principio della campagna e indicata dalla sua graduazione, quella effettiva invece, quantunque data dalla media di valori ricavati dai singoli panorama, con misure dirette eseguite sulle varie prospettive che li compongono, può variare a seconda che queste misure ven-

(1) Cfr. *Nuovi appunti di fototopografia* in *Rivista Marittima*, marzo, 1894; *Fotogrammetria*, Manuale Hoepli, Milano, 1901.

gono prese sulle negative su vetro, o su pellicola sensibile, oppure sulle positive, e in quest'ultimo caso anche secondo la qualità di carta sensibile impiegata per la stampa; da ciò l'utilità di impiegare, come si fa sempre, un'unica qualità di carta sensibile, tagliata per di più sempre nello stesso senso per rispetto alla sua fibra, affinchè tutte le prove da servire al rilievo si trovino nelle eguali condizioni, ciò che semplifica enormemente la costruzione grafica del rilievo.

VII.

Elementi fotogrammetrici delle prospettive.

Se f è la distanza effettiva del punto di vista dalla prospettiva e w' è l'angolo che la direzione orizzontale di un punto di essa fa con la normale alla prospettiva dal punto di vista, il cui orientamento w è noto, si ha:

$$\text{tang } w' = \frac{x}{f} \dots\dots (1)$$

e $w + w'$ sarà l'orientamento del punto considerato e si potrà tracciare la sua direzione nel piano del disegno; lo stesso dicasi per gli altri punti del terreno che hanno la loro immagine di ascissa $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$. Con le direzioni ai vari punti del terreno ritenuti utili per il rilievo e visibili da due o più punti di stazione, ottenute con la relazione (1), si potrà determinare la loro posizione nel rilievo per intersezione; questi punti del terreno riusciranno situati nel disegno alla stessa scala con cui vi furono situati i punti trigonometrici ai quali furono appoggiate le varie stazioni fotogrammetriche.

Se α è l'angolo che la visuale all'immagine sulla prospettiva, di un punto del terreno fa con la sua proiezione sull'orizzonte, si avrà pure

$$\text{tang } \alpha = \frac{y \cos w'}{f} \dots\dots (2)$$

con questa altezza angolare α e con la distanza D del punto considerato del terreno, dal punto di stazione, si potrà già avere la differenza di livello L fra questi due punti, e lo stesso per tutti

gli altri punti del terreno che hanno le loro immagini di ordinata $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$, e alla distanza $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ dal punto di stazione; a ciò possono servire le « tavole per le differenze di livello » in uso anche all'Istituto Geografico Militare nei rilievi con la tavoletta pretoriana. E poichè:

$$\text{tang } \alpha = \frac{L}{D}$$

sostituendo questo valore nella (2) si avrà

$$L = \frac{y \cos w'}{f} D \dots (3).$$

Per il rilievo della regione del Karakoram essendosi scelta la scala di 1 a 100,000, su di esso la distanza del punto considerato del terreno, dalla stazione, sarà $\frac{D}{100,000}$. Con questa, col

valore di f costante e coll'angolo w' dato dalla (1) si avrà $\frac{L}{100,000}$

e quindi la differenza di livello *apparente* del punto considerato, colla stazione, e mediante la correzione dell'errore per la sfericità della terra e per la refrazione, che si trova in una tabella annessa alle testè citate tavole per le differenze di livello, anche la differenza di livello *vera*.

In questo modo però, col dover risolvere per ciascun punto prescelto per il rilievo, le accennate relazioni, il lavoro riescirebbe lungo, occorrendo conoscere il valore numerico delle coordinate x e y e della distanza D , da servire per il calcolo. Ora, questi dati numerici che sono utilissimi quando si tratta di rilievi a grande scala di opere civili e militari e più per le mappe catastali (quando cioè si devono conservare dati per ritrovar punti sul terreno) per le carte topografiche a piccola scala riuscirebbero superflui, inquantochè per la loro costruzione grafica questi valori numerici dovrebbero sempre essere riportati nel rilievo con mezzi grafici, con inutile perdita di tempo e complicazione di lavoro.

VIII.

**Strumenti grafici speciali che semplificano
la costruzione del rilievo.**

Per ovviare a questi inconvenienti servono molto bene, e all'Istituto Geografico Militare sono impiegati già da parecchi anni, tre strumenti grafici ideati dallo scrivente e fondati sulle relazioni sopracitate:

1° *Rapportatore grafico delle direzioni dai punti di stazione*, per situare questi punti nel rilievo;

2° *Settore grafico per tracciare nel disegno le direzioni ai punti delle prospettive*;

3° *Squadro grafico per le altezze*.

Questi strumenti, che soprattutto specializzano il metodo fotogrammetrico studiato dallo scrivente e adottato dall'Istituto Geografico Militare, rendono semplice e rapida la costruzione grafica del rilievo. Questa si fa allora nel seguente modo: dopo situati alla scala voluta nel piano del disegno i punti geodetici o trigonometrici per mezzo delle loro coordinate rettilinee, come si fa ordinariamente, si situano i punti di stazione fotogrammetrica e quelli più importanti o rimarchevoli determinati per numero, a seconda della scala, o per raffittire i punti d'appoggio delle stazioni fotogrammetriche successive, o per l'orientamento delle prospettive mediante il *rapportatore grafico delle direzioni dai punti di stazione*. L'origine della sua graduazione essendo mobile, con esso si possono riportare direttamente sopra una carta trasparente le direzioni quali furono lette in campagna sul cerchio orizzontale dell'apparecchio o del teodolite, per poi col *lucido del giro d'orizzonte* ottenuto, situare le stazioni e le direzioni da queste ad altri punti mirati, per determinare altri capisaldi per le stazioni successive. Con questo strumento potendosi assumere come origine del giro d'orizzonte una qualunque delle direzioni osservate e collimarla con un'alidada mobile alle altre letture fatte sul terreno, si evita la perdita di tempo, nella quale si incorreva con gli ordinari rapportatori, di dover eseguire tutte le somme e sottrazioni necessarie per ridurre le letture fatte in campagna all'origine *zero*, operazione che diviene eccessivamente lunga quando

trattasi, come nel caso nostro, di situare in questo modo un numero molto grande di punti.

Situate nel grafico le stazioni e tutti quei punti da queste intersecati, si passa alla determinazione dei punti secondari o di dettaglio, prescelti per costruire la levata; corretti i vari elementi del panorama si farà su di essi, presi a due a due, di stazioni contigue, una scelta di quei punti che si ritengono utili sia per tracciare le curve altimetriche, sia per determinare le forme del terreno e l'andamento generale delle varie creste, direzioni di torrenti, contorni di ghiacciai, basi di rocce, ecc., regolandosi per la quantità, alla scala stabilita, all'esattezza richiesta e al tempo disponibile. Questi punti individuati sul panorama con numeri o lettere in *minio*, vengono altresì segnati in appositi registri con le stazioni dalle quali derivano.

Il tracciamento di tutte le direzioni a questi punti secondari nel grafico, lavoro una volta lungo, monotono e poco esatto (1), è ora reso semplice e rapido col *settore grafico per le direzioni ai punti delle prospettive* già citato. Con esso si porta successivamente nel grafico la proiezione orizzontale di ogni prospettiva debitamente orientata, col suo punto principale alla distanza effettiva dal punto di stazione; in modo che portando direttamente col compasso, dal punto principale, sulla proiezione in parola, incisa sopra un'asta d'acciaio, le ascisse dei vari punti prese sulla veduta, si possono tracciare subito — mediante un'alidada con riga girevole intorno al punto di stazione al quale l'istrumento è fissato da uno spillo — le corrispondenti direzioni orizzontali.

Infine con lo *squadro grafico per le altezze*, fondato sulle relazioni (2) e (3), si possono avere le differenze di livello e quindi anche le altezze o quote, sia dei punti di stazione che dei punti individuati sulle prospettive. Con gli apparecchi fotogrammetrici muniti di cerchio verticale e di canocchiale si riportano dalla campagna anche le altezze angolari α dei punti trigonometrici. In tal caso con l'istrumento in parola e per mezzo della distanza grafica del punto trigonometrico di cui è nota l'altezza, dal punto di stazione e dell'angolo osservato α , si ha la differenza di livello che si legge direttamente sullo strumento stesso e si ha quindi

(1) Cfr. P. PAGANINI, « La Fototopografia », in *Bollettino della Società geografica italiana*, 1881, n. 7.

la quota del punto di stazione. Per apparecchi invece senza cerchio verticale e canocchiale, come quello che servì alla spedizione nell'Himalaja per la costruzione grafica — una volta ritrovati sulle prospettive i punti trigonometrici dei quali si conosce la quota, con le ascisse x e ordinate y delle loro immagini, prese col compasso sulle prospettive, e con la distanza grafica di questi punti dalla stazione — si può pure leggere direttamente sullo squadro in parola la loro differenza di livello col punto di stazione e quindi anche la quota di questo.

Nello stesso modo, ottenuta la quota dei punti di stazione, si determina la differenza di livello e quindi la quota dei punti secondari delle prospettive, di quelli cioè ritenuti utili per completare il rilievo. Ben inteso che a tutte queste differenze di livello apparenti, devonsi fare le necessarie correzioni per la sfericità della terra e per la refrazione, come in tutti gli altri metodi, valendosi delle apposite tavole compilate per questo scopo. Una descrizione particolareggiata dei tre accennati strumenti e del modo di impiegarli è contenuta nelle opere già citate.

Valendosi dei panorama — immagini fedeli del terreno rilevato, sempre a disposizione dell'operatore anche in ufficio e in qualunque tempo, e sui quali si trovano individuati i punti trigonometrici sui quali si è appoggiato il rilievo e tutti gli altri punti secondari determinati nel modo che si è detto, e che pure si trovano segnati nel rilievo con le loro quote rispettive — riesce facile completare questo con le curve di livello, con i particolari e con tutti quegli altri dettagli necessari a caratterizzare il terreno rilevato.

IX.

Lavoro per il rilievo eseguito sul terreno dalla spedizione.

Il tenente di vascello marchese Negrotto, intelligente, dotto e attivissimo ufficiale, nell'inverno del 1909 acquistò prontamente cognizione e pratica dell'apparecchio « mod. 1897 » che la spedizione nel Karakoram doveva portare seco. Così egli, dopo il rapidissimo viaggio, le difficoltà e le peripezie che lo scrivente non starà qui a descrivere, ha potuto eseguire all'estremo superiore del gran

ghiacciaio del Baltoro, su quello Godwin Austen fino alla sella Windy Gap ad est del Chogori, o K 2, e sul ghiacciaio Savoia ad ovest, fino alla sella dello stesso nome, 22 stazioni fotogrammetriche con 106 negative (non tutti i panorama eseguiti essendo a giro completo d'orizzonte) fatte in poco più di un mese, cioè dal 25 maggio al 2 luglio. La spedizione tornò in Italia ai primi di settembre ed è a dolersi che per mancanza di altre lastre fotografiche non si sia potuto estendere il lavoro fotogrammetrico anche a sud, sul ghiacciaio del Golden Throne fino al Bride Peak, la cui ascensione fu pure uno degli obbiettivi di S. A. R. il Duca degli Abruzzi. Si poteva forse tentare l'impiego delle pellicole fotografiche invece delle lastre, quantunque quelle portate dalla spedizione fossero delle più sottili di spessore, ma lo scrivente non le consigliò per le prove da lui fatte in tre successive campagne, subito dopo la loro apparizione. Esse si alterano facilmente causa il loro supporto in celluloide, il quale tende a disgregarsi con i cambiamenti di temperatura e per l'umidità, per cui le immagini subiscono variazioni, non apprezzabili invero per le fotografie ordinarie, che sono in generale di piccoli formati, ma di cui risentono invece le misure che per il rilievo si devono prendere sulle prospettive, approssimate fino al decimo di millimetro e più. Mentre le negative su vetro si mantengono per anni ed anni inalterabili, e costanti rimangono le posizioni delle immagini rispetto agli assi su di esse tracciati che si mantengono rettilinei, le pellicole invece, anche conservate con le cure migliori, si trovano presto rigonfiate al centro, arricciate agli orli, cosparse di pozzette per rilassamenti parziali dello strato, ondulazioni, striature, ecc. Con le immagini spostate rispetto agli assi non più rettilinei e anche nell'esposizione alla camera, e tanto più con le pellicole a rulli, per la insufficiente garanzia che esse si siano mantenute perfettamente piane, non si ha più la sicurezza di avere eliminata la causa di un certo ordine di errori difficili ad apprezzarsi, quali sono quelli derivanti dai prodotti fotografici impiegati e loro manipolazioni.

Per la parte a sud citata, verso il Golden Throne e il Bride Peak, si supplì, è vero, col tacheometro e con stazioni barometriche, ma in mezzo a quel dedalo di cime e picchi facili a confondersi all'occhio dell'osservatore, mentre anche i numerosi schizzi presi sul luogo non riescono sufficienti per raccappezzarsi nel lavoro

di costruzione grafica in ufficio, nè a rendere tutti i particolari caratteristici di questo terreno frastagliatissimo, concorsero d'altra parte a facilitare la rappresentazione di questo terreno le numerose fotografie e gli estesi panorama eseguiti dal cav. Vittorio Sella, l'illustre alpinista che già aveva percorse queste regioni le più alte del mondo, e del quale sono ben note le splendide produzioni fotografiche riportate. Alcuni dei panorama da lui eseguiti con la spedizione del Duca degli Abruzzi furono presi in posizione elevata e dominante, e in condizione da poterne determinare gli elementi fotogrammetrici perchè potessero servire, se non per ricavarne misure altimetriche, almeno direzioni azimutali abbastanza esatte, tanto più che la posizione dei punti dai quali quei panorama furono presi, fu saggiamente individuata da segnale in pietre, visibile da stazioni fotogrammetriche e quindi in condizione di poter essere collegate alla rete geometrica di punti geodetici, capisaldi e stazioni, sulla quale venne appoggiato il rilievo topografico.

(Continua)
