ATTI

DELLA

REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCX.

1913

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXII.

1º SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1913

connettano con quelle già eseguite dai fisici inglesi nei piani del Punjab, formeranno una catena ininterrotta di dati dai piani Indiani a quelli del Turkestan Cinese attraverso l'intiera zona montuosa dell'Himalaya, del Baltistan (e Ladakh), e del Karakoram.

Se, all'epoca della spedizione, le condizioni interne del Turkestan Cinese fossero tali da renderne l'accesso difficile e la permanenza pericolosa a stranieri, la spedizione si limiterebbe ad esaurire il programma a sud del Karakoram.

Non mi nascondo le difficoltà da superare per mettere in esecuzione un programma così vasto, soprattutto per la questione del portaggio in un paese poco abitato, ed attraverso la vasta zona montuosa del tutto deserta. Però le osservazioni geo-fisiche, per le quali soprattutto occorre un pesante e complicato bagaglio scientifico, si dovranno fare su vie carovaniere, dove non è difficile raccogliere un numero sufficiente di coolies. Naturalmente si dovrà provvedere ad alleggerire la carovana, curando che vengano fatti depositi di viveri in luoghi acconci, ecc.

La buona riuscita di una simile spedizione è soprattutto legata alla cooperazione armonica e continua di tutti i suoi componenti. Ma faccio anche assegnamento sulla mia conoscenza dei luoghi e degli abitanti, e sull'ottima prova fatta dalla spedizione italiana del 1909 nel condurre e dirigere carovane di coolies. L'importanza di questo fattore è veramente grandissima ed essenziale.

Ottica. — Una definizione quantitativa della « nitidezza » delle immagini reali. Nota di Ugo Bordoni, presentata dal Corrisp. V. Reina.

1. La "nitidessa" delle immagini ottenibili per mezzo degli strumenti diottrici, e, in particolare, delle immagini reali date dagli obbiettivi fotografici o dai sistemi microfotografici, viene oggi intesa in senso decisamente soggettivo e qualitativo. Le varie definizioni della nitidezza che si conoscono partono tutte, difatti, dalla circostanza che il potere risolvente (Helmholtz) dell'occhio umano ha un limite il cui ordine di grandezza è 1'; ed a seconda che ammettono che l'immagine debba esser guardata in guisa che l'occhio faccia il minimo sforzo possibile di accomodamento (cioè alla distanza normale della visione distinta), oppure in guisa da ottenere, per quanto è possibile, la ricostituzione prospettica dell'oggetto (e quindi ad una distanza f eguale a quella fra il punto nodale posteriore del sistema diottrico ed il piano dell'immagine), ne deducono che l'immagine può dirsi nitida quando ad ogni punto luminoso dell'oggetto corrisponde nella riproduzione un piccolo disco di

diametro non superiore a 0,01 cm. (Undeutlichkeitskreis), oppure non superiore a circa 0,0003. f cm. (misurando f in cm.). Ma il carattere particolare di ciascuna delle due ipotesi ora accennate fa sì che nessuna delle definizioni che ne derivano possa essere assunta in generale senza dar luogo a conseguenze poco opportune od assurde; inoltre, come apparirà meglio in seguito, le definizioni stesse sono affatto incomplete ed incapaci di dare una idea esatta del valore della grandezza che implicitamente definiscono.

Lo scrivente si è perciò proposto di cercare una definizione oggettiva e generale della nitidezza, la quale avesse anche un contenuto quantitativo, permettendo così di esprimere numericamente, in una scala necessariamente convenzionale, ma razionale, l'entità della nitidezza: la quale, come lascia prevedere la teoria delle aberrazioni dei sistemi diottrici e come conferma ampiamente l'esperienza, è diversa non solo da punto a punto dell'immagine, ma per uno stesso punto è diversa nelle varie direzioni.

Sembra superfluo far notare esplicitamente l'utilità grande che ha il raggiungimento effettivo dell'accennato scopo, non solo per eliminare da questo punto dell'ottica applicata l'incertezza e l'indeterminazione che ora vi regnano, ma anche per il progredire della costruzione degli strumenti diottrici, offrendo un mezzo oggettivo per misurare sperimentalmente l'efficacia dei dispositivi adottati per ridurre le varie aberrazioni.

2. Le considerazioni contenute in questo e nei paragrafi che seguono, per quanto si riferiscano più specialmente al caso comune delle immagini fotografiche, sono evidentemente suscettibili di ovvia generalizzazione.

Si supponga di proiettare l'oggetto da riprodurre dal punto nodale anteriore del sistema diottrico su di un piano P normale all'asse ottico del sistema. Se l'immagine reale che si ottiene dal sistema è simile, nel senso geometrico rigoroso della parola, alla proiezione su P dell'oggetto, si dirà, per definizione di ovvia opportunità, che l'immagine è perfetta; e che la nitidezza è ovunque infinitamente grande. In realtà, l'esame attento della immagine fa riscontrare l'esistenza di numerose deviazioni dalla similitudine geometrica, le quali possono dividersi in due categorie: le une, di carattere macroscopico, dànno origine all'aberrazione di distorsione; le altre di carattere microscopico, dànno luogo alla deficienza di nitidezza. Le prime, che dipendono dal non mantenersi costante in tutta l'immagine il rapporto di similitudine (od anche dal non conservarsi eguali tutti gli angoli corrispondenti), hanno importanza generalmente minore; esse sono state oggetto di recente, da parte del Wandersleb (1), di laboriose e pregevolissime ricerche, condotte con criteri molto pratici che qualcuno potrebbe forse trovare lievemente empirici.

⁽¹⁾ Ueber die Verzeichnungsfehler photographischer Objektive. (Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 1907, pp. 33 e 75).

Di natura e di origine molto più complessa sono le altre deviazioni, le quali si traducono essenzialmente in questo: che gli elementi geometrici (punti, linee) dei quali può immaginarsi formato l'oggetto, non trovano nell'immagine elementi corrispondenti. Le immagini delle linee di contorno degli oggetti (intersezioni del piano P col cono proiettante tangente al loro contorno apparente) sono sempre costituite, difatti, da strisce di transizione ad orli sfumati e di larghezza λ variabile, ma finita; e questo spiega perchè i particolari più minuti degli oggetti si dissolvano, per così dire, nella riproduzione.

Ora numerose esperienze dello scrivente, relative più specialmente al caso delle immagini fotografiche e compiute in condizioni assai diverse, hanno dimostrato che la larghezza λ non dipende, entro limiti assai estesi, nè dall'entità della differenza di illuminazione fra le due regioni dell'immagine separate appunto dalla striscia di transizione che si considera, nè dalla durata della posa, nè dal modo di condurre lo sviluppo e le altre operazioni fotografiche, nè dalla natura delle lastre sensibili adoperate; ma che dipende invece dalla posizione della striscia nel piano dell'immagine e dalla sua orientazione, oltrechè da altre ovvie circostanze (natura dell'obbiettivo, diametro del diaframma, ecc.). Tenuto perciò conto di questi risultati sperimentali e riconosciuto che la causa diretta della deficienza di nitidezza sta nella larghezza finita à assunta dalle strisce di transizione e che la deficienza si accentua col crescere di l, è sembrato naturale pensare alla misura oggettiva della deficienza per mezzo appunto di \(\lambda \) e quindi alla misura oggettiva della nitidezza per mezzo dell'inverso di l. Ed un complesso di ovvie ragioni di opportunità persuade lo scrivente a proporre di assumere come misura della nititidezza v, in un punto K di una immagine ed in una direzione generica l, l'inverso $\frac{1}{\lambda}$ della larghezza λ (espressa in mm.) della striscia di transizione passante per K, quando l'asse della striscia (cioè la direzione del contorno) sia in quel punto normale ad l e quando il passaggio dalla regione illuminata a quella oscura avvenga nel senso di l.

La definizione ora proposta è accettabile solo quando riesca possibile una misura, sperimentale, sufficientemente sicura di λ . Ora di questo, veramente, lo scrivente in principio dubitava, riflettendo alla natura della striscia ed alla degradazione progressiva dei suoi orli; ma ha dovuto riconoscere, e con lui faranno certo la stessa constatazione quelli che vorranno provare, che il dubbia è assolutamente infondato se la misura viene eseguita direttamente mediante un microscopio (munito di reticolo mobile, uno dei fili del quale venga portato successivamente a coincidere con i due orli estremi della striscia) di ingrandimento tale da risolvere decisamente l'immagine fotografica nei granellini di argento che la compongono (1). Esiste bensì,

⁽¹⁾ È sufficiente un ingrandimento di un centinaio di diametri.

com'è naturale, una incertezza di puntamento degli orli estremi della striscia, ma il suo ordine di grandezza è assai minore di λ , tanto che il λ può generalmente determinarsi con un errore inferiore al 5 % anche se per ogni orlo si prende la media di soli tre o quattro puntamenti consecutivi.

La ragione di questa relativamente notevole approssimazione dipende dalla circostanza che al microscopio le variazioni di densità dell'immagine si traducono in variazioni della densità di distribuzione dei granellini di argento; e di queste ultime l'occhio si accorge assai bene sia perchè esso fa, inconsciamente, come un computo statistico del numero di granellini per unità di area, sia perchè, specie se le due parti dell'immagine sono l'una molto chiara, l'altra molto scura, variazioni piccole di densità dell'immagine si traducono in variazioni relativamente assai grandi del numero di granellini di argento (nella parte più chiara) o del numero di intervalli liberi fra un granellino e l'altro (nella parte più scura) (1).

3. Stabilito come si possa definire e misurare la nitidezza di una immagine in un punto ed in una direzione, ne segue che se si misura la nitidezza nelle varie direzioni passanti per un punto, si potranno rappresentare i risultati sia con un diagramma di tipo cartesiano (assumendo come ascisse gli angoli β fatti dalle varie direzioni con una direzione origine e come ordinate le nitidezze ν corrispondenti), sia di tipo polare (portando come raggi vettori nelle diverse direzioni quantità proporzionali alle corrispondenti nitidezze). Quest'ultimo diagramma ha un significato geometrico che mostra la possibilità di arrivare alla precedente definizione della nitidezza per un'altra via (che però si presta meno per suggerire una misura delle ν). Esso può difatti farsi derivare dalla « minima immagine completa » che possa ottenersi, di un punto luminoso, mediante una trasformazione per raggi vettori reciproci (²).

Supposto centrato il sistema ottico, il diagramma di nitidezza sarà lo stesso per tutti i punti equidistanti dal centro dell'immagine, corrispondenti cioè ad angoli di immagine α eguali (chiamando α l'angolo che fa con l'asse ottico la congiungente il punto nodale posteriore del sistema col punto dell'immagine che si considera); e per avere la rappresentazione completa della nitidezza di una immagine si dovranno costruire i diagrammi per la semplice infinità di punti corrispondenti a valori diversi di α (praticamente per un certo numero di punti abbastanza vicini). Assumendo allora, in uno spazio cartesiano di rappresentazione a tre dimensioni α e β come due delle coordinate e la corrispondente nitidezza ν come terza coordinata, si verrà a definire una superficie di ampiezza finita, che costituirà la rappresentazione completa cercata. Tagliandola poi con una serie di piani $\nu = costante$ e

⁽¹) Maggiori particolari sulle modalità del metodo di misura impiegato saranno contenute nel § 5 di una nota che comparirà fra breve nel « Nuovo Cimento ».

⁽²⁾ Si vegga la citata Nota sul "Nuovo Cimento", § 3.

proiettando, parallelamente, sul piano α , β le linee di intersezione, si avià ancora la stessa rappresentazione con un diagramma piano, mediante il sistema delle linee $\nu = cost$. (linee isonitide).

Per alcuni scopi pratici l'individuazione della nitidezza dell'immagine può farsi più semplicemente, evitando ricerche laboriose, mediante la conoscenza, in funzione di α , di due sole grandezze, ξ_r (nitidezza radiale complessiva) e ξ_t (nitidezza tangenziale complessiva), definite come segue in base alle ν_r , ν'_r (nitidezze in senso radiale centripeto e centrifugo), ed alle ν_t , ν'_t (nitidezze in senso tangenziale destrogiro e levogiro):

$$\xi_r = \frac{\nu_r \, \nu_r'}{\nu_r + \nu_r'} \; ; \; \xi_t = \frac{\nu_t \, \nu_t'}{\nu_t + \nu_t'}$$

Le grandezze ν e ξ sono in ovvia relazione con le definizioni soggettive della nitidezza già ricordate nel § 1.

4. Con i criteri esposti nei paragrafi precedenti lo scrivente ha studiato la nitidezza delle immagini fornite da 14 differenti obbiettivi fotografici dei quali ha potuto disporre per qualche tempo. Le ragioni di brevità che gli banno impedito di estendersi sopra i particolari del metodo di misura adoperato, gli impediscono altresì di esporre, in questa Nota, i risultati degli studì accennati (¹), i quali hanno confermato, a suo giudizio, l'opportunità delle definizioni e delle convenzioni contenute nei paragrafi 2-3; in quanto che le grandezze ν e ξ non solo si sono dimostrate capaci di definire in modo oggettivo e completo il grado di nitidezza dell'immagine ed il grado di perfezione dell'obbiettivo, ma altresì di mettere in rilievo il grado di correzione delle principali aberrazioni e di far rilevare nettamente l'esistenza di una imperfezione, generalmente insospettata, che ha entità apprezzabile nella maggior parte degli obbiettivi: la non perfetta centratura delle varie lenti componenti il sistema diottrico.

⁽¹⁾ I quali saranno esposti nel § 6 della Nota che comparirà nel « Nuovo Cimento ».