

Università degli studi di Firenze  
Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e  
Naturali

Adriana Fiorentini

" STUDIO TEORICO E SPERIMENTALE DEL COMPOR-  
TAMENTO DELLE EMULSIONI FOTOGRAFICHE PER  
RICERCHE SPETTROFOTOMETRICHE."

Relatore Prof. G. Abetti

I Tesina : "Teoria degli indici e teorema di Sturm"

Relatore Prof. G. Sansone

II Tesina : "Oscillatore armonico tridimensionale,  
in coordinate cartesiane" -

Relatore Prof. S. Franchetti

9/15  
Arcetri , ottobre 1948

## I N T R O D U Z I O N E

=====

All'astronomo che si accinge ad eseguire misure di spettrofotometria, si presenta il problema di ricercare sotto quali condizioni debba essere eseguita l'osservazione, affinché le misure che se ne possono ottenere diano i migliori risultati possibili. Si tratta cioè, per un dato strumento di osservazione, di conoscere quali sono i valori di tutti i fattori che intervengono in un'esperienza, per i quali si ha un "optimum" nel risultato finale dell'esperienza stessa.

Un esempio servirà a chiarire questo punto di vista. Un fattore che in tutte le osservazioni di carattere astronomico, viene ad influire sulle condizioni di esperienza, è quello delle condizioni atmosferiche. E' evidente che l'astronomo non può agire direttamente per mutare in suo favore condizioni atmosferiche avverse; egli può tuttavia conformare i propri mezzi di osservazione, alle mutevoli condizioni del cielo, in modo da ot-



tenere di volta in volta quanto di meglio sia possibile. (1)

Se ad esempio un fenomeno periodico a periodo molto lungo, la cui osservazione non può essere rimandata, cade contemporaneamente alla luna piena, l'astronomo dovrà tenere conto che la brillantezza  $B_c$  del cielo al fuoco dell'apparecchio, è in tal caso tutt'altro che trascurabile, e quindi dovrà scegliere un materiale fotografico tale che per l'esposizione  $B_c t$  non dia velo sulla lastra. Nello stesso tempo però, chiamata  $B_s$  la brillantezza della stella, l'esposizione  $B_s t$  deve essere tale da permettere di eseguire le misure. Tutto questo si potrà ottenere, una volta fissato il rapporto  $B_s/B_c$  solo se si usa materiale fotografico a contrasto sufficientemente alto.

Per quel che riguarda lo strumento di osservazione poi, ci troviamo di fronte a un fattore per il quale quasi sempre l'a-

---

(1) Proprio seguendo questo criterio gli osservatori moderni vengono costruiti in località in cui si abbia il massimo numero possibile di ore serene nell'anno e in cui l'atmosfera sia sufficientemente limpida e tranquilla in modo da permettere di ottenere una buona "qualità dell'immagine".

stronomo non è libero di disporre. Ben raramente egli può scegliere volta per volta lo strumento che più si confà alle necessità dell'esperienza. Anche qui però sarà opportuno sfruttare al massimo i vantaggi presentati dallo strumento stesso, nei limiti delle possibilità. Così, gli spettri stellari che si possono ottenere con un riflettore a prismi, sono ben lontani dal possedere la purezza che si ha con uno spettroscopio a fenditura. Tuttavia, adottando materiale fotografico ad alto potere risolutivo, ci si metterà nelle condizioni migliori di osservazione, perchè da questo punto di vista si otterrà quanto di meglio lo strumento può dare.

Da quanto precede si può desumere la notevole importanza che ha tra l'altro, la scelta dell'emulsione fotografica più adatta per le osservazioni astronomiche in generale e per quelle astrofisiche in particolare. Si delinea cioè la necessità di studiare da tutti i punti di vista il rendimento del materiale fotografico, cercando una relazione che permetta poi, a chiunque si accinga a sperimentare, di decidere a prio-

ri per la scelta dell'emulsione il cui uso si presenta più opportuno, una volta che siano fissate le altre condizioni dell'esperienza.

Di tale complesso studio, noi ci siamo limitati ad affrontare un aspetto particolare; nel trarre però le conclusioni del nostro lavoro, abbiamo cercato di non perdere di vista il problema più generale in cui esso si inquadra.

Non meno necessario dell'esame delle proprietà delle emulsioni, si presenta poi lo studio del rendimento dello strumento, che nel caso delle osservazioni relative a ricerche spettrofotometriche eseguite all'Osservatorio di Arcetri, è un riflettore a prismi. Senza intendere di dare una risposta completa ed esauriente a questa questione, si è cercato tuttavia di fornire un'indicazione del punto a cui può arrivare la resa dello strumento, sulla base dei dati sperimentali ricavati da osservazioni da noi eseguite di alcuni spettri stellari tipici.

Cap. I - NOTIZIE STORICHE.

Per uno sperimentatore che si deve servire di un'emulsione fotografica, e in particolare per un astronomo, sarebbe desiderabile conoscere con esattezza la legge che governa i fenomeni fotochimici che avvengono nello stato, conoscere cioè come dipenda la densità fotografica da tutti i parametri che intervengono durante l'esposizione e lo sviluppo.

In tal caso lo sperimentatore potrebbe mettersi a priori nelle condizioni "optimum", ossia scegliere per tutti i fattori che entrano in gioco, quei valori che in relazione con le esigenze della propria esperienza, gli permettono di raggiungere i migliori risultati.

Ma per tale legge generale dell'azione fotografica non è ancora stata trovata un'espressione soddisfacente. Si sa infatti che la densità dipende da un gran numero di parametri, tra cui l'illuminamento, il tempo di posa, la composizione cromatica della sorgente, la sensibilità cromatica dell'emulsione, la temperatura ambiente e le condizioni di sviluppo.

Si è cercato allora di semplificare il più possibile il problema rendendo costante il maggior numero di parametri, operando per esempio lunghezza d'onda per lunghezza d'onda, sullo stesso tipo di emulsione, in condizioni di sviluppo identiche. In questo modo si conservano solo i parametri più importanti e gli altri potranno risultare tutt'al più come errori accidentali che si compenseranno, fino a che è possibile, con la ripetizione delle misure. Così operando, non resta che da cercare la relazione fra l'illuminamento ricevuto dall'emulsione, il tempo di posa e l'annerimento ottenuto dopo le operazioni di sviluppo, ossia la funzione  $D = D(I, t)$ , con  $D$  densità,  $I$  illuminamento,  $t$  tempo.

I primi studi in questo campo furono compiuti da Bunsen e Roscoe, i quali nel 1876 enunciarono la legge di reciprocità tra  $I$  e  $t$ , ossia stabilirono che gli effetti ottenuti impressionando uno strato sensibile con un determinato valore del prodotto  $It$ , sono gli stessi, qualunque siano separatamente i valori di  $I$  e di  $t$ . Questo concetto si può sintetiz-

zare scrivendo che è  $D = \text{cost}$ , per  $It = \text{cost}$ .

In parole moderne ciò significa che l'emulsione darebbe un responso proporzionato al numero di fotoni ricevuto per  $\text{cm}^2$ , senza riguardo all'ammontare per unità di tempo.

Il primo a mettere in dubbio la validità di tale legge fu l'astronomo Scheiner, il quale osservò che per registrare una stella di grandezza  $m + 1$ , occorre in generale un tempo di posa triplo di quello occorrente per una stella di grandezza  $m$ , nonostante che le intensità stiano tra loro come  $1 : 2,5$ . Nel 1893 Abney verificò con misure sensitometriche i risultati di Scheiner? Egli si servì di due sorgenti luminose di intensità molto diverse: una candela e una scintilla elettrica, e provò che l'efficienza del processo fotografico era massima per un determinato livello di illuminamento, mentre l'efficienza stessa decresceva per intensità più alte o più basse.

Negata così per la prima volta la validità della legge di reciprocità, molti studiosi appartenenti a diversi rami della scienza si preoccuparono di sostituirla con un'altra rela-

zione che fosse la più adatta a rappresentare i risultati sperimentali.

Primo tra essi un altro astronomo, Schwarzschild, nel 1899 stabilì che si ottiene un effetto fotografico costante mantenendo costante il valore del prodotto  $I t^p$  con  $p$  costante e uguale a 0,8 circa. E' noto tuttavia che neppure questa relazione, con  $p$  costante, si può ritenere un criterio valido per determinare un effetto fotografico costante su intervalli molto ampi di intensità. Essa può venire applicata con notevole precisione solo quando ci si limiti a pose molto lunghe con intensità molto basse: questo era appunto il caso di Schwarzschild, astronomo.

Già nel 1901 English, eseguendo misure che davano risultati concordi con quelli di Abney, trovò che l'esponente  $p$  è variabile.

Sheppard e Mees ( 1903 ) - 1906 ) si occuparono del problema ed eseguirono delle misure servendosi di sorgenti che abbracciavano un intervallo di intensità molto più esteso di quello di cui si erano serviti i precedenti sperimentatori.

Essi trovarono che qualora ci si serva di una relazione del tipo  $It^p = \text{cost}$  per esprimere la mancanza di reciprocità, l'esponente  $p$  varia da un valore minore di 1 alle basse intensità a un valore maggiore di 1 alle alte intensità?

Infine nel 1913 Kron pubblicò i risultati di una sua ricerca sulla legge di reciprocità; egli pensò di rappresentare gli effetti della invalidità di tale legge costruendo delle curve a densità costante, ossia riportando in funzione del  $\log I$  il logaritmo dell'esposizione  $E = It$  richiesta per dare un determinato valore della densità. Trovò così che per ogni tipo di emulsione esiste un certo valore dell'intensità al quale corrisponde un valore minimo dell'esposizione necessaria per ottenere una determinata densità, e che per le curve sperimentali che presentano tale punto di minimo si può assumere come equazione quella dell'iperbole

$$\log It = \text{cost} + a \sqrt{(\log I/I_0)^2 + 1}$$

dove le costanti  $a$  e  $I_0$  sono proprie dell'emulsione:  $I_0$  è l'intensità optimum, da  $a$  invece dipende la forma della cur-



va e quindi la maggiore o minore deviazione dalla retta di Bunsen e Roscoe. All'equazione dell'iperbole venne poi preferita la seguente: (curva di Kron)

$$\log I_t = \text{cost} + \log \left[ \left( I/I_0 \right)^a + \left( I/I_0 \right)^{-a} \right],$$

perchè tale equazione, al vantaggio di aderire meglio ai risultati sperimentali, unisce quello di ridursi, alle bassissime intensità, all'equazione:

$$\log I_t = \text{cost} - a \log I,$$

che si può anche scrivere:

$$I t^{\frac{1}{1+a}} = \text{cost};$$

essa viene quindi a coincidere con l'equazione di Schwarzschild

con  $p = \frac{1}{1+a}$ . Analogamente per  $I$  molto grande si ottiene

la medesima equazione con  $p = \frac{1}{1-a}$ .

Dal 1918 al 1921 Helmick eseguì studi sulla non reciprocità usando luce monocromatica di differenti lunghezze d'onda e trovò egli pure per tutte le emulsioni sperimentate un'intensità optimum.

Dopo di lui Jones e collaboratori dal 1923 al 1927, e Arens e Eggert nel 1927 riconfermarono i risultati precedentemente

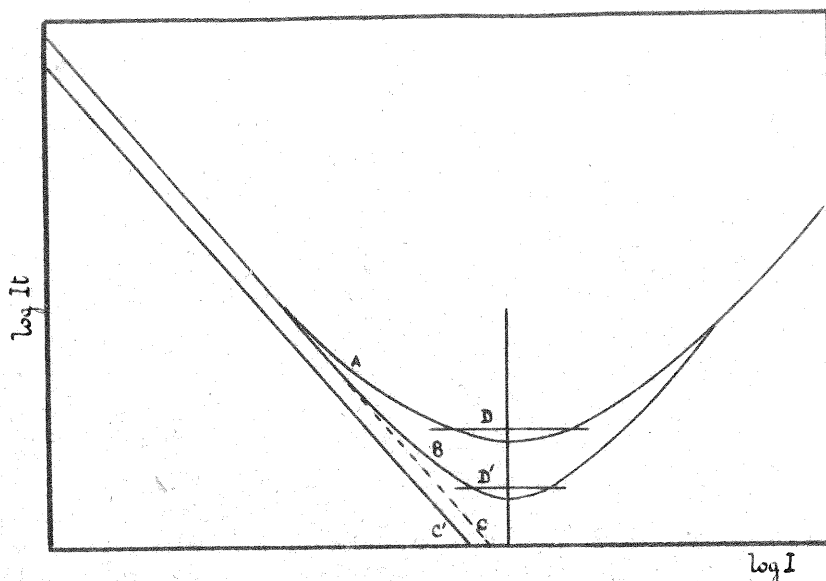


Fig. 1 - Grafici delle varie leggi di non reciprocità ( B iperbole, A curva di Kron, C, C' rette di Schwarzschild, D, D' rette di Bunsen e Roscoe )

ottenuti per quel che riguarda l'esistenza di un "optimum" dell'intensità. I primi trovarono che le regione delle curve che comprende il punto di minimo è più appiattita di quanto non comporti la curva di Kron, e che quindi tale minimo risulta mal determinato, mentre per un intervallo piuttosto esteso è possibile confondere la curva con la retta che rappresenta la legge di reciprocità, e graduare le esposizioni sia facendo variare i tempi che gli illuminamenti. I secondi

introducevano un nuovo metodo per rappresentare gli effetti della non reciprocità. Essi riportavano per  $D = \text{cost}$  il  $\log I$  in funzione di  $\log t$ , ottenendo così al variare di  $D$  una famiglia di curve la cui pendenza in ogni punto non è altro che il coefficiente  $p$  di Schwarzschild e misura quindi gli scostamenti dalla legge di reciprocità. Ne segue che la formula di Schwarzschild si può considerare una formula approssimata valida per piccoli intervalli nei quali  $p$  è la pendenza media della tangente alla curva di Kron.

Del resto la stessa curva di Kron è da considerarsi semplicemente come una buona approssimazione; infatti nella zona degli illuminamenti debolissimi le curve sperimentali si scostano da essa piegando bruscamente verso l'alto, in modo asimmetrico rispetto al punto di minimo.

Cap. II - CONSEGUENZE DELLA MANCANZA DI RECIPROCITA' AGLI

EFFETTI DELLA FOTOGRAFIA ASTRONOMICA.

Da quanto si è detto finora risulta evidente che in astronomia, dove sono necessarie pose molto lunghe per la debole intensità delle sorgenti, l'effetto di non reciprocità assume un'importanza rilevante. (Ricordiamo infatti che in Italia le sensibilità dei prodotti fotografici in commercio sono date in gradi DIN, e il tempo di posa con cui si determina la rapidità di un'emulsione in questa marca sensitometrica è 1/20 di secondo.)

Ne segue che per mettersi nelle condizioni più favorevoli d'esperienza, sarà opportuno scegliere quel materiale fotografico che ha una buona efficienza nella zona delle basse intensità. Bisognerà inoltre cercare di evitare tutti gli errori che possono derivare dalla mancanza di reciprocità; ad esempio nelle misure di fotometria stellare è opportuno che le pose di taratura dell'emulsione siano dello stesso ordine

di durata di quelle eseguite sugli astri da studiare; se al contrario le pose di taratura fossero più lunghe, esse corrisponderebbero, a parità di esposizione, a illuminamenti più deboli e quindi a un tratto più ripido della curva di Kron; conseguentemente una certa differenza di densità, sarebbe dovuta a un intervallo d'illuminamento, minore per le pose di taratura che non per le altre, di modo che le differenze di grandezza misurate risulterebbero affette da un errore sistematico che le renderebbe inferiori al loro valore reale.

Per quel che riguarda il materiale fotografico si presenta dunque la necessità di studiare a fondo il comportamento dei diversi tipi di emulsioni, stabilendo un confronto tra gli uni e gli altri nei riguardi della mancanza di reciprocità. Questo lavoro è già stato eseguito da specialisti americani per numerosi tipi di emulsioni Kodak. Il materiale italiano invece, non è ancora stato studiato da questo punto di vista. Di qui la necessità del presente lavoro.

Cap. III - TEORIA DELL' EFFETTO DI NON RECIPROCIITA'.

1) - Dipendenza della non reciprocità da altri parametri.

Nessun legame è stato trovato finora tra l'entità dell'effetto di non reciprocità presentato da un'emulsione e le proprietà caratteristiche dell'emulsione stessa, come la grana, la rapidità, la sensibilità cromatica, ecc. Si è potuto soltanto osservare che le curve di reciprocità variano notevolmente da un'emulsione all'altra, mentre il valore "optimum" dell'intensità oscilla intorno a quel valore per il quale si ha una densità media con una posa compresa tra 0,1 e 10 secondi. Le curve si mantengono in genere simmetriche rispetto al loro punto di minimo e la loro forma non muta sensibilmente al variare del tempo di sviluppo.

Esiste tuttavia un altro parametro, la temperatura alla quale avviene l'esposizione, la cui variazione influisce notevolmente sul fenomeno del quale ci stiamo occupando, ed è questo fatto che ha permesso di costruire una teoria dell'effetto di non reciprocità. E' stato infatti osservato che al

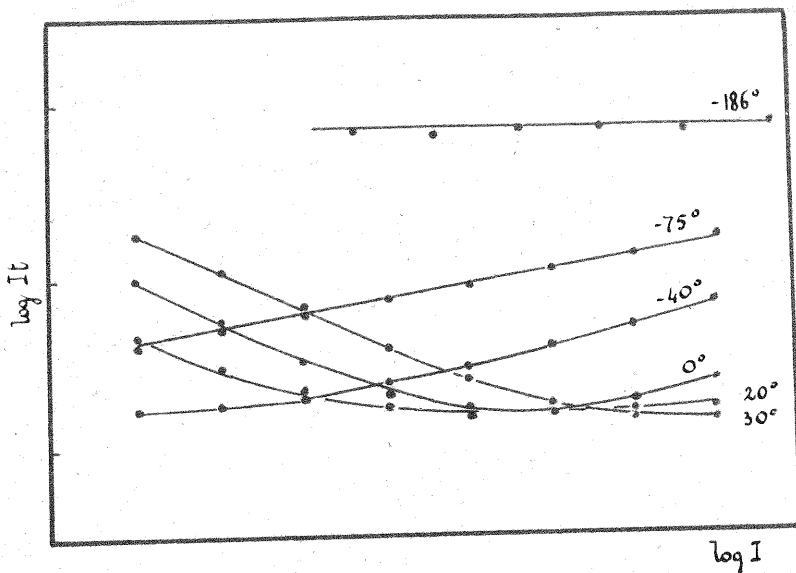


Fig. 2 - Variazione della non reciprocità con la temperatura.

diminuire della temperatura l'estremità della curva corrispondente alle alte intensità si sposta verso l'alto, mentre l'altro estremo, dalla parte delle deboli intensità, tende dapprima ad appiattirsi per poi spostarsi anch'esso verso l'alto. Questo significa che a parità di illuminamenti, al diminuire della temperatura l'efficienza della emulsione diminuisce per esposizioni con alta intensità; invece per basse intensità, l'efficienza aumenta fino a un certo valore della temperatura e al di sotto di questo torna a diminuire. Infine, quando la temperatura si abbassa al di sotto di un certo

limite (intorno ai  $-180^{\circ}$  C), la non reciprocità scompare e la curva assume un andamento rettilineo. (fig.2)

Queste osservazioni fanno supporre che la non reciprocità consti di due fenomeni tra loro indipendenti dei quali uno si verifica nella zona dei forti illuminamenti, l'altro in quello degli illuminamenti deboli.

D'altra parte Berg, Marriage e Stevens, hanno studiato la non reciprocità presentata da materiali sviluppati in modo da mettere in evidenza l'immagine latente formata a diverse profondità. La curva di non reciprocità di un provino trattato con un bagno che sviluppa solo la parte superficiale dell'emulsione, ha andamento analogo a quello del ramo delle alte intensità della curva di un provino sviluppato con un comune sviluppo in commercio. Invece, trattando un'emulsione con un solvente che ne *elimini* la parte superficiale, e sviluppando quindi in profondità, si ottiene una curva di non reciprocità simile al ramo delle basse intensità di una curva normale (fig.3).



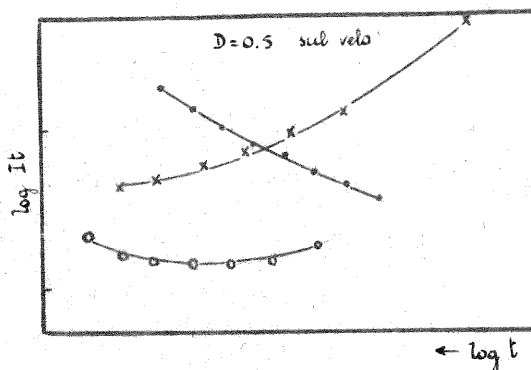


Fig.3 - Curve di non reciprocità per sviluppi interni ( . ), superficiali ( X ) e in commercio ( ○ ).

Se ne può dedurre allora che nella formazione dell'immagine latente, alle alte intensità vengano preferiti i nuclei superficiali, e alle basse prevalga la formazione di nuclei d'argento interni. Tuttavia per dare una spiegazione completa di questi fenomeni, conviene premettere un'esposizione delle più recenti teorie sulla formazione dell'immagine latente.

2) - Teoria della formazione dell'immagine latente secondo Gurney e Mott.

E' noto che fra tutti i granuli di AgBr contenuti nella gelatina che viene esposta alla luce, divengono sviluppabili

solo quelli nei quali si viene a formare una quantità sufficiente di Ag metallico, estraneo al reticolo cristallino.

La difficoltà maggiore sta nello spiegare come si formano queste tracce; la reazione quantistica



è in realtà troppo semplice per rappresentare tutti i complessi fenomeni che si verificano nello strato. Una spiegazione di questi fenomeni è stata data dai due fisici inglesi Gurney e Mott i quali hanno studiato quanto avviene durante l'esposizione e lo sviluppo di uno strato sensibile fotografico, alla luce delle moderne concezioni della meccanica quantistica.

Quando un atomo di Ag si unisce a uno di Br per formare una molecola di AgBr, l'elettrone di valenza dell'Ag che apparteneva al livello 5S, passa al livello 4P del Br. Un fatto analogo si verifica quando più atomi di Ag e Br si dispongono sui filari del reticolo cristallino: in tal caso i due livelli energetici prima ben definiti, sfumano in due bande di energia che indicheremo rispettivamente con S e P. ( In real-

tà esiste per ogni direzione nell'interno del cristallo una differente struttura delle bande, ma per semplicità ci si può limitare al caso unidimensionale.) Anche qui tutti gli elettroni appartenenti alla banda S si trasferiscono nella banda P; ora è un risultato ben noto della teoria quantistica dei cristalli che, se dall'esterno si porta un elettrone su un ione di Ag del reticolo, con un'energia corrispondente a quella della banda S, tale elettrone avrà la possibilità di passare da quel ione agli altri vicini, muovendosi attraverso il cristallo quasi come un elettrone libero in un metallo; infatti la barriera di potenziale che si oppone a questo moto è praticamente trascurabile.

Supponiamo ora che un cristallo di AgBr venga colpito da una radiazione di una certa frequenza  $\nu$ ; se  $\nu$  è abbastanza grande, i fotoni che giungono sul cristallo avranno energia sufficiente per sollevare alcuni elettroni dal livello P al livello S, o livello di conduttività; ma questi elettroni divengono allora liberi di muoversi nell'interno del cri-

stallo, e hanno origine così alla fotoconduttività.

Connesso a questo fenomeno è quello della formazione dell'immagine latente. Secondo i nostri autori, nel reticolo cristallino dell' AgBr, in equilibrio termico alla temperatura  $T$ , vi sono alcuni ioni  $Ag^+$ , che lasciata la posizione che occupavano su un nodo del reticolo, si spostano attraverso il cristallo e vanno ad occupare posizioni infrareticolari. (Che siano gli ioni  $Ag^+$  e non quelli  $Br^-$  che si spostano nel reticolo dipende dalle maggiori dimensioni di questi ultimi.)

Il posto lasciato vacante da questi ioni può venire occupato poi da altri; si ha cioè la possibilità di uno spostamento nell'interno del cristallo sia degli ioni infrareticolari, sia delle posizioni da loro lasciate vacanti, e quindi di una vera e propria conduttività elettrolitica.

Premesso questo, possiamo così schematizzare il processo di formazione dell'immagine latente.

Quando la radiazione arriva sull'emulsione, come abbiamo visto più sopra, essa fa sì che alcuni degli elettroni, ap-

partenenti agli atomi di alogeno, passino nei livelli di conduttività; questi elettroni vengono captati da alcune tracce di  $\text{Ag}_2\text{S}$  che secondo Sheppard si trovano sulla superficie dei granuli; la cattura è possibile poichè agli elettroni dell'  $\text{Ag}_2\text{S}$  compete un livello di energia più basso di quello di conduttività e più alto di quello degli atomi di Br, e quindi un elettrone che giunge nelle vicinanze della traccia cade nella buca di potenziale senza poterne più uscire (allo zero assoluto). Le tracce che assumono così una carica negativa, esercitano un'attrazione sugli ioni di Ag intramolecolari della cui presenza nel cristallo abbiamo parlato più sopra; ogni ione neutralizza con la sua carica positiva quella di un elettrone, mentre si forma un atomo neutro di Ag che contribuisce ad ingrossare la traccia. Quando la traccia avrà raggiunto dimensioni sufficienti, il granulo a cui essa appartiene sarà diventato sviluppabile.

Anche da questa esposizione sommaria appaiono subito i pregi principali della teoria: essa ad ogni fotone assorbito fa

corrispondere un elettrone nei livelli di conduzione e quindi la formazione di un atomo di Ag nella traccia; inoltre fornisce una spiegazione del fatto che, mentre i fotoni vengono assorbiti a caso su tutta la superficie del granulo, le tracce di Ag si formano solo in alcuni punti localizzati della superficie. Affinchè però il modello così costruito sia valido, bisogna fare un'ulteriore precisazione.

Quando la radiazione sposta un elettrone da un atomo di alogeno, il posto che rimane vacante, che possiamo chiamare "buca positiva" può avere una certa mobilità, perchè un altro elettrone può muoversi da un ione vicino e saturarlo, e così via attraverso il reticolo. Bisogna allora fare l'ipotesi che questa mobilità sia molto minore di quella degli ioni di Ag nelle posizioni infrareticolari, poichè in caso contrario la carica negativa della traccia di Ag verrebbe neutralizzata dalle buche positive, rendendo impossibile la migrazione degli ioni  $Ag^+$ .

3) - Teoria quantistica e curve teoriche della non reciprocità.

Passiamo ora ad illustrare alla luce della teoria descritta il fenomeno di non reciprocità. Cominciamo con l'osservare che, secondo i calcoli eseguiti da Eggert e Noddak, il numero di quanti che un granulo deve assorbire per diventare sviluppabile, è dell'ordine di 100 (questo numero vale per il granulo medio di un'emulsione; in effetti in un'emulsione normale circa la metà dei granuli diverrà sviluppabile con questo numero di quanti, mentre in un'emulsione molto sensibile vi sarà una piccola percentuale di granuli, l' 1% circa, sensibile anche a uno o due quanti solamente. Infine in ogni emulsione vi sono dei granuli, che costituiscono il velo, svilupabili anche senza aver ricevuto alcuna esposizione.) Se allora supponiamo che ad ogni quanto corrisponda un atomo di Ag, la traccia di Ag capace di rendere sviluppabile il granulo, dovrebbe contenere 100 atomi. Tuttavia le considerazioni seguenti ci permetteranno di stabilire che i primi elettroni formati non servono per dar luogo ad Ag metallico, e che

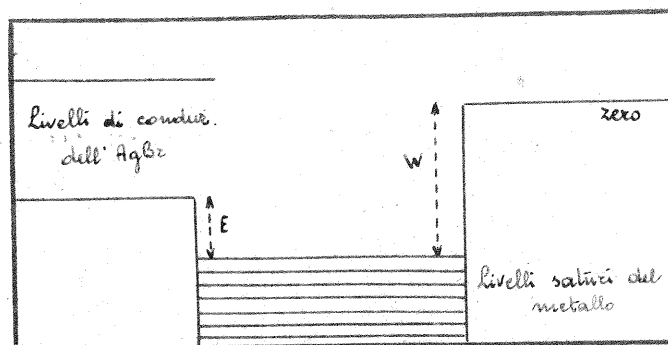


Fig. 4 + Schema dei livelli energetici in un granulo di AgBr.

la grossezza necessaria per una traccia è molto inferiore a 100 atomi. Consideriamo una traccia di Ag metallico privo di carica in contatto con l'AgBr. Sia  $E$  il lavoro necessario per portare un elettrone dal metallo nei livelli di conduzione dell'AgBr ( fig. 4 ). Noi non conosciamo a priori  $E$ , ma considerazioni seguenti mostreranno che esso è molto minore del potenziale di ionizzazione  $W$  dell'Ag. Quando la temperatura aumenta, vi saranno degli elettroni che passano dal metallo ai livelli di conduzione del sale. Supponiamo per un momento che l'elettrone sia una particella priva di carica; in tal caso si formerebbe un "vapore" di elettroni la cui



pressione sarebbe proporzionale ad  $e^{-E/KT}$ ; quindi chiamando con  $c$  il rapporto del numero di elettroni per unità di volume nella banda di condizione, e  $i$  il numero delle coppie di ioni, avremo, limitandoci a considerare gli ordini di grandezza,  $c \sim e^{-E/KT}$ .

Teniamo conto ora della carica negativa degli elettroni: la carica positiva lasciata sul metallo farà sì che il gas negativo di elettroni si raddensi in un'atmosfera che circonda la superficie del metallo con una concentrazione dell'ordine di  $e^{-E/KT}$ . Ora la condizione perchè una traccia di Ag si ingrossi, è che essa sia carica negativamente, mentre noi abbiamo visto che una traccia inizialmente neutra, cede elettroni e diventa carica positivamente. Evidentemente allora, quando un granulo è esposto alla radiazione, una traccia di Ag non può incominciare ad ingrossarsi finchè la concentrazione  $c$  degli elettroni non raggiunge il valore critico  $c_0 = e^{-E/KT}$ .

Assumendo che 100 quanti vengano assorbiti da un granulo di  $10^{10}$  coppie di ioni affinché una traccia di Ag incominci ad

ingrossarsi, con questi valori otteniamo:

$$c_0 = 10^{-8} \quad , \quad E = K 270^{\circ} 8 \log_e 10 \approx 0,4 \text{ e.V.}$$

Questo valore di E è molto minore del potenziale di ionizzazione W, e suggerisce che il livello più basso della banda di conduzione abbia l'energia negativa.

Concludendo noi abbiamo visto che il gas di elettroni deve raggiungere la concentrazione minima  $c_0$ , prima che l'immagine latente possa incominciare a formarsi. Ma mentre questa concentrazione si sta formando, gli elettroni possono ricombinarsi coi loro atomi di alogeno originali; eventualmente può venire raggiunto uno stato di equilibrio nel quale gli elettroni si ricombinano così rapidamente come si formano.

Se in questo stato la concentrazione è minore della concentrazione critica  $c_0$ , l'immagine latente non può formarsi. (1)

---

(1) Ricordiamo che all'astronomo indiano Saha si deve l'idea di considerare la reazione atomo  $\rightleftharpoons$  ione + elettrone, come una normale reazione chimica per quel che riguarda le concentrazioni e la legge dell'azione di massa, e che questa teoria ha portato a notevoli risultati in astrofisica, dove essa è di grande utilità per calcolare la temperatura delle stelle, deducendola dallo studio delle righe spettrali. Anche nel nostro caso, nel miscuglio di atomi, di ioni e di elettroni, si può giungere a una condizione di equilibrio nella quale deve essere rispettata la legge dell'azione di massa.

E' proprio in questo fenomeno che possiamo trovare le ragioni teoriche della non reciprocità. Vediamo infatti come si possa esprimere analiticamente il concetto prima esposto.

Consideriamo un singolo elettrone in un granulo di AgBr che contenga ad esempio  $10^{12}$  coppie di ioni. Se esso è su uno dei sei ioni di metallo adiacenti, esso si ricombinerà con questo dopo un tempo dell'ordine di  $10^{-8}$  sec. D'altra parte, durante il suo moto attraverso il cristallo, esso trascorrerà in media solo una frazione  $6 \times 10^{-12}$  della sua vita in questi sei ioni. Se allora  $A$  è la probabilità per secondo che l'elettrone e l'atomo di alogeno si ricombinino, sarà  $A = 6 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ . Consideriamo ora un granulo che assorba  $I_q$  quanti per secondo; allora dopo un tempo  $t$ , il numero  $N$  di elettroni e di atomi neutri di alogeno, è:

$$\frac{dN}{dt} = I_q - A N^2, \quad (1)$$

poichè il numero delle ricombinazioni è proporzionale al numero di elettroni e di posti vacanti.

La soluzione dell'equazione (1) è:

$$N = \sqrt{\frac{I_q}{A}} \operatorname{tanh} \left( \sqrt{I_q A} t \right). \quad (2)$$

Quando  $t$  tende all'infinito,  $N$  tende a  $\sqrt{I_q/A}$ . Così, per quanto lunga sia l'esposizione, noi non possiamo ottenere più di un certo numero di elettroni.

Ad esempio, in un'esposizione ordinaria in cui un granulo assorba 100 quanti al sec, col valore sopra trovato per  $A$ , si potrà raggiungere un numero massimo di elettroni di  $4 \cdot 10^2$ .

Per le deboli intensità il massimo sarà molto più piccolo.

Dopo l'esposizione, il numero  $n$  di elettroni diminuirà secondo la legge ottenuta dalla (1) per  $I_q = 0$ :

$$n = \frac{1}{At + 1/n_0},$$

con  $n_0$  numero iniziale di elettroni. In fig. 5 sono riportati i valori di  $n$  durante e dopo due esposizioni di ugual  $It$ , ma di diverso  $I$ .

In ogni emulsione la quantità di radiazione assorbita varia da grano a grano dipendendo dalla grossezza e da altri fattori. Ma poichè per ogni granulo deve essere raggiunta una certa concentrazione, prima che si possa formare l'immagine

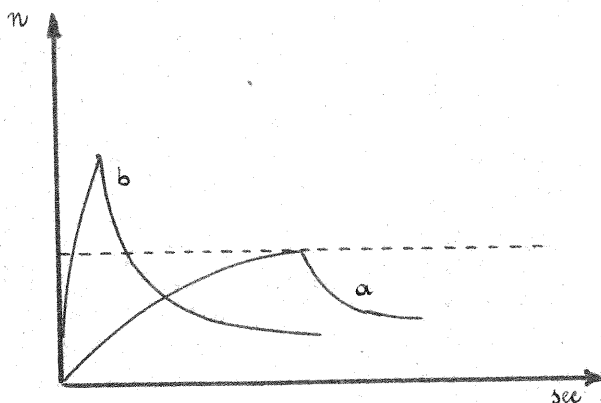


Fig. 5 - Numero di elettroni che si formano al secondo in un granulo di AgBr.

latente, si può concludere che per ogni intensità di illuminamento solo una certa percentuale di granuli può sempre divenire sviluppabile, comunque lunga sia l'esposizione. Questo è in accordo con gli esperimenti di Toy, che esaminò al microscopio i grani di un'emulsione, dopo lo sviluppo.

La stessa conclusione si può esprimere anche dicendo che per ottenere una data densità, con un dato sviluppo, l'illuminamento  $I$  deve superare un valore dato.

Nella fig. 6 possiamo osservare due curve teoriche che riportano  $\log I_t$  in funzione di  $\log I$  per due diverse temperature; tutti i risultati fin qui ottenuti hanno valore teori-

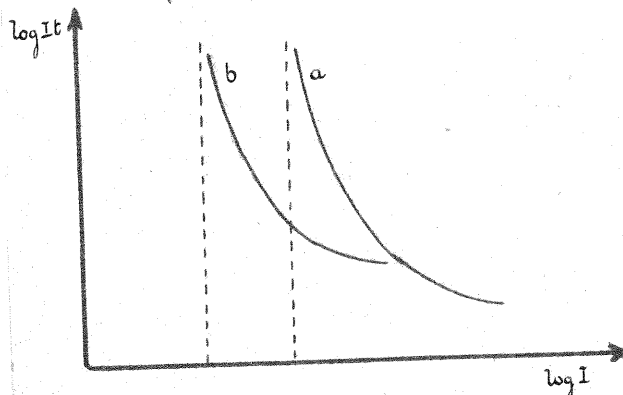


Fig. 6 - Curve teoriche di non reciprocità.

co, perchè le nostre conclusioni dipendono dall'ipotesi che gli atomi neutri di alogeno non sfuggano dal granulo nella gelatina, prima che abbia avuto luogo la ricombinazione con l'elettrone.

4) - Effetti di alta e bassa intensità e dipendenza dalla temperatura.

Vediamo ora come si possano spiegare con l'aiuto del modello descritto, le curve sperimentali di non reciprocità e il loro comportamento al variare della temperatura.

L'effetto di non reciprocità alle alte intensità si deve attribuire alla lentezza con cui si spostano gli ioni  $Ag^+$  nel processo secondario dell'ingrossamento delle tracce, in

confronto alla rapidità con cui si formano gli elettroni del processo primario per l'intenso bombardamento di fotoni dovuto alla alta intensità della radiazione. Ne segue che si ha una sovrabbondanza di elettroni intorno alla traccia, i quali con la loro carica negativa che non può venire subito saturata dagli ioni  $Ag^+$ , impediscono l'afflusso di nuovi elettroni. Questi ultimi si può pensare o che si ricombinino con gli atomi di bromo, oppure, secondo le esperienze di Berg, Marriage e Stevens, che diano luogo a tracce di Ag nell'interno del granulo, le quali risultano inservibili per lo sviluppo. Quest'ultima ipotesi concorda con quanto si è visto precedentemente sul prevalere della formazione dei nuclei interni su quelli superficiali alle alte intensità.

Alla stessa causa può essere attribuito lo slittamento verso l'alto del ramo delle alte intensità delle curve di non reciprocità, quando diminuisce la temperatura.

E' evidente che il movimento degli ioni di Ag nel reticolo viene favorito dalle temperature elevate, mentre la mobi-

lità decresce al diminuire della temperatura, poichè diminuisce l'energia e quindi anche la velocità delle particelle.

Quando poi la temperatura è sufficientemente bassa, non si ha più alcuna influenza dell'illuminamento sulla formazione dell'immagine latente; infatti in tali condizioni la mobilità degli ioni è così ridotta da potersi ritenere che durante l'esposizione abbia luogo solamente il processo primario di formazione degli elettroni, e che il processo secondario di ingrossamento della traccia avvenga durante le operazioni di sviluppo, quando l'emulsione passa alla temperatura ambiente.

Evidentemente non ha allora importanza l'intensità della radiazione alla quale si espone, e quindi la rapidità con cui si formano gli elettroni che caricano negativamente le tracce, poichè tale fenomeno non può essere seguito immediatamente da quello della migrazione degli ioni.

Invece per quel che riguarda le basse intensità si suppone che la non reciprocità sia dovuta a una regressione causata dall'agitazione termica, nella formazione della traccia di



Ag: che cioè alcuni elettroni si separino per azione della propria energia termica dagli ioni di Ag coi quali si erano precedentemente fusi, e vengano proiettati nell'interno del granulo seguiti da un ione  $Ag^+$ , causando così la perdita per la traccia di un atomo di Ag. (Notiamo che se la regressione per decomposizione termica della formazione di una traccia, serve a spiegare come l'effetto cada al diminuire della temperatura, tuttavia la stessa regressione potrebbe avvenire anche per cause diverse dall'agitazione termica; ad esempio il fatto che la non reciprocità di un'emulsione vari al variare del processo seguito nella fabbricazione, fa ritenere che si possa avere una regressione dell'immagine, di origine chimica.)

Per spiegare come tutto questo avvenga solo quando l'emulsione riceve esposizioni di debole intensità, bisogna fare l'ipotesi che il processo di regressione nella formazione della traccia si verifichi di preferenza agli inizi della formazione stessa, quando la traccia è costituita da un nume-

ro esiguo di atomi. Tale ipotesi è convalidata da esperienze eseguite da Webb ed Evans.

In una di queste esperienze, un'emulsione ha ricevuto due serie di esposizioni, ciascuna delle quali corrispondente alla stessa energia totale, ma suddivisa in due rate, una con flusso a bassa intensità ( B.I. ), l'altra con flusso ad alta intensità ( A.I. ). In ambedue le serie si facevano variare da una posa all'altra le proporzioni tra i tempi di durata delle esposizioni A.I. e B.I.; ma mentre in una serie le A.I. precedevano le B.I., nell'altra succedeva il contrario. Riportando in un diagramma ( fig.7 ) le densità ottenute in funzione delle percentuali di esposizione B.I. rispetto all'esposizione totale A.I.+ B.I., si ottengono per le due serie due curve diverse di cui coincidono solo i punti estremi ( e quindi gli effetti complessivi di non reciprocità ).

La curva corrispondente alla prima serie (A.I. che precede B.I.) si mantiene costantemente superiore alla seconda, e mostra che quando l'esposizione A.I. è data per prima ed am-

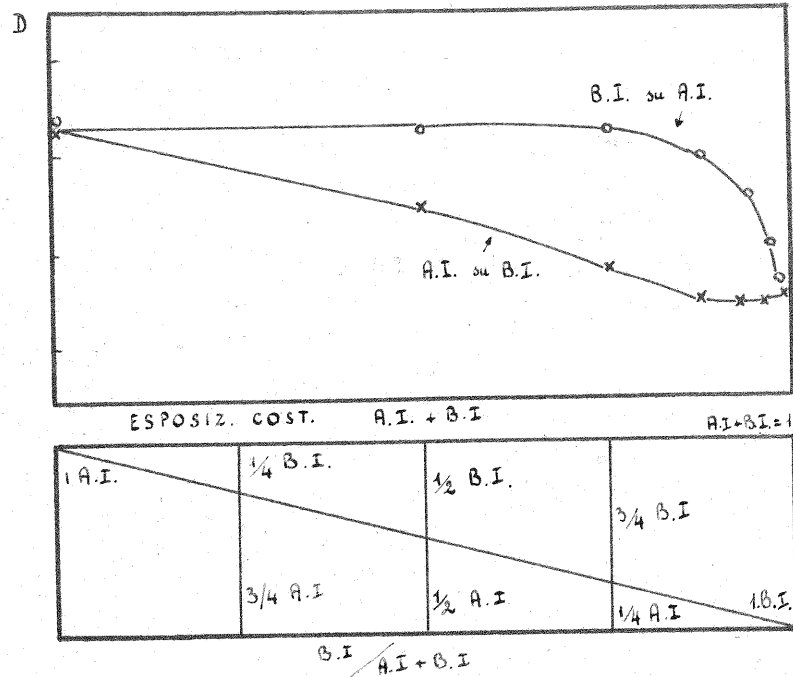


Fig. 7 - Diagrammi dell'esperienza di Webb ed Evans.

monta almeno ad  $\frac{1}{4}$  dell'esposizione totale, la parte B.I. ha effetto come se corrispondesse anch'essa a un flusso dell'ordine di grandezza di A.I. La seconda curva invece, (B.I. che precede A.I.), sta ad indicare che in questo caso B.I. perde notevolmente di efficienza nei confronti di A.I.

Questi risultati confermano quanto si era supposto, dimostrando che il fenomeno di disintegrazione della traccia non avviene, se a un'esposizione di debole intensità se ne fa pre-

cedere un'altra di intensità molto più alta; che generi una traccia di Ag di dimensioni notevoli e quindi sufficientemente stabile; la posa debole non fa in questo caso che integrare l'immagine latente formata precedentemente.

Naturalmente il fenomeno di regressione della traccia, che trae la sua origine dalla agitazione termica delle particelle, tende ad annullarsi col diminuire della temperatura.

Per questo Webb ed Evans consigliano di operare a temperature molto basse quando si eseguono pose con sorgenti molto poco intense, ad esempio nella fotografia delle stelle più deboli. Continuando a diminuire la temperatura si arriverà a un certo punto in cui l'effetto di disintegrazione si annulla completamente; al di sotto di tale livello poi, entrerà di nuovo in gioco la diminuita mobilità degli ioni e quindi la curva riprenderà a spostarsi verso l'alto, come abbiamo visto precedentemente che accade.

5) - Dipendenza dalla lunghezza d'onda.

Resta ora, per completare il quadro teorico della non reciprocità, da studiarne la dipendenza dalla composizione spettrale della radiazione. Le curve di non reciprocità:  $\log I_t$  in funzione di  $\log t$ , corrispondenti a  $\lambda$  diverse, risultano parallele e spostate verticalmente l'una rispetto all'altra, il che significa che la variazione spettrale della non reciprocità è indipendente dal tempo.

Infatti, richiamandoci ancora una volta alla teoria di Gurney e Mott, possiamo osservare che al variare di  $\lambda$  varia l'andamento con cui si formano gli elettroni fotoconduttori, poichè varia l'energia dei fotoni incidenti; ma la variazione è la stessa qualunque sia il tempo di posa, perchè una volta che gli elettroni sono nella banda di conduzione, si comportano tutti nello stesso modo, qualunque sia la lunghezza d'onda della radiazione che li ha prodotti. È naturale quindi che il rapporto delle esposizioni eseguite con due  $\lambda$  diverse, necessarie per ottenere una medesima densità  $D$ , si

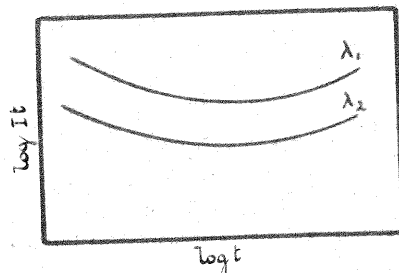


Fig. 8 - Curve di non reciprocità per radiazioni di diversa lungh. d'onda.

conservi invariate per i diversi tempi di posa, purchè i tempi corrispondenti alle due esposizioni siano gli stessi.

Possiamo esprimere analiticamente quanto precede, notando che la forma delle curve di cui si è parlato dipende dalla densità e dal tempo di posa, mentre la loro altezza dipende dalla  $\lambda$  oltre che dal tempo, e quindi:

$$\log It = F_1(D, t) + F_2(D, \lambda)$$

o anche, passando dai logaritmi ai numeri:

$$S(D, \lambda) It = X(D, t) .$$

In quest'ultima equazione  $S(D, \lambda)$  non è altro che il reciproco dell'energia necessaria per produrre una certa densità  $D$ , al variare di  $\lambda$ , e tale quantità risulta indipendente dal tempo,  $c; v; d;$

Cap. IV - COME SI COSTRUISCE UNA CURVA SPERIMENTALE

DI NON RECIPROCIITA'.

Per eseguire lo studio sperimentale della non reciprocità di un'emulsione si può procedere nel modo seguente.

Si dà un'emulsione una serie di esposizioni a tempo di posa costante e illuminamento variabile. In corrispondenza degli illuminamenti  $I_1, I_2, \dots, I_n$  si otterranno le densità  $D_1, D_2, \dots, D_n$ , che si possono misurare a un densitometro. Riportando le  $D_i$  in funzione degli  $I_i$ , si ottiene una curva caratteristica che ha come parametro il tempo  $t$ .

La stessa operazione si compie cambiando il tempo di posa e contemporaneamente gli illuminamenti, in modo da ottenere per dei valori  $I'_1, I'_2, \dots, I'_n$ , un'altra serie  $D'_i$  di densità misurabili col densitometro e dello stesso ordine di grandezza delle  $D_i$ . Parametro della nuova curva caratteristica è la posa  $t'$ .

Ripetendo questo procedimento per una gamma il più possibile estesa di valori di  $t$ , si avrà la possibilità di costruire per un certo valore della densità una curva che riporti il valore del logaritmo dell'esposizione che è stata necessaria per ottenere quella determinata densità, in funzione del logaritmo dell'illuminamento usato allo stesso scopo.

In altre parole, costruita la tabella;

	$D_1$	$D_2$	$D_3$	...
$t$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	...
$t'$	$I'_1$	$I'_2$	$I'_3$	...
$t''$	$I''_1$	$I''_2$	$I''_3$	...
...	...	...	...	...

si riportano in funzione dei logaritmi dei termini di una colonna i logaritmi dei prodotti dei termini stessi, ciascuno per il corrispondente valore di  $t$ . Complessivamente da tutte le colonne, si ottiene così una famiglia di curve  $D = \text{cost}$  ( fig. 9)



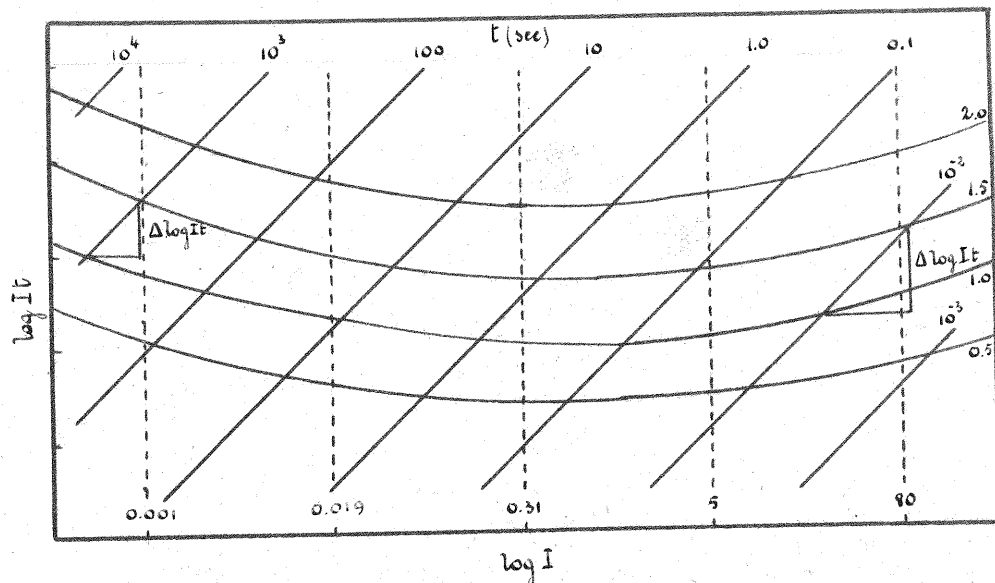


Fig. 9 - Curve di non reciprocità per  
 $D = 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,0$  .

Sarebbe preferibile usare luce monocromatica e operare per le diverse lunghezze d'onda; ma per fare questo occorrerebbe servirsi o di uno spettroscopio o di schermi colorati, il che limiterebbe molto la possibilità di spingersi verso illuminamenti assai intensi. Per questo si preferisce di solito usare sorgenti policromatiche.

Osservando il grafico riportato, notiamo alcune particolarità che conviene sottolineare. Ogni retta verticale è una retta  $\log I = \text{cost}$  ; i punti in cui essa incontra le curve  $D = \text{cost}$  , sono i punti di una curva caratteristica del-

l'emulsione in istudio, costruita per tempi crescenti. Il  
contrasto  $\gamma'$  di tale curva si può ricavare direttamente  
dal grafico, facendo il rapporto tra la differenza di densità  
 $\Delta D$  di due curve e la differenza  $\Delta \log E$  dei logaritmi  
dell'esposizione corrispondente ai punti in cui esse sono  
incontrate dalla retta  $\log I = \text{cost}$ . Naturalmente il  
contrasto così ottenuto sarà quello massimo se le densità  
scelte appartengono al tratto rettilineo della curva carat-  
teristica, mentre in caso contrario esso rappresenterà il  
gradiente medio nell'intervallo considerato.

Invece per  $t = \text{cost}$ , si ottengono le rette inclinate  
a  $45^\circ$  sulle ascisse, come risulta dall'equazione:

$$\log E = \log I + \log t,$$

per  $t = \text{cost}$ . I punti in cui queste rette incontrano la  
famiglia di curve a densità costante, sono i punti di una  
curva caratteristica a illuminamenti crescenti, il cui con-  
trasto  $\gamma$  si ottiene analogamente a quanto si è visto prima.

Notiamo subito che, mentre il contrasto  $\gamma'$  a tempo va-  
riabile e illuminamento costante si conserva invariato qua-

lunque sia I, poichè le curve del grafico sono sensibilmen-  
te parallele, il contrasto  $\gamma = -\frac{\Delta D}{\Delta \log E}$  per  $t = \text{cost}$ ,  
invece, cresce al crescere di I, poichè aumenta la lunghez-  
za del tratto  $\log E$  intercettato dalle rette  $t = \text{cost}$  sulle  
curve della famiglia. E' in conseguenza di ciò che diviene  
opportuno nelle misure di fotometria stellare, scegliere le  
stelle campione dello stesso ordine di grandezza delle stel-  
le da misurare, come abbiamo già accennato precedentemente.

Cap. V - DISPOSITIVO SPERIMENTALE.

Il materiale studiato è costituito da lastre "Ferrania"

dei seguenti tipi:

Lastre Ortocromatiche

- Orto speciali 11/10 DIN - etich. gialla
- Orto anti-alo extrarapide 14/10 DIN -  
- etich. arancio
- Orto ultrasensibili 15/10 DIN -  
- etich; blu
- Orto studio 18/10 DIN
- Fine orto anti-alo 18/10 DIN

Lastre Pancromatiche

- Fine pancro anti-alo 18/10 DIN
- Pancro studio 20/10 DIN
- Pancro superex 21/10 DIN
- Pancro superrapide 23/10 DIN

Ci siamo limitati a tre valori del tempo di posa, scelti  
il primo dell'ordine di grandezza delle pose astronomiche,  
il secondo delle pose di tipo spettroscopico, e il terzo  
delle istantanee; precisamente abbiamo dato alle nostre la-

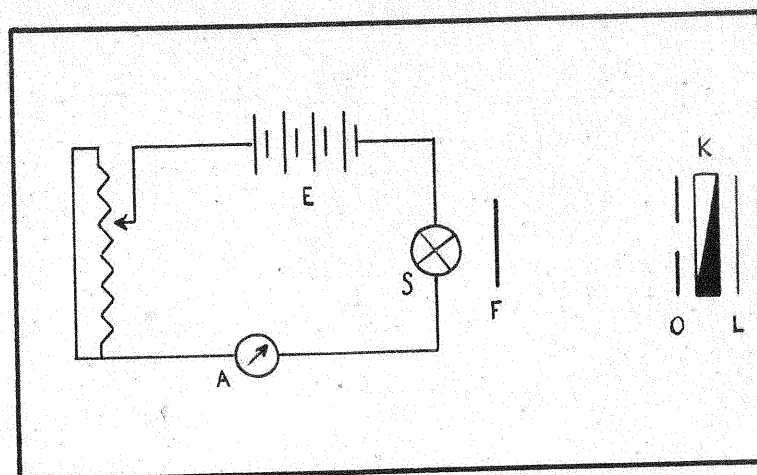


Fig. 10 - Schema del dispositivo sperimentale.

stre tre serie di esposizioni per

$$t = 1^h ; \quad t = 2 \text{ sec} ; \quad t = 1/100 \text{ sec} .$$

Come sorgenti ci siamo serviti di una lampada "Osram" 6 Volt, 0,25 A, a filamento di tungsteno, per le pose più lunghe, e di una lampada "Osram" 6 Volt, 4,35 A, pure a filamento di tungsteno, per le pose medie e le più brevi.

Le curve caratteristiche a illuminamento crescente per i tre suddetti valori di  $t$  si sono ottenute col seguente dispositivo ( fig. 10 ). La sorgente S alimentata da una batteria di accumulatori E, tappare su un gruppo, e la cui costante veniva controllata mediante l'amperometro A, era schermata da un filtro F. A una distanza opportuna si trovava la lastra L, e appoggiato allo strato sensibile un cuneo

K progressivamente annerito. Le pose venivano regolate mediante un otturatore a tendina 0. I valori della corrente i nel circuito di accensione erano di 0,15 A per la sorgente più debole, e di 3,80 A e 4,30 A per la sorgente più forte, rispettivamente per le pose con  $t = 2$  sec, e  $t = 1/100$  sec.

Il filtro usato era un filtro "Schott" BG 4, che aveva lo scopo di correggere la curva di emissione delle sorgenti, molto intense alle grandi lunghezze d'onda a causa della bassa temperatura del filamento, ravvicinandola a quella della radiazione solare; (così la sorgente diventava simile all'illuminante B), e contemporaneamente di limitare il vantaggio in cui per questo motivo si sarebbero trovate le lastre di tipo pancromatico in confronto alle ortocromatiche.

Il cuneo K, della lunghezza di cm. 15, è stato suddiviso in gradini di 0,3 cm ciascuno, separati l'uno dall'altro da 0,3 cm di intervallo? La taratura del cuneo, eseguita al microfotometro di Hartmann, ha permesso di stabilire che la costante del cuneo stesso, ossia l'incremento di densità

per cm, è di 0,226. Ne viene che le linee mediane di due gradini consecutivi, che distano di 0,6 cm, differiscono di 0,135 in densità. ( La differenza di densità di due punti del cuneo, coincide con la differenza del logaritmo dell'illuminamento prodotto sulla lastra nei due punti corrispondenti, e quindi alle ascisse di una curva caratteristica per illuminamenti crescenti. Infatti in due punti  $P_1$  e  $P_2$  della lastra gli illuminamenti  $I_1$  e  $I_2$  sono proporzionali alle trasparenze  $T_1$  e  $T_2$  del cuneo; i  $\log I$  coincidono almeno di una costante additiva con i logaritmi delle trasparenze, e quindi anche coi logaritmi delle densità, col segno cambiato. )

Per ogni gruppo di esposizioni con un determinato  $t$ , si manteneva costante per tutte le emulsioni l'intensità della sorgente, mentre si faceva variare, a seconda della sensibilità della lastra, la sua distanza dalla lampada, tenuto conto della legge degli inversi dei quadrati delle distanze.

Tutte le lastre sono state sviluppate con sviluppo "R 6" al metol - idrochinone, nuovo, per 4<sup>m</sup> a 18° C di temperatura.

Le lastre appartenenti allo stesso gruppo ( separatamente ortocromatiche e pancromatiche ) che avevano ricevuto la stessa esposizione, venivano sviluppate contemporaneamente, in modo da mantenere il più possibile costante le condizioni di sviluppo, e rendere quindi accettabile un confronto.

Di tutte le lastre impressionate, sono state lette le densità al microfotometro di Hartmann, e costruite le curve caratteristiche; delle diverse curve ottenute per il medesimo tipo di lastra e con la stessa posa, purchè aventi lo stesso contrasto, ( il che assicurava che le condizioni di sviluppo si erano mantenute costanti ), è stata tracciata la curva media; di tali curve in definitiva se ne hanno nove, quante sono le lastre studiate, per ognuno dei tre tempi di posa.

Le misure del flusso erogato dalle sorgenti, sono state eseguite con una fotocellula al  $\text{Cu}_2\text{O}$ ; poichè non era nota la curva di taratura  $i(\varphi)$  della fotocellula relativa al galvanometro utilizzato per le misure stesse, ( e quindi non si sapeva entro quale intervallo le variazioni di  $i$  con  $\varphi$  fossero lineari ), esso è stato adoperato come strumento



di zero). Per azzerare il galvanometro, al variare di  $\varphi$  si faceva variare la distanza della fotocellula dalla sorgente. I valori ottenuti, inversamente proporzionali ai quadrati delle distanze, ci permettono naturalmente solo un confronto tra gli illuminamenti prodotti dalle diverse sorgenti, e non sono misure assolute di flusso.

Dalle curve caratteristiche delle diverse emulsioni, e servendosi delle misure relative di illuminamento, si sono ricavate le curve di non reciprocità, o meglio quei rami di tali curve situati nella zona di illuminamenti da noi utilizzata. Per la densità si è scelto il valore di 0,6 sul velo, che corrisponde all'incirca all'inizio della parte rettilinea della curva caratteristica, là dove le proprietà risolventriche delle emulsioni, come è dimostrato sperimentalmente, sono massime. Quindi la densità di 0,6 sul velo è quella più adatta per ricerche spettroscopiche e astrofisiche, quando interessa di mettere in evidenza righe spettrali deboli.

Facciamo osservare, che tenuto conto dell'entità degli errori sperimentali relativi alle misure di flusso e alle dura-

te dei tempi di posa, soprattutto medi e brevi, i risultati che si possono ricavare dalle curve di non reciprocità hanno valore puramente qualitativo.

Infatti per quel che riguarda le pose, quelle di 1/100 di secondo sono affette da un eventuale errore strumentale sistematico che dipende dalla taratura dell'otturatore; le pose di 2 sec sono invece soggette a un errore accidentale, in quanto che esse venivano effettuate con l'aiuto di un metronomo contasecondi; infine per le pose di un'ora, mentre l'errore relativo nella misura del tempo è molto piccolo, si ha una maggiore incertezza sulla costanza della sorgente, il cui controllo sull'amperometro si poteva eseguire solo con qualche difficoltà durante la posa, a causa della debolissima intensità della sorgente stessa, e della impossibilità di servirsi di altre sorgenti più intense, che avrebbero disturbato l'esposizione della lastra. Tuttavia si può ritenere che a causa della considerevole durata della posa, le oscillazioni nell'intensità della sorgente, si siano compensate statisticamente.

Per quel che riguarda le misure di flusso possiamo notare che, per ottenere una lettura attendibile sul galvanometro, e precisamente per avere un numero di divisioni pari a un decimo del fondo scala, è stato necessario, per la sorgente più debole, porre la fotocellula a pochi cm di distanza dalla sorgente stessa. In queste condizioni l'errore relativo sulla misura della distanza tra fotocellula e sorgente è molto forte. Per ovviare a questo inconveniente, che priva di ogni significato quantitativo le nostre misure, in mancanza di una fotocellula più sensibile, abbiamo cercato di compiere le misure al fotometro di Weber esistente presso l'Ist. Naz. d'Ottica in Arcetri. Questo strumento si basa sul confronto visuale delle due zone di un campo illuminato da due sorgenti, di cui una è quella della quale si vuol misurare l'intensità, e l'altra è una sorgente ausiliaria. Le misure si eseguono variando la brillantezza prodotta sul campo da quest'ultima sorgente mediante lo spostamento di un vetro opale in posizione opportuna, fino ad ottenere l'uguaglianza di illuminamento sulle due zone del campo.

Ma anche qui, quando si è trattato di misurare la sorgente meno intensa, ci siamo accorti che essa non era sufficiente ad illuminare il campo, in modo tale da permettere anche solo una misura approssimata.

CURVE CARATTERISTICHE E DI NON RECIPROCA

DELLE EMULSIONI IN STUDIO.

LASTRE ORTOCROMATICHE

$t \approx 1/100$  sec ; lampada "Osram" 6 V - 4.35 A +  
 $i = 4.30$  A + filtro BG 4

Ortogiialla 11/10 DIN  
 $d \approx 20$  cm

Ortoarancio 14/10 DIN  
 $d = 20$  cm

log It	D	log It	D
velo	0.12	velo	0.08
1.27	.17	1.00	.11
.41	.21	.14	.13
.54	.28	.27	.16
.68	.44	.41	.26
.82	.67	.54	.42
.95	.96	.68	.63
2.08	1.28	.82	.85
.22	.57	2.95	1.10
.36	.87	2.08	.28
		.22	.49
		.36	.67

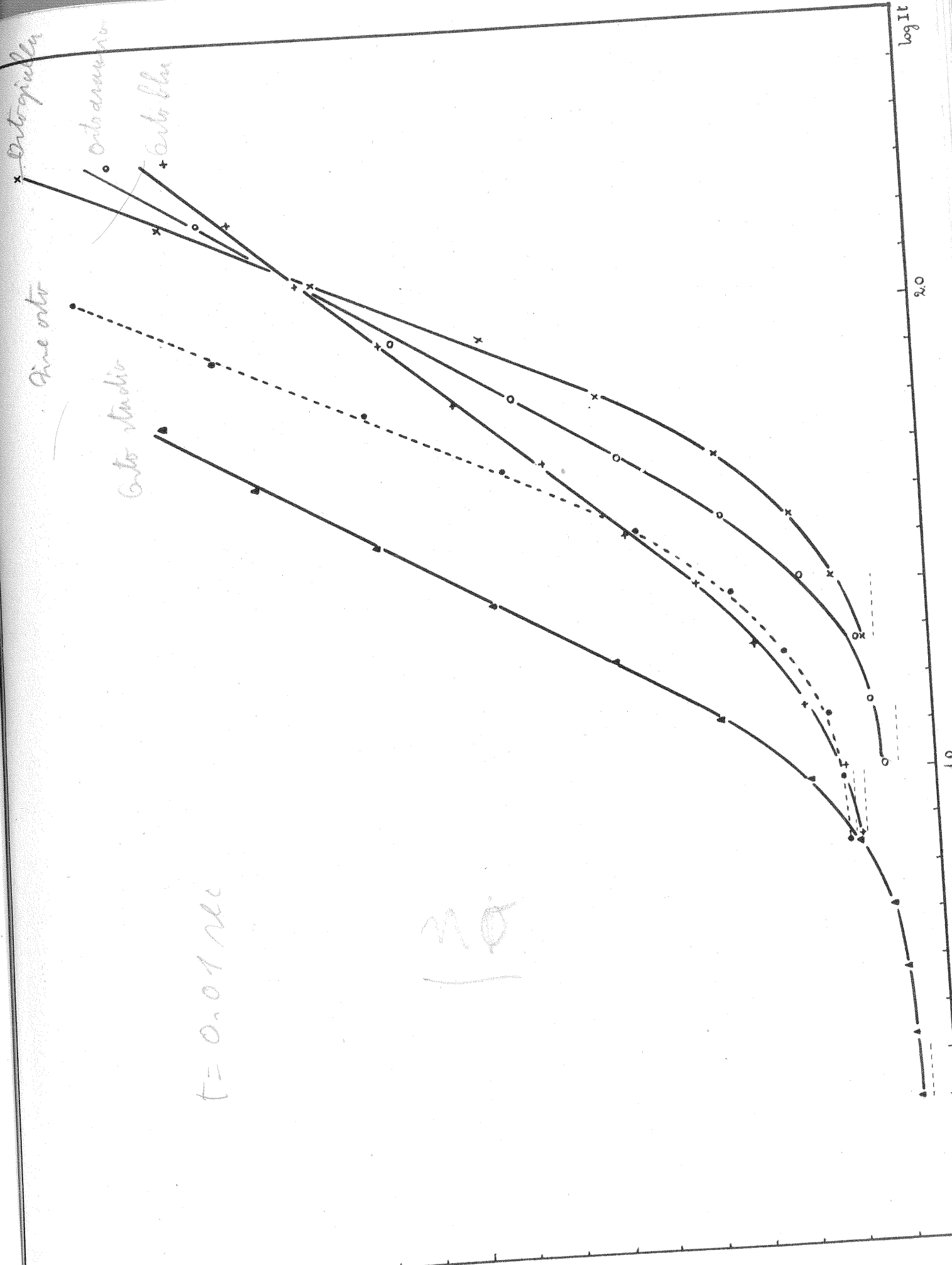
Ortoblu 15/10 DIN  
 $d = 20$  cm

Fine orto 18/10 DIN  
 $d = 28$  cm

log It	D	log It	D
velo	0.16	velo	0.18
1.27	.37	0.84	.19
.41	.48	.98	.20:20
.54	.63	1.11	.23:23
.68	.80	.25	.31
.82	.97	.38	.41
.95	1.12	1.52	.60
2.08	.29	.67	.87
.22	.43	.80	1.16
.36	.55	.93	.47
		2.07	.78

Ortostudio 18/10 DIN  
d = 28 cm

log It	D
velo	0.05
0.30	.07
.43	.07
.57	.08
.71	.10
.84	.17
.98	.26
1.11	.45
.25	.66
.38	.92
.52	1.15
.67	.40
.80	.66



t = 0.01 sec

30

Fine ortho

Carbo stardio



t = 2 sec ; lampada "Osram" 6 V - 4.35 A +  
 i = 3.80 A + filtro BG 4

Ortogiolla 11/10 DIN  
 d = 1 m

log It	D
velo	0.10
1.43	.12
.56	.14
.70	.18
.83	.22
.95	.33
2.09	.49
.23	.79
.36	1.15
.50	.48
.64	.79

Ortoarancio I4/10 DIN  
 d = 1 m

log It	D
velo	0.09
1.29	.10
.43	.13
.56	.17
.70	.28
.83	.446
.95	.73
2.09	1.04
.23	.30
.36	.51
.50	.74
.64	.99

Ortoblu 15/10 DIN  
 d = 1 m

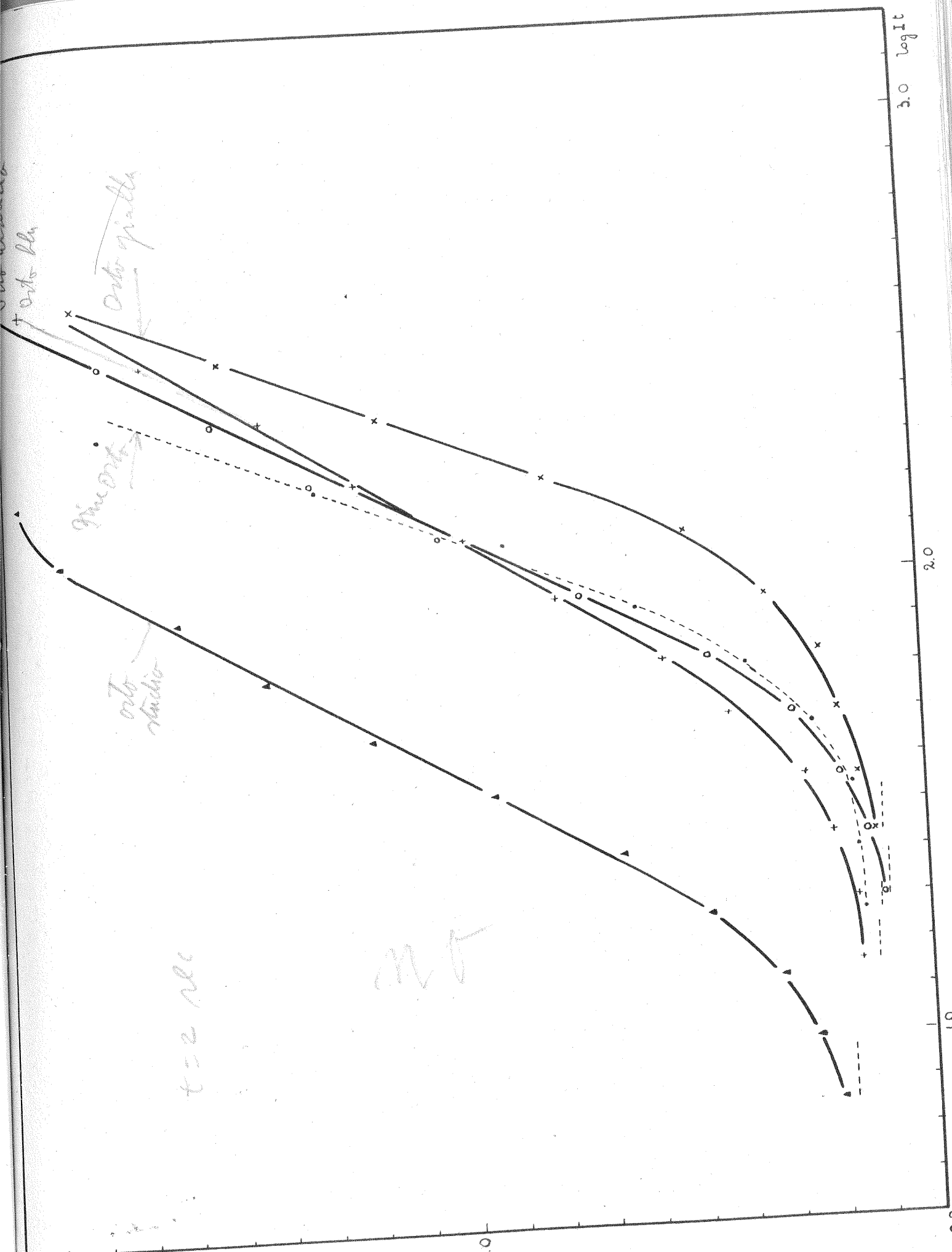
log It	D
velo	0.12
1.15	.16
.29	.16
.43	.21
.56	.26
.70	.42
.83	.55
.95	.78
.09	.97
.23	1.20
.36	.40
.50	.65
.64	.93

Fine orto - 18/10 DIN  
 d = 1.41 m

log It	D
velo	0.11
0.26	.14
.41	.15
.54	.16
.66	.24
.81	.37
.93	.61
2.08	.89
.21	1.29
.34	.75

Ortostudio 18/10 DIN  
d = 1.41 m

log It	D
velo	0.18
0.86	.21
.99	.25
1.13	.32
.26	.47
.41	.66
.54	.93
.66	1.19
.81	.41
.93	.60
2.08	.84
.21	.94



$t \approx 1^h$  ;  
 $i = 0.15 \text{ A}$

lampada "Osram" 6 V - 0.25 A +  
 + filtro BG 4

Ortogialla 11/10 DIN  
 $d = 1 \text{ m}$

log It	D
velo	0.11
1.98	.13
2.11	.15
.25	.18
.38	.28
.53	.26
.66	.43
.80	.67
.93	1.09
3.08	.90
.20	.94

Ortoarancio 14/10 DIN  
 $d = 1 \text{ m}$

log It	D
velo	0.09
1.71	.11
.84	.12
.98	.13
2.11	.22
.25	.31
.38	.51
.53	.75
.66	1.08
.88	.41
.93	.70

Ortoblu 15/10 DIN  
 $d = 0.70 \text{ m}$

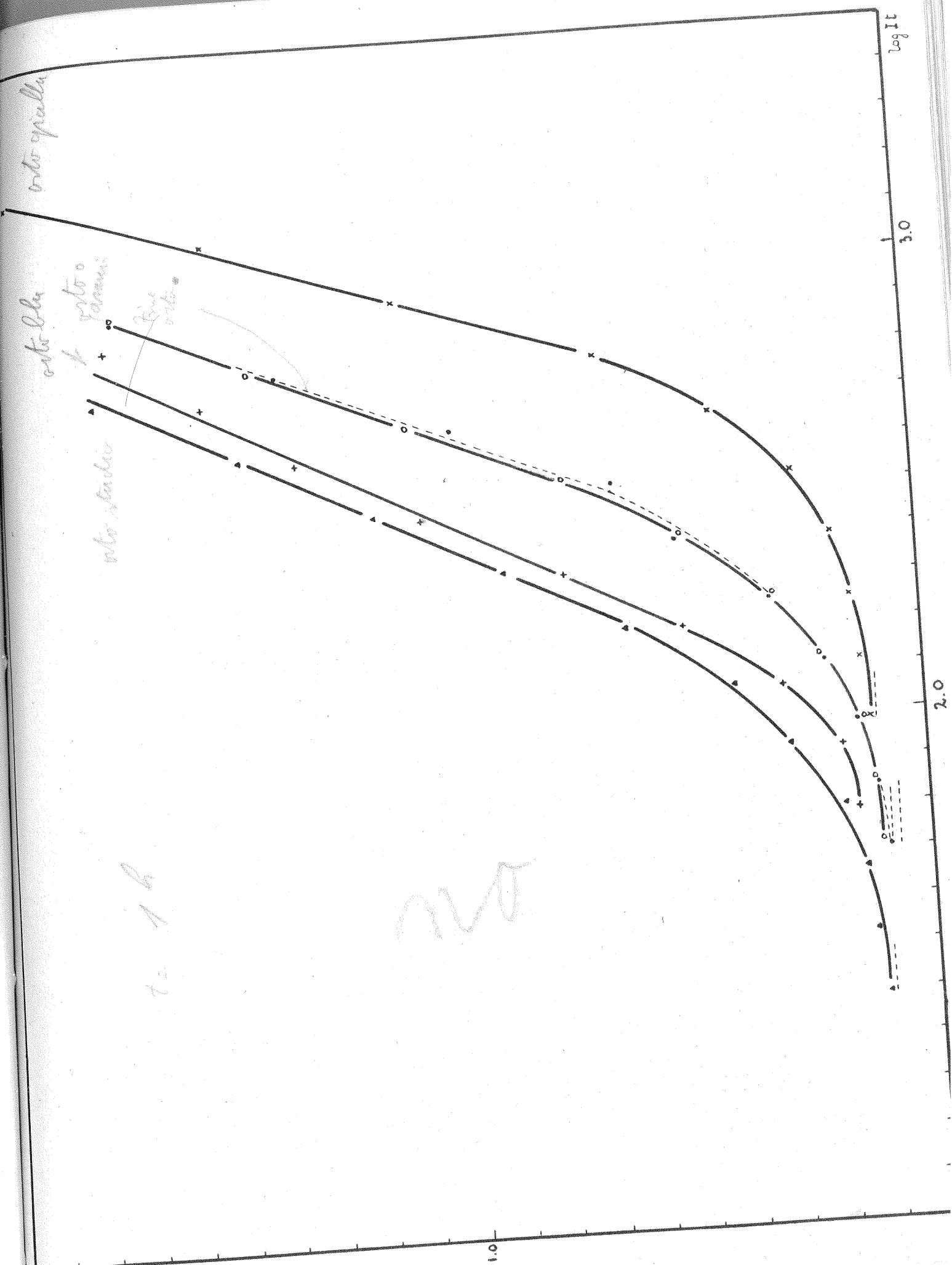
log It	D
velo	0.09
1.79	.16
.93	.18
2.06	.30
.19	.51
.32	.76
.45	1.06
.59	.32
.72	.52
.87	.72

Fine orto - 18/10 DIN  
 $d = 1.20 \text{ m}$

log It	D
velo	0.07
1.70	.09
.83	.11
.97	.14
2.11	.21
.25	.32
.38	.51
.51	.64
.65	.98
.78	1.35
.92	.70

Ortostudio 18/10 DIN  
d = 1.50 m

log It	D
velo	0.10
1.39	.11
.53	.13
.66	.14
.79	.18
.93	.29
2.07	.41
.20	.63
.33	.89
.47	1.16
.60	.44
.73	.75



LASTRE PANCROMATICHE

t = 1/100 sec ;      lampada "Osram" 6 V - 4.35 A  
 i = 4.30 A              + filtro BG 4

Fine pancro 18/10 DIN  
 d = 28 cm

log It	D
velo	0.12
0.35	.14
.98	.15
1.12	.16
.26	.21
.39	.29
.52	.45
.66	.68
.79	1.00
.93	.32
2.07	.56

Pancro studio 20/10 DIN  
 d = 40 cm

log It	D
velo	0.10
0.40	.13
.54	.16
.68	.19
.81	.31
.94	.43
1.08	.59
.21	.80
.35	.96
.48	1.14
.62	.29

Pancro Superex 21/10 DIN  
 d = 40 cm

log It	D
velo	0.04
0.54	.07
.68	.11
.81	.14
.94	.27
1.08	.40
.21	.60
.35	.75
.48	.92
.62	1.07

Pancro Superrapida 23/10 DIN  
 d = 40cm

log It	D
velo	0.13
0.54	.14
.68	.16
.81	.25
.94	.30
.08	.37
.21	.49
.35	.60
.48	.73
.62	.86

22

*Five pascua*

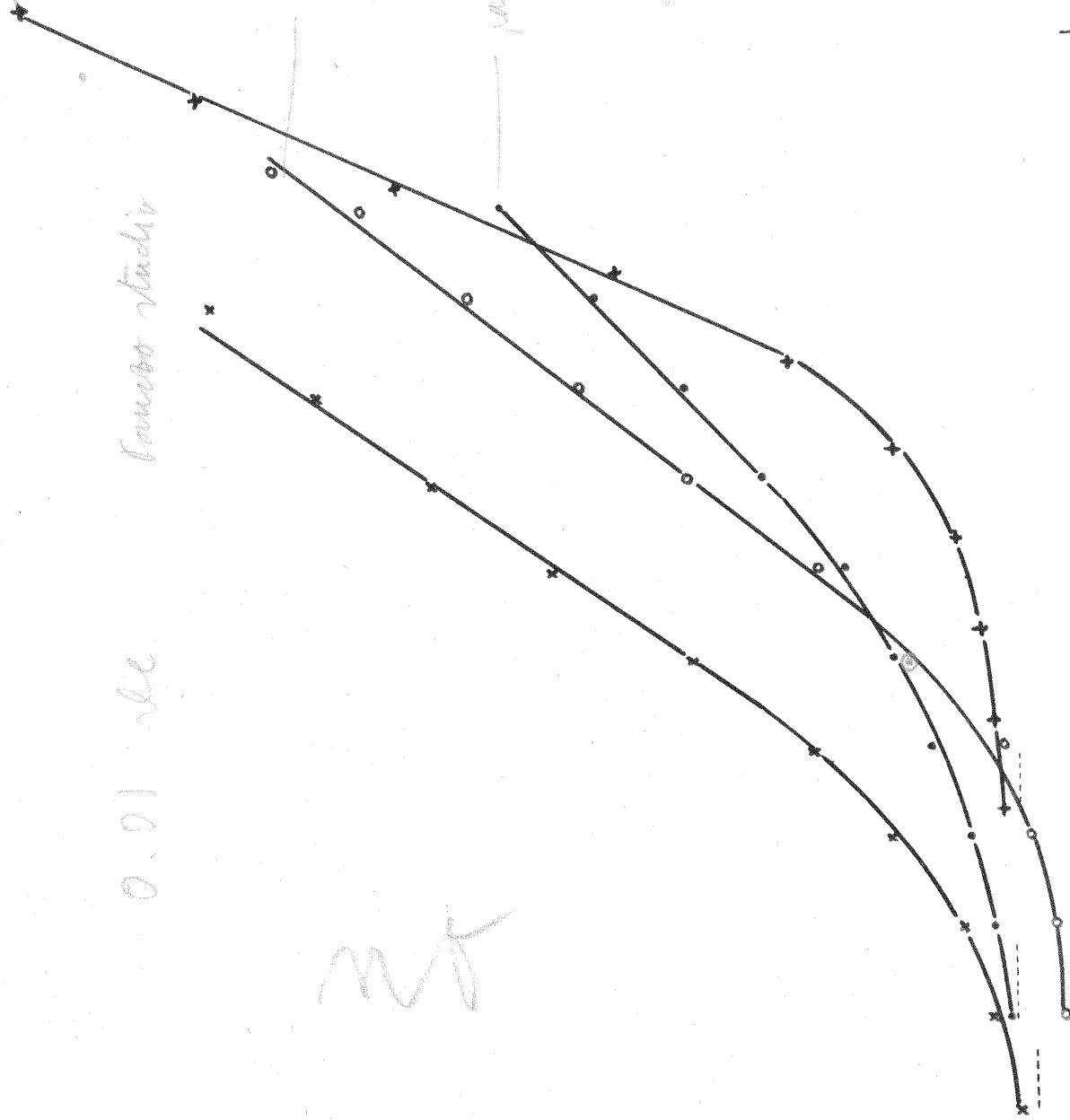
*Taurus hyperes.*

*pascua sup. rapida*

*Taurus studia*

*0.01 sec.*

*mt*





t = 2 sec ;  
i = 3.80 A

lampada "Osram" 6 V = 4.35 A +  
+ filtro BG 4

Fine pancro 18/10 DIN  
d = 1.41 m

log It	D
velo	0.08
1.40	.09
.53	.10
.66	.14
.79	.19
.93	.34
2.06	.58
.19	.86
.33	1.18
.47	.43
.60	.66

Pancro studio 20/10 DIN  
d = 2 m

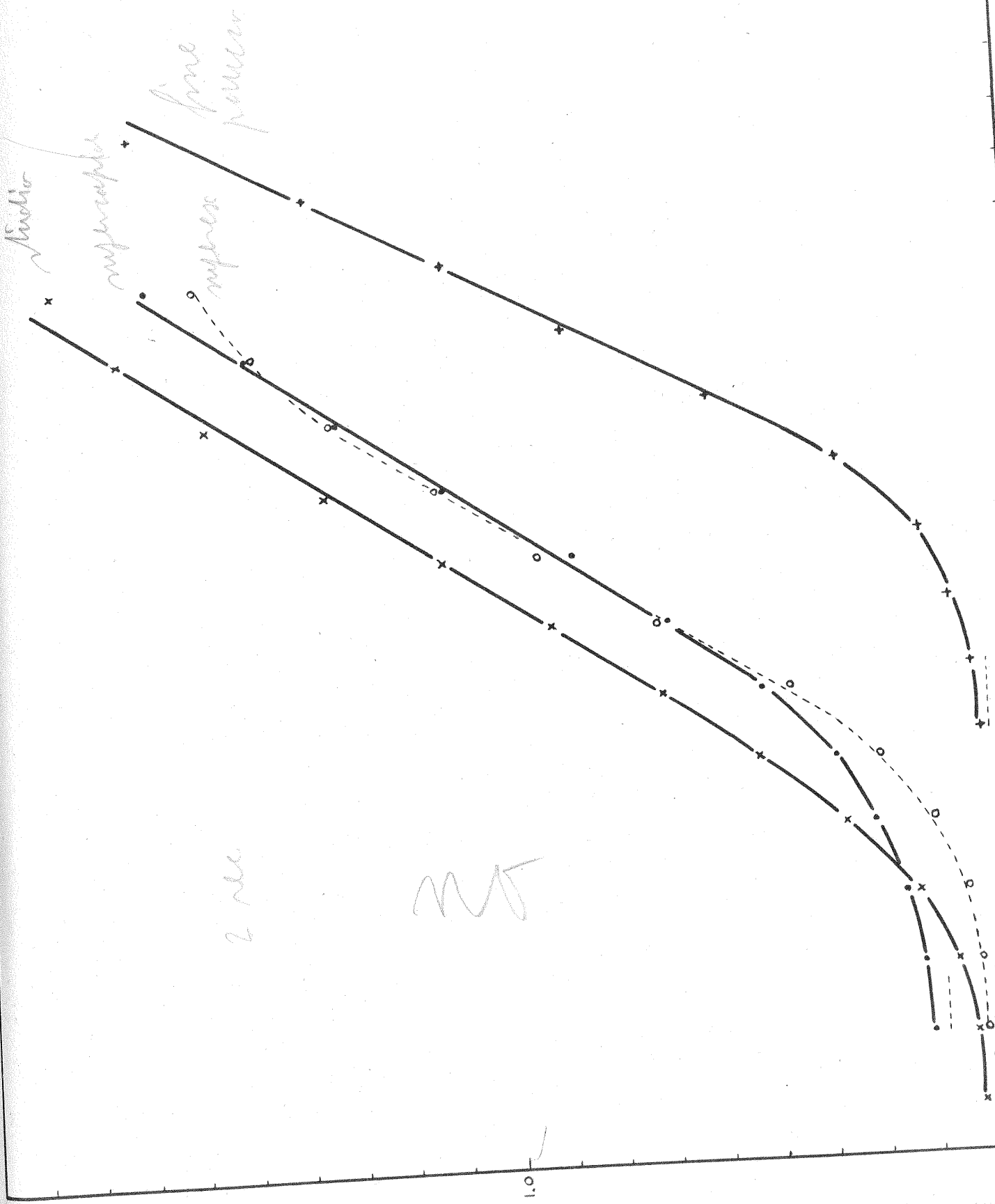
log It	D
velo	0.10
0.70	.12
.83	.13
.97	.16
1.10	.23
.23	.36
.36	.52
.49	.69
.63	.90
.76	1.10
.90	.32
2.03	.54
.16	.71
.30	.83

Pancro Superex 21/10 DIN  
d = 2 m

log It	D
velo	0.09
0.83	.11
.97	.1111
1.10	.13
.23	.19
.36	.28
.49	.45
.63	.70
.76	.92
.90	1.11
2.03	.31
.16	.46
.30	.55

Pancro Superrapida 23/10 DIN  
d = 2m

log It	D
velo	0.18
0.83	.21
.97	.22
1.10	.24
.23	.30
.36	.37
.49	.51
.63	.67
.76	.86
.90	1.10
2.03	.29
.16	.46
.30	.64



$t = i^h$   
 $i = 0.15 \text{ A}$

lampada "Osram" 6 V - 0.25 A +  
 + filtro BG 4

Fine pancro 18/10 DIN  
 $d = 1.20 \text{ m}$

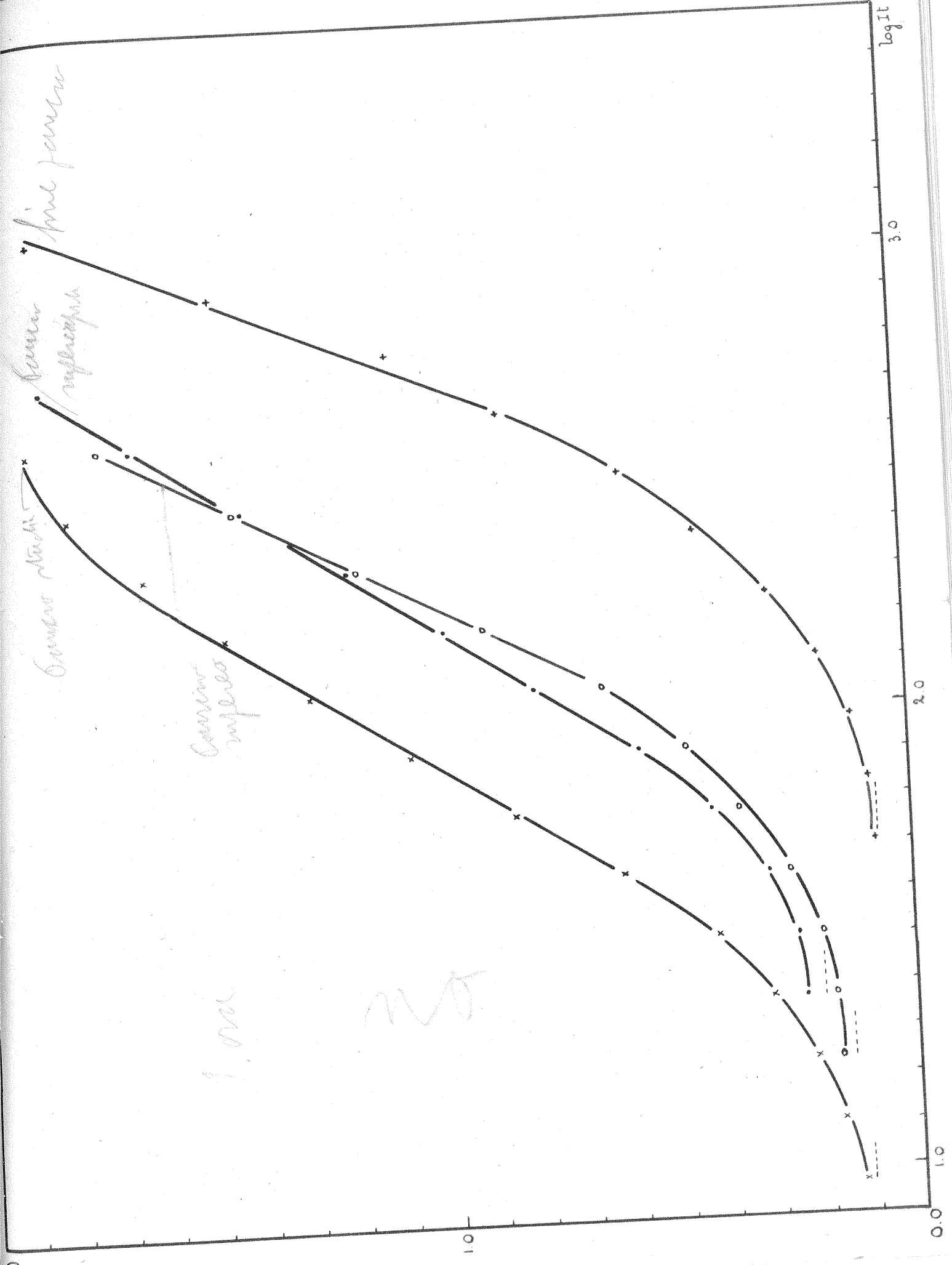
Pancro studio 20/10 DIN  
 $d = 1.70 \text{ m}$

log It	D	log It	D
velo	0.07	velo	0.11
1.71	.08	0.97	.13
.84	.09	1.11	.17
.97	.13	.24	.22
2.11	.19	.38	.31
.24	.29	.52	.42
.38	.44	.65	.62
.52	.61	.78	.85
.65	.86	.92	1.08
.78	1.09	2.05	.28
.92	.47	.18	.46
3.06	.86	.32	.63
		.45	.79
		.59	.87

Pancro Superex 21/10 DIN  
 $d = 1.70 \text{ m}$

Pancro Superrapida 23/10 DIN  
 $d = 1.70 \text{ m}$

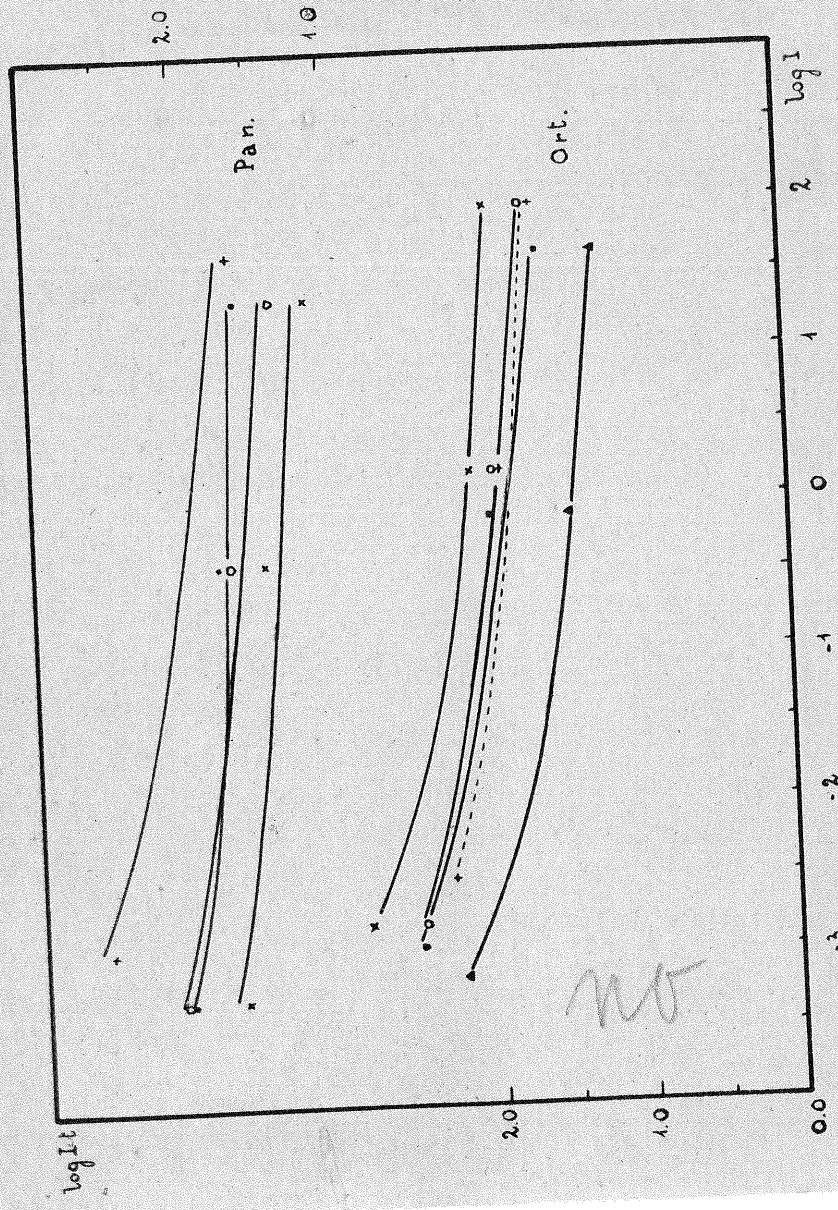
log It	D	log It	D
velo	0.14	velo	0.20
1.24	.17	1.38	.24
.38	.18	.52	.25
.52	.20	.65	.31
.65	.26	.78	.43
.78	.37	.92	.58
.92	.48	2.05	.80
2.05	.65	.18	.99
.18	.90	.32	1.19
.32	1.17	.45	.42
.45	.44	.59	.65
.59	.72	.73	.84



CURVE DI NON RECIPROCITA'

D = 0.6 sul velo

Lastra	t	log I	log It
<u>Ortogialla</u>	1 h	-2.80	2.81
	2 sec	+0.18	2.18
	1/100 sec	+1.94	1.84
<u>Ortoarancio</u>	1 h	-2.80	2.50
	2 sec	+0.18	1.94
	1/100 sec	+1.94	1.71
<u>Ortoblu</u>	1 h	-2.80	2.29
	2 sec	+0.18	1.93
	1/100 sec	+1.94	1.64
<u>Ortostudio</u>	1 h	-3.26	2.25
	2 sec	-0.12	1.45
	1/100 sec	+1.64	1.24
<u>Fine orto</u>	1 h	-2.96	2.51
	2 sec	-0.12	1.98
	1/100 sec	+1.64	1.61
<u>Fine pancro</u>	1 h	-2.96	2.56
	2 sec	-0.12	2.10
	1/100 sec	+1.64	1.66
<u>Pancro studio</u>	1 h	-3.30	1.70
	2 sec	-0.42	1.49
	1/100 sec	+1.34	1.14
<u>Pancro supereX</u>	1 h	-3.30	2.10
	2 sec	-0.42	1.70
	1/100 sec	+1.34	1.39
<u>Pancro superrapida</u>	1 h	-3.30	2.04
	2 sec	-0.42	1.67
	1/100 sec	+1.34	1.61



Cap. VI - DISCUSSIONE DEI RISULTATI SPERIMENTALI

Premettiamo che le curve costruite non vogliono tanto essere uno studio generale della non reciprocità, quanto uno studio limitato al campo che ci interessa. Poiché il nostro scopo è di cercare le condizioni optimum di osservazione per ricerche spettrofotometriche, la zona degli illuminamenti scelta è la più opportuna, e così pure il valore delle densità per la quale sono state costruite le curve a densità costante. Queste curve vogliono fornire un criterio di scelta delle lastre, per quel che riguarda la non reciprocità, oltre ad indicare approssimativamente come va corretta la sensibilità commerciale delle emulsioni ( che si riferisce a pose istantanee ), nel caso delle pose astronomiche; ripetiamo che questa valutazione va intesa solo come approssimata, a causa della imprecisione delle nostre misure.

Da un'osservazione comparativa dei risultati ottenuti

per le diverse emulsioni, possiamo dedurre quanto segue.

Le misure per le pose con  $t = 1^h$ ,  $t = 2 \text{ sec}$ , rientrano nella zona degli illuminamenti minori dell'illuminamento optimum; solo quelle per le pose con  $t = 1/100 \text{ sec}$  si può ritenere che cadano all'incirca nella zona di minimo delle curve. Tutte le lastre studiate presentano quindi la massima efficienza per pose istantanee con alti illuminamenti. Questo risultato era prevedibile, tenuto conto che le lastre in commercio vengono costruite per scopi pratici, con particolare riguardo alle pose brevi.

Confrontando i due gruppi di curve si può rilevare che come andamento generale, le lastre ortocromatiche presentano una non reciprocità lievemente più marcata delle pancromatiche. Questa diversità di comportamento potrebbe essere attribuita al fatto che le lastre pancromatiche studiate hanno grana notevolmente più grossa delle ortocromatiche; ciò significa che a parità di illuminamento, ogni granulo riceve un maggior numero di fotoni al secondo. Ma il processo di disintegrazione della traccia per



agitazione termica, che abbiamo visto essere la causa determinante della non reciprocità, alle basse intensità, avviene tanto più facilmente quanto minore è il numero di fotoni che arrivano per secondo sul granulo. Quindi a parità di illuminamento esso è facilitato dalla grana fina e ostacolato dalla grana grossa.

Questa spiegazione varrebbe anche a giustificare la non reciprocità piuttosto spiccata presentata dalle lastre Fine-pancro e Fine-orto ( che hanno grana molto fine ), nei confronti rispettivamente delle altre pancromatiche e ortocromatiche. Per quel che riguarda la Fine-orto, osserviamo che essa è notevolmente meno sensibile della Orto studio, la cui sensibilità in gradi DIN, denunciata dalla casa di produzione, dovrebbe essere la stessa.

Questo potrebbe essere dovuto o alla diversa sensibilità spettrale delle due lastre ( ricordiamo che le curve di emissione delle nostre sorgenti sono state corrette con un filtro BG 4 ), oppure al fatto che, come abbiamo

già detto, le sensibilità dei prodotti in commercio vengono valutate per illuminamenti più alti di quelli di cui noi ci siamo serviti.

Di tutte le ortocromatiche quella che perde meno in efficienza verso le deboli intensità, sembra essere la Ortoblu, che quindi, almeno da questo punto di vista, può essere considerata come la più consigliabile per ricerche astrofisiche.

Le pancromatiche, eccettuata la Fine-pancro, non sembrano presentare differenze notevoli di comportamento; da osservare la marcata sensibilità della Pancro studio, nei confronti delle due lastre Superex e Sperrapida, ambedue a sensibilità dichiarata notevolmente migliore. Un criterio preferenziale potrebbe essere tenuto nei confronti della Sperrapida, la cui efficienza relativa è buona per le pose astronomiche.

Cap. VII - COMPORAMENTO DELLE EMULSIONI STUDIATE NEI  
CONFRONTI DELLE MISURE SPETTROFOTOMETRICHE.

Il comportamento delle emulsioni per quel che concerne la non reciprocità, non è che uno dei molteplici aspetti sotto i quali va considerata una lastra per decidere se essa è più o meno consigliabile per ricerche spettrofotometriche. Non dobbiamo dimenticare che tutte le altre proprietà dell'emulsione, quali la grana, il contrasto, il potere risolutivo, ecc. , considerate nel loro complesso, possono anche portare a un responso più o meno contrastante con quello da noi dato per le diverse lastre. I nostri risultati avranno quindi valore quando saranno inquadrati in uno studio più generale delle proprietà delle emulsioni: tale studio esorbita dai limiti impostici nel nostro lavoro di tesi, ma per avere un'idea delle conclusioni a cui esso può portare per le lastre da noi studiate, abbiamo eseguito una serie di spettri tipici di stelle di tipo F al riflettore a prismi dell'Os-

servatorio di Arcetri, (  $f \approx 225$  cm , apertura = 30 cm ,  
due prismi con spigolo di  $6^{\circ}.1 + 8^{\circ}.0$  , di flint . )

Le stelle scelte sono 16 Vulpeculae, di tipo F0, e

$\beta$  Delfini, di tipo F3. Della prima ( di grandezza 5.32 ),

è stata eseguita una serie di tre spettri, rispettivamente

con  $2^m$ ,  $5^m$ ,  $12^m$ , di posa su ognuna delle lastre ortocroma-

tiche, la sera del 24/VIII/48 con visibilità buona e condi-

zioni del cielo costanti. Della seconda si sono eseguite

pose di  $2^m$ ,  $4^m$ ,  $8^m$  tanto sulle lastre pancromatiche che

sulle ortocromatiche. Le osservazioni sono state fatte in

diverse sere fra il 25 / VIII e il 6 / IX , perchè hanno

dovuto essere frequentemente interrotte a causa delle peggio-

rate condizioni atmosferiche.

Tutte le lastre sono state sviluppate con sviluppo "R 10"  
finegranulante, per  $6^m$  a  $21^{\circ}$  C .

Di ogni lastra sono stati eseguiti dei microfotogrammi al  
microfotometro autoregistratore esistente nello stesso Osservatorio di Arcetri. La zona di spettro studiata compren-

de le righe H e K del Calcio II, e le righe  $H_{\delta}$ ,  $H_{\delta}$ ,  $H_{\epsilon}$ ,  $H_{\zeta}$ ,  $H_{\eta}$ , della serie di Balmer. Lo studio di questi microfotogrammi ci ha permesso di integrare in parte i risultati ottenuti per le nostre emulsioni nei confronti della non reciprocità, e di sottolinearne il valore per quel che concerne la spettrofotometria, con particolare riguardo alla quale essi erano stati espressamente ottenuti.

Osservando i microfotogrammi di  $\beta$  Delphini per le lastre pancromatiche, possiamo subito constatare la scarsissima sensibilità della Fine pancro, che per le pose suddette non dà spettri misurabili nel violetto. L'unico vantaggio che ha tale lastra sulle altre, è dovuto alla sua grana, la cui finezza è posta nel massimo rilievo dal microfotogramma. L'uso di questa lastra è consigliato perciò solo per ricerche spettroscopiche con sorgenti molto intense.

Nella Superex e nella Superrapida le misure sono disturbate dal velo, che è molto alto, specie nella seconda; in ambedue queste lastre la grana notevolmente grossa, masche-

ra completamente le righe degli spettri più deboli. Ne segue che la Superrrapida il cui uso sembrava preferibile dal punto di vista della non reciprocità, è invece meno consigliabile quando si tenga conto degli inconvenienti suddetti. Buono è il rendimento della Pancro studio, la cui notevole sensibilità nel blu-viola conferma i risultati da noi precedentemente ottenuti in laboratorio, e che dà righe ben definite anche nello spettro più debole.

Per quel che riguarda le Ortocromatiche, possiamo rilevare dal confronto dei microfotogrammi, una posizione di vantaggio delle due lastre più lente, Ortogialla e Ortoarancio, rispetto alle altre. Queste lastre, a grana più fina e quindi a maggior potere risolutivo, permettono di distinguere alcune righe metalliche di debole intensità, non visibili nelle altre; inoltre al loro contrasto elevato è dovuta la maggior definizione delle righe più intense, come si può constatare dal profilo di tali righe e dalle misure delle trasparenze relative.

F3

8 Sep



Panero studio 20/10 DIN

Cap. VIII - CENNO SUL PROBLEMA DELLA DETERMINAZIONE  
DEL LIMITE DELLE PRESTAZIONI OTTENIBILI  
DA UN RIFLETTORE A PRISMI.

Abbiamo accennato nell'introduzione al problema di determinare il limite delle prestazioni ottenibili da un riflettore a prismi. Vogliamo vedere ora un poco più da vicino, sotto quale aspetto si presenta tale problema, quale interesse avrebbe la sua soluzione, e riportare a titolo di esempio circa le possibilità dello strumento, le misure relative ad alcuni spettri eseguiti in condizioni generali d'esperienza favorevoli.

Ricordiamo che un riflettore a prismi non è altro che un comune telescopio nel quale uno o più prismi sono interposti direttamente sul cammino dei raggi luminosi, prima che questi arrivino al riflettore. Il vantaggio presentato da questo semplice dispositivo, rispetto allo spettroscopio applicato alla fenditura del telescopio, è di permettere la foto-



grafia di spettri di stelle molto deboli e di consentire di fotografare contemporaneamente gli spettri di tutte le stelle presenti nel campo del telescopio. Esso infatti elimina sia la fenditura che il collimatore, profittando del fatto che le stelle sono sorgenti a distanza praticamente infinita, e sufficientemente piccole per essere considerate puntiformi. Il riflettore a prismi è quindi particolarmente indicato quando si voglia eseguire uno studio sistematico di un gran numero di stelle situate nella stessa zona del cielo, e per la classificazione di stelle deboli nei diversi tipi spettrali.

Quando però si vogliono eseguire misure di spettrofotometria, il riflettore a prismi presenta notevoli inconvenienti: le immagini delle stelle al fuoco dello strumento non sono puntiformi, e quindi gli spettri che se ne ricavano è come se fossero eseguiti con la fenditura molto larga. Ne viene che le righe comprese in uno stesso intervallo di lunghezza d'onda si "impastano", sovrapponendosi le une alle

altre, e l'intensità equivalente di ogni riga visibile nello spettro, in realtà è la somma delle intensità equivalenti di tutte le righe che cadono nell'intervallo dello spettro occupato dalla riga stessa.

D'altra parte negli Osservatori i cui telescopi non sono dotati di spettrografo a fenditura, si rende necessario eseguire le ricerche astrofisiche di fotometria spettrale al riflettore a prismi, ed è perciò di notevole interesse la conoscenza del significato che hanno le misure ricavate in confronto di quelle analoghe ottenute con la fenditura, e del limite massimo delle prestazioni al quale il nostro strumento può arrivare.

Il problema si può porre in questo senso: abbiamo la possibilità di variare la dispersione ( o variando la focale nella combinazione Cassegrain, o aumentando lo spigolo rifrangente dei prismi ), e inoltre di variare la sensibilità e il potere risolutivo dell'emulsione. In quale direzione conviene di muoverci ?

Una risposta a tali domande verrebbe ad integrare il lavo-

ro da noi precedentemente compiuto sul comportamento delle emulsioni, nell'ambito della questione più generale della ricerca delle condizioni "optimum" di osservazione per ricerche di spettrofotometria.

Noi ci limitiamo qui a riportare i dati ricavati da pose eseguite su alcune stelle di tipo B, in condizioni atmosferiche particolarmente favorevoli, su lastre spettroscopiche Kodak di tipo III O e IV O, ad alto potere risolutivo.

Tali dati, e precisamente il numero e l'intensità delle righe visibili, possono fornire, a scopo puramente illustrativo, un'indicazione circa le possibilità di rendimento del riflettore a prismi.

Di ogni spettro si sono lette al micrometro le distanze relative delle varie righe, e da queste, per mezzo della formula di Cornu-Hartmann, siamo risaliti alla determinazione delle lunghezze d'onda; inoltre abbiamo eseguito una stima visuale approssimata dell'intensità delle righe, tenuto conto della maggiore o minore intensità del fondo continuo.

Lastra "Kodak" - III 0

Pose eseguite il 2/3/48 sulle seguenti stelle:

$\tau$  Orionis - B5 -  $t = 4^m$   
 $\nu$  Orionis - Oe5-  $t = 3^m$   
 22 Orionis - B3 +  $t = 3^m$   
 $\delta$  Orionis - B0 -  $t = 2^m$

	$\tau$ Ori.	$\nu$ Ori.	22 Ori.	$\delta$ Ori.
?	-	0.5	-	-
H <sub><math>\nu</math></sub>	3.5	2	-	2
H <sub><math>\epsilon</math></sub>	3.5	2	1	2
He 3819.61	0.2	1	0.5	0.5
H <sub><math>\gamma</math></sub>	3.5	2.5	1	2.5
H <sub><math>\beta</math></sub>	3.5	3	2	3
H <sub><math>\alpha</math></sub>	3.5	3	2.5	3
He 4026.35	2	2	0.5	1.5
?	-	-	2	-
C III 4070.43	-	-	-	0.5
Si IV 4116.10	-	0.5	-	0.5
H <sub><math>\delta</math></sub>	3.5	3	2.5	3
He 4141.32	-	-	1	-
H <sub><math>\gamma</math></sub>	3.5	3	2	3
He 4471.48	-	1	-	1

Lastra "Kodak" - IV 0

Pose eseguite il 2/3/48 sulle seguenti stelle:

$\beta$ Orionis	- B8 p	-	t = 1 <sup>m</sup>
k Orionis	- B0	-	t = 6 <sup>m</sup>
$\epsilon$ Orionis	- B0	-	t = 2 <sup>m</sup>
$\zeta$ Orionis	- B0	-	t = 2 <sup>m</sup>
$\gamma$ Orionis	- B2	-	t = 2 <sup>m</sup>

	$\beta$ Ori.	k Ori.	$\epsilon$ Ori.	$\zeta$ Ori.	$\gamma$ Ori.
H <sub>c</sub> - H <sub>c</sub> - H <sub>p</sub> -	2.5	4 d	-	-	-
H <sub>r</sub>	3	4 d	-	-	-
H <sub>o</sub> - H <sub>v</sub> -	3	4 d	-	-	-
H <sub>y</sub> - H <sub>l</sub> - H <sub>k</sub> -	3	1 d	-	-	-
H <sub>v</sub>	3.5	5 d	3	2.5	4
H <sub>o</sub>	3.5	5 d	3	2.5	4
He 3819.61	1	4 s	2	1.5	2.5
H <sub>r</sub>	4	5 d	3.5	3	4
?	1	-	-	-	-
?	1	-	-	-	-
H <sub>y</sub>	4	5 d	3.5	3	4
?	2	-	-	-	-
H <sub>c</sub>	4	5	3.5	3	4
He 4009.27	-	2	-	-	1
He 4026.35	2	4	2	2	-

	$\beta$ Ori.	$\kappa$ Ori.	$\epsilon$ Ori.	$\zeta$ Ori.	$\gamma$ Ori.
C III 4070.43	-	4	-	-	-
Si IV 4088.86	-	3	2	1	-
H $\delta$	3	1	3	3	3.5
Si IV 4116.10	-	5	0.5	-	-
He 4120.81	-	5	0.2	-	-
He 4141.32	-	-	-	-	1
?	-	-	-	-	1
H $\gamma$	3	3	3.5	4	4
Fe II 4384.33	-	1	1	0.2	2
O II 4414.89	-	1	-	-	-
He 4471.48	1	3	3.5	1.5	2.5
?	1	-	+	-	-
Si III 4552.65	-	0.5	-	-	-
C III 4651.35	-	2	3	2.5	-
?	-	-	0.2	-	-
H $\beta$	4	2	1	2	2

## CONCLUSIONE

Il problema che ci eravamo posti nell'introduzione ci aveva condotti alla ricerca delle condizioni di osservazione più opportune per ottenere da un'esperienza relativa a ricerche spettrofotometriche i risultati più espressivi, limitatamente alle possibilità dello strumento.

Noi abbiamo cercato di risolvere un lato di tale problema, per quel che riguarda il materiale fotografico, studiando il comportamento delle emulsioni nei riguardi della non reciprocità tra illuminamenti e tempi di posa, che trae con sé notevoli inconvenienti quando si eseguono pose di tipo astronomico, specialmente per le stelle più deboli.

Alcuni cenni sul lavoro compiuto da altri sperimentatori in questo campo, ci hanno permesso di introdurre il problema e di inquadrarlo dal punto di vista storico.

Siamo poi passati a un'esposizione quantistica delle teorie che spiegano il fenomeno della formazione dell'immagine latente, e dalle quali si può trarre una giustificazione

teorica della non reciprocità.

A questa trattazione abbiamo fatto seguire la descrizione e la discussione dei risultati, dello studio sperimentale da noi eseguito per stabilire il comportamento di alcune emulsioni comunemente in uso per osservazioni astronomiche, nei riguardi della non reciprocità.

Infine abbiamo cercato di completare i risultati ottenuti, eseguendo sulle emulsioni in studio alcuni spettri stellari tipici, il cui andamento è stato studiato con misure microfotografiche.

Da ultimo abbiamo accennato al problema di stabilire quali siano le prestazioni ottenibili da un riflettore a prismi, basandoci sulle misure eseguite per le righe degli spettri di alcune stelle di tipo B.

---



B I B L I O G R A F I A

H. Grouiller - "Sensitométrie spectrale et photométrie photographique Astronomique"  
Publications de l'Observatoire de Lyon  
Vol. II, fasc. 12.

Eastman Kodak Comp. - "Photographic Plates for use in Spectroscopy and Astronomy"  
New York 1943.

Gurney e Mott - "Teoria della fotolisi dell'AgBr e dell'immagine latente fotografica."  
Proc. Royal Society 1938 - 164 A.

K. Mees - "The theory of the photographic process"  
New York 1944.

M.G. Fracastoro - "Sul meccanismo della formazione dell'immagine latente negli strati fotogr."  
Rendic. Acc. Naz. Lincei - maggio 1946.

S. Rosseland - "Theoretical Astrophysics"  
Oxford 1936.

G. Righini - "Profilo vero e strumentale delle righe spettrali"  
Pubblicaz. di Arcetri, fasc. 60.

I N D I C E

=====

Introduzione	pag. 1
Cap. I - Notizie storiche .....	" 5
Cap. II - Conseguenze della mancanza di reciprocità agli effetti delle fotografia astro-nomica .....	" 13
Cap. III - Teoria dell'effetto di non reciprocità.	
1) - Dipendenza della non reciprocità da altri parametri ;;;.....	" 15
2) - Teoria della formazione dell'immagine latente secondo Gurney e Mott .....	" 18
3) - Teoria quantistica e curve teoriche della non reciprocità .....	" 24
4) - Effetti di alta e bassa intensità e dipendenza dalla temperatura ...	" 31
5) - Dipendenza dalla lunghezza d'onda	" 38
Cap. IV - Come si costruisce una curva sperimentale di non reciprocità .....	" 40
Cap. V - Descrizione del dispositivo sperimentale.	" 445
Cap. VI - Discussione dei risultati sperimentali .;	" 71
Cap. VII - Comportamento delle emulsioni studiate nei confronti delle misure spettrofotometriche.....	" 87

Cap.VIII - Genno sul problema della determinazione del limite delle prestazioni ottenibili da un riflettore a prismi.....	pag. 80
Conclusione	" 87
Bibliografia	" 89

---