

SULL' IMPIEGO DI PELLICOLE NELLE MISURE DI VELOCITÀ RADIALI

Nota di L. GRATTON ed E. C. KRÜGER

RIASSUNTO. — Si esamina la possibilità di impiegare pellicole anziché lastre nelle misure di velocità radiale. Dalla misura di un grande numero di riproduzioni su film di una scala artificiale, risulta che impiegando i film sono da attendersi errori accidentali non superiori a quelli che si hanno impiegando lastre.

1. — Da alcuni anni si sta diffondendo in astronomia l'uso di supporti di celluloidi in sostituzione di supporti di vetro per film fotografici. A parte il minor costo, le pellicole presentano notevoli vantaggi:

1) la possibilità di curvarle in modo da adattarle a superfici focali non piane, come si presentano in molti strumenti (camere di Schmidt, camere di spettrografi, ecc.);

2) una maggiore uniformità di spessore dello strato sensibile, che rende la pellicola decisamente superiore per lavori di spettrofotometria ⁽¹⁾.

Nello studio dello spettrografo Zeiss a 3 prismi dell'Osservatorio di Merate, è stato riscontrato che la superficie focale con tutte le camere (Chromat del tipo Hartmann) risultava sensibilmente curva; così, per esempio, con la camera di 72 cm. di fuoco, il raggio di curvatura è di mm. 489, e con la camera di 48 cm., di mm. 342, il che corrisponde ad una freccia di più di 2 mm. su 8 cm. di lastra utile. Allo scopo di ottenere una buona definizione su tutto il campo è stato perciò deciso di ricorrere a pellicole, impiegando appositi châssis che permettessero di dare ad esse una opportuna curvatura.

Pellicole curve sono previste anche per alcuni nuovi spettrografi allo studio per il Centro di Astrofisica del C. N. R.

Poichè peraltro era previsto l'impiego degli spettri non solo per lavori di spettrofotometria, ma anche per misure di velocità radiali, si è ritenuto necessario procedere anzitutto ad un esame sperimentale dell'applicabilità delle pellicole per misure di posizione. Questo studio era già quasi ulti-

(1) KIENLE, Hdb. d. Exp. Physik. XXVI, 700, 1937.

mato, quando si è potuto vedere la nota di Seyfert e Popper (1), in cui vengono impiegate pellicole appunto per misure di velocità radiali di deboli stelle B.

In generale le pellicole sono poco indicate per misure di posizione, perchè, essendo il supporto di celluloido fortemente igroscopico, si determinano deformazioni notevoli in funzione della temperatura e dell'umidità, e queste influiscono tanto durante la posa che durante lo sviluppo, nonchè all'atto della misura (2).

Alle deformazioni durante la posa si può ovviare con opportune precauzioni, e anche lo sviluppo viene fatto generalmente in condizioni standard per tutte le pellicole; più difficile riesce mantenere sempre alle medesime condizioni l'ambiente in cui vengono eseguite le misure. Comunque, anche usando ogni precauzione, misurando il medesimo intervallo su pellicole diverse, o diverse volte sulla medesima pellicola, si ottengono risultati assai differenti.

Fortunatamente, nelle lastre di velocità radiali, lo spettro di confronto rappresenta una scala campione che viene impressa, sviluppata e misurata contemporaneamente allo spettro della stella, purchè si abbia qualche cura nel prendere la posa dello spettro di confronto, in momenti determinati durante la posa della stella, si tratta quindi di misure strettamente differenziali. Tanto una contrazione o una dilatazione generali, quanto deformazioni locali del periodo di qualche mm. vengono perciò automaticamente eliminate dal metodo stesso di misura e riduzione degli spettrogrammi; eventuali irregolarità di piccole dimensioni si manifestano unicamente come errori accidentali delle misure. Per esaminare in via preventiva come queste cause di errore possono influire sulle misure, alcuni tipi di pellicola sono stati sottoposti ad una serie di prove, che ora saranno brevemente descritte.

2. — Le prove consistono nella misura di una scala artificiale impressa, stampanola per contatto, sopra lastre e pellicole, mantenendo la tecnica di sviluppo e di misura il più aderente possibile al procedimento che si segue normalmente a Merate per misurare e ridurre gli spettri di velocità radiali.

Per ricavare le posizioni standard dei tratti della scala, questa fu riprodotta su quattro lastre su vetro (Agfa Isochrom) che sono state misurate al misuratore Mioni in doppio dai due osservatori, ciascuno nella duplice posizione di « lastra diretta » e « lastra inversa ». La scala consiste in due serie di tratti presso a poco rispettivamente di 1,5 e 3,0 mm. d'intervallo l'uno dall'altro; nella prima serie i tratti venivano misurati a coppia, saltando le coppie dispari, in modo da avere intervalli di mm. 1,5 e 4,5 rispettivamente, mentre nella seconda serie furono misurati tutti i

(1) Ap. J. **93**, 461, 1941.

(2) Cfr. G. BERNDT, Z. f. Instr. **54**, 452, 1934.

tratti. I tratti effettivamente misurati furono così 28 nella prima serie e 14 nella seconda.

I valori delle posizioni standard sono stati ricavati dalla media di tutti le misure, tenendo naturalmente conto degli errori della vite.

La precisione di queste posizioni standard risulta dalla Tabella I, i cui dati sono stati ricavati nel modo seguente :

a) l'errore medio totale di una posizione di una lastra (media di 4 misure, una diretta ed una inversa per ciascun osservatore) risulta dagli scarti di ogni lastra dalle posizioni standard ed è la somma degli errori di collimazione e degli errori propri delle singole lastre ;

b) l'errore di collimazione risulta dagli scarti tra le quattro misure di ciascun tratto ;

c) l'errore medio di lastra è naturalmente la differenza (quadratica) dell'errore medio totale e dell'errore di collimazione.

La colonna « soluzione generale » indica la medesima quantità per tutte le lastre insieme, ottenute, non dalle colonne precedenti, ma direttamente dagli scarti osservati. Tutti gli errori sono espressi in 0.001 mm.

Naturalmente l'errore medio di ogni posizione standard conclusa è uguale all'errore medio totale diviso per 2, radice quadrata del numero delle lastre.

Siccome lo scopo del presente lavoro è quello di determinare la precisione della misura, non i valori delle quantità misurate, è necessario che si conoscano anche gli errori medi degli errori medi determinati ; questi sono stati calcolati con le solite formule della teoria degli errori, e sono indicati in parentesi accanto ad ogni errore medio. Appunto per questo motivo è stato necessario un numero di misure molto maggiore di quello occorrente per semplici determinazioni di posizioni o lunghezze ; così ad esempio per la sola determinazione degli standard sono state necessarie 700 misurazioni (ognuna a sua volta risultante da 2 puntate).

TABELLA I -- Errori medi delle posizioni standard.

	Lastre 1/1	1/2	1/3	1/4	Soluzione generale
e. m. tot.	± 0.91 (.10)	± 1.76 (.19)	± 1.63 (.18)	± 1.27 (.14)	± 1.43 (.08)
e. m. coll.	± 1.04 (.06)	± 0.98 (.05)	± 1.10 (.06)	± 1.31 (.07)	± 1.12 (.03)
e. m. lastre		± 1.46	± 1.20		± 0.89 (.14)
e. m. stan.					± 0.71 (.04)

Per le lastre 1/1 e 1/4 gli errori di lastra risultano immaginari ; ciò naturalmente è possibile perchè l'errore totale e l'errore di collimazione

sono ricavati indipendentemente. Questa circostanza indica semplicemente che l'errore di lastra è molto piccolo, e dà una misura dell'incertezza dei valori medi per le diverse lastre.

3. — Le pellicole sono state misurate nel medesimo modo delle lastre. La riduzione delle misure è stata fatta confrontando direttamente le posi-

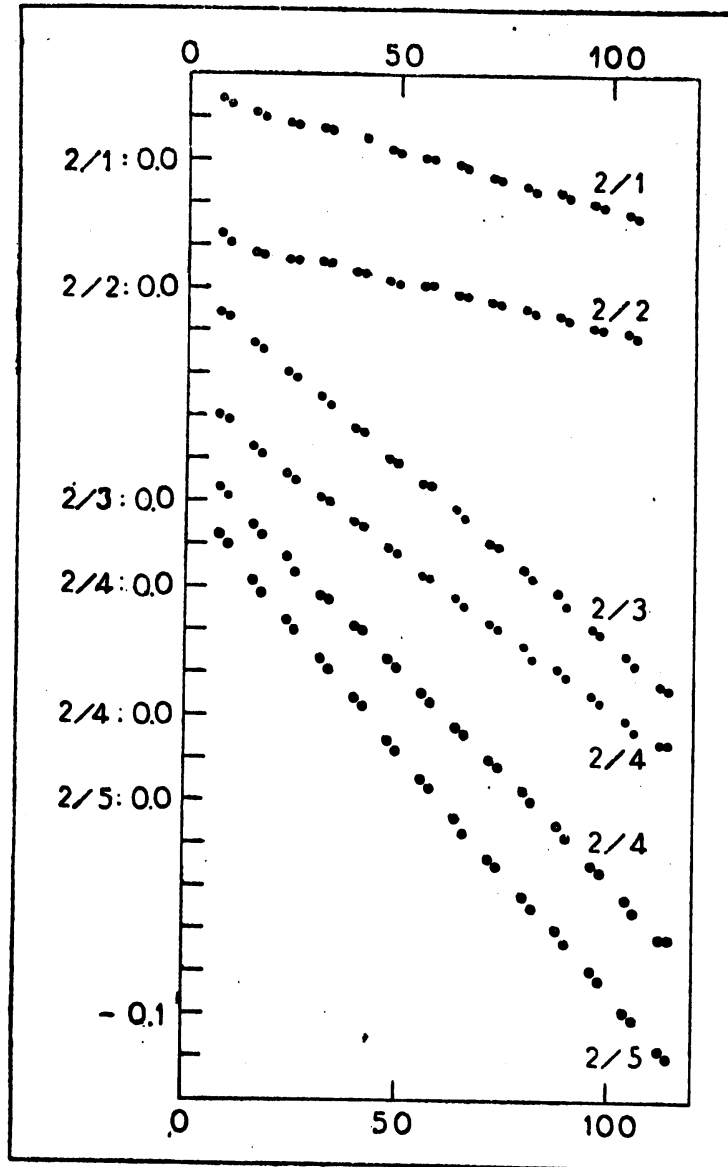


Fig. 1

Rette di correlazione per le pellicole AGFA ISOCHROM
 Ascisse: Posizioni sulla scala in mm.
 Ordinate: Differenza dalla posizione standard in mm.

zioni misurate con le posizioni standard ottenute dalle lastre. E' chiaro che le cause possibili degli scarti, come è stato accennato, sono le seguenti:

a) una contrazione o dilatazione uniforme del film che dovrà manifestarsi con una variazione di scala

b) variazioni locali con un periodo di alcuni mm. che dovranno determinare un andamento ad onde delle variazioni delle posizioni standard ;
 c) irregolarità locali che dovranno dar luogo agli errori accidentali di lastra.

Per studiare questi errori, per ogni pellicola misurata si è costruito un diagramma di correlazione fra gli scarti « pellicola meno standard » e la posizione dei tratti : l' inclinazione della retta di correlazione indica evidentemente la contrazione o dilatazione del film e le deviazioni dall' andamento rettilineo le altre cause di errore.

Nella fig. 1 sono indicati alcuni dei diagrammi così ottenuti.

Le Tabelle 2, 3, 4 contengono i risultati delle misure per i tipi di pellicole indicati. Sono stati impiegati solo film commerciali dei tipi che si sono potuti trovare facilmente negli anni della guerra.

Alcuni film sono stati misurati più volte per esaminare l' effetto delle variazioni delle condizioni di tempo e umidità durante la misura ; in questi casi i risultati delle varie misure sono indicati separatamente. Durante le misure l' umidità relativa è rimasta presso che costante, mentre la temperatura ha subito variazioni di alcuni gradi ; le differenze che si osservano tra le contrazioni ricavate da diverse misure della medesima pellicola rappresentano perciò quasi esclusivamente un effetto di temperatura.

Nella Tabella ogni colonna corrisponde ad un campione della pellicola indicata : tutti i campioni sono stati stampati, sviluppati, lavati e asciugati contemporaneamente, in condizioni uguali per tutti i tipi di film. L' asciugamento è stato fatto con ventilatore ad una temperatura di poco inferiore ai 18°. L' ultima colonna di ogni riga contiene le medie delle variazioni per quel tipo di film.

La prima e seconda riga contengono la contrazione o dilatazione percentuali determinate con i minimi quadrati, con il loro errore medio ; per ogni film vi sono due valori, uno per ciascuna serie di tratti delle scale.

TABELLA II — *Film Agfa Isochrom*. Pellicole commerciali in rotoli per il formato 6 x 9.

Cam- pione	2/1	2/2	2/3	2/4 1° mis.	2/4 2° mis.	2/5	media
Contr. 1° ser.	+ .71 ± .01	+ .60 ± .01	+ 2.23 ± .01	+ 1.94 ± 0.1	+ 2.63 ± .01	+ 3.07 ± .01	
Contr. 2° ser.	+ .98 ± .02	+ .83 ± .02	+ 2.43 ± .01	+ 2.15 ± 0.2	+ 2.86 ± .02	+ 3.10 ± .02	
Err. m. totale	± 1.29 (.15)	± 1.27 (.14)	± 1.29 (.14)	± 1.18 (.14)	± 1.59 (.18)	± 1.77 (.19)	± 1.41 (.07)
Err. m. coll.	± 0.99 (.06)	± 0.90 (.05)	± 0.77 (.04)	± 0.97 (.05)	± 0.88 (.05)	± 0.80 (.04)	± 0.88 (.02)
Err. m. lastra	± 0.5 (.5)	± 0.5 (.3)	± 0.8 (.2)	imm.	± 1.1 (.3)	± 1.4 (.3)	± 0.9 (.1)

La terza riga contiene l'errore medio totale ricavato dalle deviazioni dalle posizioni standard corrette per l'effetto dell'errore di scala.

La quarta riga contiene l'errore di collimazione, determinato dall'errore delle 4 misure (una diretta ed una inversa per ciascun osservatore) per i vari tratti.

La quinta riga contiene l'errore di lastra.

L'errore di lastra è stato ottenuto correggendo l'errore totale per l'errore di collimazione e per l'errore degli standard; esso contiene perciò le somme degli effetti b) e c).

TABELLA III — *Film Ferrania ultracromatica 18/10*. Pellic. comm. in rotoli per il form. 6 x 9.

Campione	3:1	3:2	3:3	3:4	3:5	media
Cont. 1° ser.	-1.02 ± .01	-1.26 ± .01	-3.42 ± .01	-3.31 ± .01	+2.57 ± .01	
» 2° ser.	-1.03 ± .08	-1.74 ± .01	-3.52 ± .01	-3.47 ± .01	+2.74 ± .02	
Err. m. totale	± 1.71 (.19)	± 1.45 (.16)	± 1.43 (.16)	± 1.18 (.16)	± 1.61 (.18)	± 1.49 (.08)
» coll.	± 0.91 (.05)	± 0.82 (.04)	± 0.80 (.04)	± 0.77 (.04)	± 0.80 (.05)	± 0.82 (.02)
» lastra	± 1.3 (.3)	± 1.0 (.2)	± 1.0 (.2)	± 0.6 (.2)	± 1.2 (.2)	± 1.02 (.10)

TABELLA IV — *Agfa ISS 21/10*. Film piani formato 9 x 12.

Campione	4:2	4:3 1° misura	4:3 2° misura	media
Contr. 1° serie	+1.99 ± .01	+0.34 ± .01	+1.75 ± .01	
» 2° serie	+2.20 ± .01	+0.37 ± .01	+1.71 ± 0.1	
Err. med. totale	± 1.41 (.05)	± 1.42 (.16)	± 1.62 (.18)	± 1.49 (.09)
» » coll.	± 0.85 (.05)	± 0.75 (.04)	± 0.93 (.05)	± 0.84 (.05)
» » lastra	± 0.9 (.2)	± 1.0 (.2)	± 1.1 (.3)	± 1.0 (.14)

Dalle Tabelle si possono ricavare le seguenti conclusioni:

a) Tutte le pellicole mostrano una forte contrazione (o dilatazione) sensibilmente uniforme su tutta l'estensione misurata; questa contrazione varia sensibilmente con le condizioni della misura (temperatura e umidità). Essa è per le nostre misure praticamente proporzionale alla temperatura. Non è ben chiaro per qual motivo la 2ª serie di tutti i film manifesta in modo sistematico una contrazione maggiore di quella della prima serie. Comunque lo studio di una contrazione (o dilatazione) uniforme ha poca importanza per quanto ci si era proposto in questo esame, che riguarda essenzialmente l'impiego della pellicola per misure di spettri, poichè, come accennato, l'effetto di una variazione della scala è automaticamente eliminato dal modo con cui si eseguono le riduzioni.

b) L'error medio totale delle misure delle pellicole è identico a quello delle lastre e di un ordine perfettamente compatibile con quello che si può ammettere per misure di velocità radiali.

c) L'errore di collimazione è quasi sempre sensibilmente inferiore a quello delle lastre. Ciò è dovuto al fatto che le emulsioni impiegate per le pellicole hanno in generale una grana più fina di quelle impiegate per le lastre, per modo che la puntata può essere eseguita con maggior precisione.

d) L'errore del film è di appena 0.001 mm., dello stesso ordine di quello delle lastre; questo dimostra che gli errori dovuti a distorsioni locali del film sono dello stesso ordine di quelli che si osservano nelle lastre. Questi errori sono identici a quelli determinati da altri ricercatori (1) nello studio della precisione raggiungibili mediante misure su lastre fotografiche.

Sembra perciò lecito concludere che le pellicole possono essere impiegate per le misure di velocità radiali tanto quanto le lastre, sulle quali presentano invece gli altri noti vantaggi.

4. — Una prova diretta dell'applicabilità delle pellicole per le misure di velocità radiali si ha dalla seguente serie di misure di α Bootis e γ Cygni. Lo spettrografo impiegato è lo spettrografo n. 1, con prisma di vetro 0 118, e camera di 72 cm., che dà una dispersione di 20 Å/mm. circa ad H_{γ} . Il numero di righe misurate è molto grande appunto per esaminare l'effetto dell'uso delle pellicole sugli scarti delle singole righe:

TABELLA V — Misure di velocità radiali su pellicole.

Lastra	Data	V. R.	e p.	N. delle righe
1108/1	12/5/45	α Boo. 0.0	± 0.5	30
1108/2	id.	» 0.0	0.5	27
1108/3	id.	» -1.0	0.5	31
1111/1	19/5/45	» -3.4	0.6	31
1111/2	id.	» -1.3	0.5	38
1112/3	6/6/45	» -1.9	0.7	37
V. R. media - 1.3 \pm 0.3			e.p. di una lastra \pm 0.9	
V. R. del cat. - 5.1				
1121/1	20/7/45	γ Cyg. - 8.0	± 1.1	17
1125/1	25/8/45	» -3.9	0.6	41
1125/2	id.	» -3.4	0.5	69
1127/1	26/8/45	» -7.8	0.5	32
1127/2	id.	» -4.8	0.3	35
1127/3	id.	» -3.8	0.5	38
V. R. media - 5.3 \pm 0.5			e.p. di una lastra \pm 1.4	
V. R. del catalogo - 7.5				

(1) SCHLESINGER e BENNET, M. N. **93**, 382, 1933. MEHLIN, A. J., **44**, 169, 1935.

Gli errori probabili delle singole lastre risultano dagli scarti individuali di ciascuna riga; gli errori probabili delle velocità medie risultano invece dagli scarti di ciascuna lastra, combinate tutte col medesimo peso.

Gli scarti delle singole misure dalla media e delle medie dalle velocità radiali del catalogo, non sono superiori a quelli che si riscontrano per altri osservatori che impiegano lastre e strumenti di dispersioni più elevate della nostra.

Benchè questa serie di misure sia molto breve, noi riteniamo che essa confermi quanto precedentemente concluso circa la possibilità di impiegare pellicole per misure di velocità radiali.

Merate, Luglio 1946.