

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

LABORATORIO DI COSMO-GEOFISICA

TORINO

L'INTENSIFICATORE ELETTRONOGRAFICO
DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MERATE

P.Galeotti⁺, R.Habel^{*}, G.Marangoni⁺, A.Masani⁺⁺

L'INTENSIFICATORE ELETTRONOGRAFICO
DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MERATE

P.Galeotti⁺, R.Habel^{*}, G.Marangoni⁺, A.Masani⁺⁺

Rapporto interno

⁺ Laboratorio di Cosmo-geofisica del C.N.R. - Torino

⁺⁺ Osservatorio Astronomico di Milano-Merate

^{*} Laboratori del Sincrotrone del C.N.E.N.-Frascati

INDICE

1) - Problemi connessi con la rivelazione di deboli sorgenti luminose	pag. 1
2.1)-Gli intensificatori dei vari tipi	pag. 7
2.2)-Applicazioni astronomiche degli intensificatori di immagini dei vari tipi	pag. 14
3.1)-Descrizione dell'intensificatore di Merate	pag. 20
3.2)-Programmi di ricerche astronomiche con lo spectracon di Merate	pag. 23
3.3)-Prospettive e sviluppi futuri	pag. 26

1. - PROBLEMI CONNESSI CON LA RIVELAZIONE DI DEBOLI SORGENTI LUMINOSE

Gli sforzi compiuti dagli astronomi per studiare sorgenti deboli hanno portato da una parte alla realizzazione di telescopi sempre più grandi, di spettrografi più efficienti, di emulsioni più sensibili e dall'altra, più recentemente, allo sviluppo delle tecniche fotoelettroniche. Per studiare l'abbassamento della soglia di rivelazione esamineremo il fenomeno della raccolta dell'informazione così come avviene nei rivelatori.

La rivelazione della luce nello spettro ottico si presenta quasi sempre come un fenomeno quantizzato. Consideriamo un rivelatore di fotoni ideale, tale cioè che ogni fotoevento sia registrato e tutti abbiano lo stesso peso statistico. Se n è il numero di fotoni incidenti sul rivelatore nell'unità di tempo e q è la frazione di essi che produce eventi registrabili, il numero di fotoeventi prodotti nel tempo t sarà nqt . Dato il carattere statistico del fenomeno, la deviazione standard nel numero di fotoeventi sarà \sqrt{nqt} .

Queste considerazioni sono valide sia nel caso di un rivelatore ad un solo canale, ad esempio una fotocellula, sia nel caso di un rivelatore a più canali (emulsione fotografica o intensificatore di immagini). Comunque queste fluttuazioni siano distribuite nel tempo (fotocellula) o nello spazio (lastra), rappresentano un "rumore" sovrapposto al segnale da rivelare. Pertanto, per un tempo di esposizione t con un rivelatore di efficienza quantica q , il rapporto segnale-rumore è \sqrt{nqt} .

L'aver stabilito il rapporto segnale-fondo per un particolare tipo di rivelatore non è sufficiente di per sé stesso a determinare il valore del minimo segnale rivelabile nelle applicazioni astronomiche. Bisogna infatti tener conto di altri fattori, alcuni strumentali, altri collegati a fenomeni naturali, quali il seeing, la scintillazione,

il fondo del cielo, ecc. Tra le caratteristiche strumentali di cui bisogna tener conto per determinare quale sia la soglia di un sistema di rivelazione ricordiamo l'efficienza quantica, il tempo di integrazione, la capacità di immagazzinamento, il fondo dello strumento, ecc.

Tenendo conto di queste limitazioni, si può ottenere la magnitudine di soglia di una stella per un dato sistema di rivelazione e per un dato tempo di esposizione; essa è data da ⁽¹⁾:

$$m_0 = \text{cost} + 0,5 M - 2,5 \log \alpha - 2,5 \log k + \\ + 1,25 \log (D^2 q t) - 1,25 \log (1 + R) \quad (1)$$

dove

M = magnitudine per unità di angolo solido del fondo del cielo

α = diametro angolare dell'immagine stellare

K = coefficiente di certezza che lega la soglia reale di riconoscimento all'incertezza statistica

D = apertura del telescopio

R = rapporto tra fondo dello strumento e fondo del cielo.

Nel caso della fotometria fotoelettrica e delle osservazioni con intensificatori di immagini, la formula risulta in accordo con i dati sperimentali ed è valida per tempi di integrazione lunghi rispetto alle fluttuazioni della scintillazione. Da tale formula si vede che se il tempo di integrazione potesse essere lungo a piacere, si potrebbe raggiungere qualsiasi magnitudine di soglia, pur di evitare la saturazione delle capacità di immagazzinamento del sistema usato. Sempre dalla stessa formula si vede che, facendo un confronto fra le lastre fotografiche e gli intensificatori di immagini, a parità di tempo di esposizione, si ottiene con questi ultimi un guadagno nell'apertura del telescopio.

Nel caso dei telescopi a grande apertura l'uso degli intensificato

ri di immagini permette, a parità di tempo di esposizione, l'impiego di lastre meno sensibili, quindi a grana più fine, senza uscire dai limiti di reciprocità, ottenendo così un maggior numero di informazioni per unità di area.

Quando il tempo di esposizione è tale da saturare la capacità di immagazzinamento del rivelatore usato, la magnitudine di soglia coincide con la magnitudine limite, e la sua espressione diventa ⁽¹⁾:

$$m_s = M - 2,5 \log \alpha - 2,5 \log k + 2,5 \log f + \\ + 1,25 \log E - 2,5 \log (1 + R) \quad (2)$$

dove

f = lunghezza focale del telescopio

E = numero massimo di fotoeventi registrabili nel fuoco del telescopio per unità di area.

Da notare che in questo caso la soglia non dipende dall'apertura del telescopio (è solo funzione della lunghezza focale) nè dall'efficienza quantica del rivelatore e dal tempo richiesto per raggiungere la saturazione.

Nel caso che non si abbia a che fare con un'immagine puntiforme, le equazioni (1) e (2) sono ancora valide se l'immagine può approssimarsi ad un disco di luminosità uniforme; in tal caso α rappresenta il diametro del disco. Il problema diviene più complesso nel caso di sorgenti estese con luminosità non uniforme, ad esempio le galassie.

Nel caso della rivelazione degli spettri stellari, per magnitudine di soglia non si intende la soglia limitata dal fondo del cielo, perchè qui non basta avere un indizio dello spettro, ma occorre poter riconoscere e misurare le varie righe che lo compongono. Da dati sperimentali si trova per la magnitudine di soglia l'espressione ⁽¹⁾:

$$m_o = \text{cost} + 2,5 \log (G \tilde{g} q t)$$

dove g è la trasmissione ottica del telescopio e dello spettrografo senza fenditura, q e t hanno il consueto significato, σ è la rapidità, data dalla formula di Bowen⁽²⁾, ed ha espressioni che dipendono dal modo di impiego dello spettrografo tenendo conto anche della fenditura.

Nella rivelazione di stelle deboli le limitazioni di carattere strumentale intervengono in modo determinante per ciò che riguarda la soglia di rivelazione. A seconda dell'interesse specifico, si usano rivelatori diversi, ad esempio le cellule fotoconduttrici, le termopile, i bolometri e le celle Golay sono usate principalmente per l'esame dello spettro nell'infrarosso, così come i fosfori termoluminescenti e le camere a fotoionizzazione hanno un interesse specifico per misure nell'ultravioletto. Ma i tre rivelatori più largamente usati sono: l'occhio umano, l'emulsione fotografica e i catodi fotoemissivi. Esamineremo in maggior dettaglio solamente questi ultimi due rivelatori.

Emulsioni fotografiche

L'ordine di grandezza dell'efficienza quantica di tali rivelatori si aggira attorno a 0,6%⁽³⁾. I massimi delle efficienze delle lastre usate in astronomia si hanno in corrispondenza a densità dell'ordine di 0,1 - 0,2; questi valori sono notevolmente bassi rispetto a quelli relativi alle piene esposizioni, quali si usano ordinariamente in astronomia e che variano nell'intervallo da 0,5 a 1,0, valori in cui una lastra fotografica tipica ha il massimo contrasto e dove è pressochè trascurabile l'effetto di non reciprocità. In questa zona si ottiene la massima informazione per una singola esposizione.

Per sfruttare i due valori ottimi si può pensare di eseguire varie esposizioni di corta durata (per trovarsi in condizioni di massima efficienza) equivalenti però in totale alla durata di una piena esposizione,

combinando poi i risultati mediante una sovrapposizione fotografica. In linea di principio, inoltre, non c'è ragione per cui il processo suddetto debba essere arrestato dopo un tempo determinato; idealmente la soglia di rivelazione varierebbe inversamente alla radice quadrata del numero di esposizioni combinate, quindi il procedimento può essere spinto fino al raggiungimento della soglia desiderata. In pratica questo processo non è realizzabile almeno per quanto riguarda gli usi astronomici.

Catodi fotosensibili

I tre fotocatodi più usati in astronomia sono: Sb-Cs-O(S11) che è il più comune ed è impiegato nell'esame della zona blu dello spettro, Ag-Cs₂O-Cs(S1), usato per osservazioni nel vicino infrarosso, i multialcali (S20) sviluppati da poco, con un largo interesse fisico ed astronomico per l'alta efficienza, la bassa emissione oscura e per il largo intervallo spettrale di sensibilità esteso fino al rosso.

Con le caratteristiche degli S20 è possibile la fotometria nei quattro colori standard: U, B, V, R; ciò è importante perchè gli indici di colore (V-R) e (U-B) sono meno sensibili dell'indice (B-V) all'effetto di blanketing.

Per quanto riguarda l'efficienza, se essa viene valutata in base al rapporto segnale-fondo oppure in base al rapporto fotoelettroni emessi-fotoni incidenti, la differenza è minima, in conseguenza del fatto che i fotocatodi si comportano da rivelatori quasi ideali. Il fatto fondamentale è che ciascun fotone è in grado di estrarre l'elettrone quindi il fenomeno fotoelettrico ci dà la possibilità di rivelare il singolo fotone permettendo così di realizzare l'optimum nel campo dei rivelatori di energia luminosa. In realtà le efficienze che si ottengono hanno valori molto diversi; i più alti raggiunti si aggirano attorno al 30-40%⁽⁴⁾; la dispersione dei valori è dovuta a molti fattori: la natu-

ra dei costituenti, le impurità, il trattamento termico, lo stato d'ordine e disordine dello strato, probabilmente il sistema cristallino dei microcristalli, lo spessore dello strato, la trasparenza del supporto di vetro, ecc.

Le apparecchiature astronomiche che impiegano fotocatodi sono principalmente due: gli intensificatori e i fotomoltiplicatori. A differenza delle lastre fotografiche, che conservano solo l'informazione spaziale i fotomoltiplicatori conservano solo quella temporale; invece gli intensificatori di immagini sono i rivelatori più completi in quanto conservano sia l'informazione spaziale che quella temporale del flusso luminoso incidente.

2.1 - GLI INTENSIFICATORI DEI VARI TIPI

Negli intensificatori di immagini si sfruttano da un lato le proprietà dei fotocatodi, con le loro elevate efficienze, per convertire l'immagine fotonica in un'immagine "elettronica", dall'altro lato le proprietà degli elettroni che possono essere accelerati, focalizzati, moltiplicati e quindi registrati con molta facilità.

Gli intensificatori possono essere classificati in vario modo a seconda della caratteristica principale a cui ci si intende riferire. Una suddivisione abbastanza ovvia e molto comune è fatta in base al meccanismo di uscita, che può essere di due tipi e quindi gli intensificatori possono essere suddivisi in due classi: 1) gli elettronografici, in cui i fotoelettroni vengono registrati direttamente su emulsioni opportune; 2) gli intensificatori con uscita a fosforo, in cui i fotoelettroni vengono convertiti in luce mediante uno schermo fosforescente d'uscita e quindi registrati con emulsioni fotosensibili.

In base al guadagno resta la stessa suddivisione, è però necessario suddividere il 2° gruppo in due sottogruppi: multistadi e ad emissione secondaria. In pratica, quindi, si possono distinguere tre gruppi di intensificatori: 1) gli elettronografici, nei quali si parla solo di "guadagno in velocità" relativamente ad emulsioni fotosensibili. Con ciò si intende la diminuzione del tempo necessario ad ottenere la stessa densità, a parità di sorgente. 2) Intensificatori multistadi, nei quali la uscita a fosforo permette di riferire il guadagno al rapporto tra il numero dei fotoni in uscita ed il numero di fotoni in ingresso. Questo gruppo comprende gli intensificatori in cui gli elettroni vengono moltiplicati una o più volte prima di essere registrati, attraverso una doppia conversione, prima in luce e quindi di nuovo in elettroni. 3) Intensificatori ad emissione secondaria. Nei rivelatori di questo gruppo la moltiplicazione degli elettroni viene ottenuta tramite una serie

di dinodi ad emissione secondaria. Per il guadagno in uscita si possono fare le stesse considerazioni fatte per il gruppo 2).

Ulteriori suddivisioni degli intensificatori con uscita a fosforo possono essere fatte in base al sistema impiegato nell'accoppiamento tra schermo fluorescente ed emulsione fotografica. Infatti, per aumentare la scarsa efficienza del sistema d'accoppiamento a lenti, sono stati realizzati tubi con uscita a mica, in cui il fosforo d'uscita è depositato su una sottile finestra di mica in modo che possa realizzarsi un accoppiamento diretto con l'emulsione fotografica.

Ultimamente sono state realizzate vantaggiosamente finestre di fibre ottiche con lo stesso scopo.

Un gruppo a parte di intensificatori di immagini è costituito dai tubi televisivi. Le sensibilità ed i tempi di memoria dei tipi adatti per usi astronomici sono paragonabili o maggiori di quelli di un monostadio con uscita a fosforo. I difetti principali nelle versioni attuali di questo tipo di intensificatore, risiedono nella interazione di elementi di immagine adiacenti e nel fondo introdotto dal fascetto elettronico di lettura; il vantaggio principale risiede nel fatto che il segnale video può essere teletrasmesso, digitalizzato, analizzato al calcolatore, ecc. Nonostante questa caratteristica, che però li rende praticamente insostituibili in esperienze con satelliti, palloni e lanci suborbitali, i tubi televisivi non sono attualmente competitivi con gli altri tipi di intensificatori nelle osservazioni astronomiche a terra anche se, a nostro avviso, si può prevedere un rapido sviluppo tecnologico per questi strumenti che avranno una diffusione sempre maggiore anche per le osservazioni astronomiche al suolo. Tuttavia, ora tratteremo in dettaglio solamente gli intensificatori che sono stati maggiormente impiegati in astronomia, riferendoci per la loro suddivisione al tipo di uscita.

Intensificatori elettronografici

Il principale tra gli intensificatori elettronografici è la "camera di Lallemand"⁽⁵⁾ che più si avvicina al rivelatore ideale ed è quindi il più adatto per usi astronomici. Infatti i singoli fotoelettroni uscenti dal fotocatodo vengono opportunamente accelerati e focalizzati su di una emulsione nucleare in modo che ciascuno venga registrato con una traccia di pochi granuli. Si possono ottenere così efficienze dell'ordine di 15-25% con linearità fino a densità dell'ordine di ~ 5 e dinamica fino a densità 6 e più. Inoltre, le lastre nucleari non presentano praticamente "inerzia" a bassi flussi nel grafico densità-esposizione.

E' banale il solito paragone circa il vantaggio rispetto alle normali lastre fotografiche usate in astronomia. Molti lati negativi, per la camera di Lallemand, sono invece di ordine strumentale; infatti il fotocatodo e le lastre nucleari si trovano nello stesso ambiente, quindi molte precauzioni ed operazioni sono necessarie per mantenere un vuoto sufficiente nell'ambiente ed evitare che i gas e i vapori emessi dalle lastre avvelenino il fotocatodo. In ogni caso per il recupero delle lastre è necessario far il rientro d'aria con la distruzione del fotocatodo ad ogni gruppo di esposizioni. Inoltre non è possibile prendere lastre per la prova di fuoco sia elettronico che ottico per una particolare preparazione, per cui estrema cura è necessaria in varie operazioni e soprattutto nella messa in posizione del fotocatodo e delle lastre dopo che l'ambiente è stato chiuso e vuotato. Altri inconvenienti sono dovuti all'ottica elettronica impiegata in questo genere di intensificatori, che è di tipo elettrostatico; in particolare il potere risolutivo, che è 80 lp/mm al centro, si riduce a 40 lp/mm ai bordi del campo.

Molti tentativi sono stati fatti con l'intento di eliminare questi difetti, soprattutto per quanto riguarda la sostituzione delle lastre

evitando di distruggere ogni volta il fotocatodo. A tal scopo Hiltner e Niklas⁽⁶⁾ hanno realizzato un tubo in cui il fotocatodo e le lastre si trovano in due ambienti separati da una sottile foglia di Al_2O_3 . In questo modo, con l'ausilio di precamere e vuoti dinamici è possibile preservare il fotocatodo per vari gruppi di esposizioni. Recentemente Kron⁽⁷⁾ ha costruito con successo una camera tipo Lallemand modificata, nella quale una valvola metallica ad alto vuoto viene usata per proteggere il fotocatodo durante la sostituzione delle lastre. Tutto il sistema può essere portato fino a 400°C di modo che il fotocatodo può essere formato in loco. In questo modo i fotocatodi possono essere mantenuti per alcuni mesi, la lente elettronica può essere accuratamente allineata per cui si possono raggiungere risoluzioni fino a 100 lp/mm. Anche in questo caso però è necessario il mantenimento di un vuoto dinamico e quindi di una preparazione di varie ore prima di ogni serie di esposizioni.

Un tubo elettronografico che supera anche questi inconvenienti, completamente chiuso sotto vuoto è stato costruito da Mc Gee⁽⁸⁾ et al. Si tratta di un tubo a focalizzazione elettromagnetica; in esso i fotoelettroni vengono accelerati fino a 40 KeV in modo che possono attraversare una opportuna finestra tipo Lenard ed uscire all'esterno del tubo. La finestra in questione è costituita da una sottile foglia di mica dello spessore di 4 μ ed ha una forma opportuna, in modo da resistere a pressioni superiori alla pressione atmosferica. I fotoelettroni che escono all'esterno vengono rivelati su di una emulsione nucleare depositata su un supporto di Melinex (Mylard) flessibile dello spessore di 10 μ ed appoggiata delicatamente alla finestra di mica. Circa il 75% degli elettroni di 40 KeV incidenti sulla finestra, l'attraversano con un'energia più probabile di 31 KeV, una distribuzione circa gaussiana e una larghezza a metà altezza di 10 KeV. L'efficienza di rivelazione dei fotoelettroni è quindi leggermente inferiore che nel caso dei tubi Lallemand e così pu

re il potere risolutivo che raggiunge le 80 lp/mm, ma la facilità di ma
novra, il fatto che il tubo è completamente chiuso, la lunga vita rendo
no il tubo di Mc Gee molto più utile in pratica.

La particolare forma della finestra (7mmx30mm) rende lo strumento parti
colarmente adatto per la rivelazione di spettri, tanto che gli è stato
dato il nome di "spectracon".

I difetti dello spectracon risiedono nella fragilità della finestra e
nel fatto che non si possono avere tutti i tipi di fotocatodo, in parti
colare il tipo S 20. Infatti nel tubo di Mc Gee il fotocatodo viene pre
parato in un ambiente separato e quindi trasportato nella sua posizione
finale all'interno del tubo, dopodichè il tubo viene chiuso.

Durante questa chiusura finale vengono espulse sostanze che avvelenano
certi tipi di fotocatodo. La causa dipende dal vetro impiegato nella co
struzione del tubo che d'altronde non può essere sostituito a causa del
la finestra di mica.

Un tubo che risolve anche questo inconveniente, perchè utilizza un
tipo di vetro che non espelle sostanze nocive ai fotocatodi durante la
chiusura e che permette tuttavia l'impiego di finestre di mica e la for
mulazione del fotocatodo in loco senza alterare le altre caratteristiche,
è stato recentemente realizzato da Habel e Marangoni⁽⁹⁾; ma di esso sa-
rà più diffusamente parlato in seguito.

Per ora in commercio non sono disponibili intensificatori elettronogra-
fici, ad esclusione di un tipo uscito molto recentemente costruito sul
modello Kron, del costo di 40.000 \$.

Intensificatori con uscita a fosforo

Come si è già detto in questo tipo di intensificatori gli elettro-
ni vengono rivelati dopo essere stati riconvertiti in fotoni in uno stra
to fosforescente d'uscita e quindi impiegando sistemi fotografici norma

li.

Se si fa il rapporto tra la luce totale emessa dallo schermo e quella incidente, che supporremo monocromatica e di lunghezza d'onda corrispondente al picco di sensibilità del fotocatodo, si possono ottenere guadagni dell'ordine di 50; ora, se si considera che la luce emessa dal fosforo ha una distribuzione lambertiana e se si tiene conto dell'assorbimento delle lenti, si ottiene che, per esempio per una lente di apertura $f/2,5$, solo il 2% della luce emessa dal fosforo arriva nel piano focale; cosicchè il guadagno in totale si riduce a 1. Questo tipo di tubo è adatto solo come convertitore, ossia nel caso che il fotocatodo sia sensibile ad una regione dello spettro diversa da quella visibile.

Nel caso della regione visibile per ottenere un effettivo guadagno si ricorre ad una moltiplicazione dei fotoelettroni prima della rivelazione. Negli intensificatori a cascata la moltiplicazione si ottiene con uno o più "sandwich" fosforo-fotocatodo. Quest'ultimi sono costituiti da un supporto sottile trasparente, in pratica mica dello spessore di 4μ sui due lati del quale sono depositati da una parte uno strato fosforescente e dall'altro un fotocatodo. Gli elettroni incidenti su un tale strato dal lato del fosforo attraverso una doppia conversione, vengono in pratica moltiplicati. Questo tipo di moltiplicazione ha caratteristiche piuttosto buone; si ottengono moltiplicatori dell'ordine di 50 per elettroni incidenti di 10 KeV, mentre la perdita in risoluzione, dovuta principalmente allo spessore del supporto e dello strato fosforescente, in definitiva risulta piuttosto scarsa.

Un intensificatore che contenga uno di questi moltiplicatori in pratica viene ad essere costituito da due intensificatori semplici in serie, per questo motivo viene nominato "bistadio". Sono stati costruiti intensificatori di tal genere fino a pentastadi, ma con lo sviluppo tecnologico ormai raggiunto le case costruttrici si limitano a tristadi essendo pos

sibile con essi rivelare fotograficamente i singoli elettroni uscenti dal primo fotocatodo.

In commercio si trovano intensificatori con diametro utile fino a 5 cm con ingrandimento unitario, a focalizzazione sia elettrica che magnetica, con risoluzioni di ~ 40 lp/mm per i bistadi e ~ 25 lp/mm per i tristadi.

Molto spesso le buone qualità di questi intensificatori vengono perdute in uscita nell'accoppiamento ottico tra il fosforo finale e l'emulsione fotografica, sia per quanto riguarda il guadagno che per il potere risolutivo. Ultimamente sono stati ottenuti ottimi risultati, per ciò che riguarda questo problema, con l'impiego di vetri d'uscita composti di fibre ottiche che possono essere costruite con diametri anche inferiori ai 6μ . Questo sistema si è diffuso solo ultimamente in quanto è stato per molto tempo coperto da segreto militare.

Un altro modo per risolvere il problema, è quello di impiegare una sottile finestra di mica in uscita, invece del supporto di vetro, con l'impiego di opportune emulsioni che aderiscono direttamente alla finestra.

Un altro sistema, impiegato soprattutto agli inizi, di moltiplicazione degli elettroni uscenti dal primo fotocatodo è quello dell'utilizzazione di dinodi ad emissione secondaria in trasmissione.

In relazione al sistema sandwich i dinodi ad emissione secondaria hanno nel complesso qualità inferiori, infatti, ad una miglior risoluzione finale a parità di guadagno totale, si contrappone una efficienza dieci volte inferiore, quindi una quantità maggiore di stadi, una perdita apprezzabile degli elettroni in ingresso nella struttura del dinodo ed infine un'altrettanto apprezzabile percentuale degli elettroni in ingresso attraversano il dinodo e non vengono più focalizzati. Come conseguenza di tutto ciò si ha un fondo notevole e una distribuzione estremamente ampia nell'intensità delle singole scintillazioni in uscita.

L'uscita per questo tipo di tubi è sempre su fosforo e per quanto riguarda l'accoppiamento ottico con l'emulsione fotografica valgono le stesse considerazioni fatte a proposito degli intensificatori pluristadi. In campo astronomico trovano impiego sia gli intensificatori elettrografici che quelli con uscita a fosforo; i primi con il vantaggio di avere elevati poteri risolutivi e di utilizzare lastre nucleari a risposta lineare, i secondi per la loro praticità e per l'elevato guadagno il cui vantaggio, soprattutto nella versione bistadio, non è compromesso dalla perdita in risoluzione.

2.2 - APPLICAZIONI ASTRONOMICHE DEGLI INTENSIFICATORI DI IMMAGINI DEI VARI TIPI

Gli intensificatori d'immagini si stanno rivelando come strumenti di uso sempre più frequente e le loro applicazioni in astronomia vanno coprendo tutti quei campi che erano proprio dei vari tipi di emulsioni fotografiche. Naturalmente ogni tipo di intensificatore è più adatto per determinate ricerche piuttosto che altre, ad esempio un intensificatore con uscita a fosforo con grande guadagno ma con scarso potere risolutivo è più adatto a compiere studi qualitativi su oggetti deboli che non un intensificatore di tipo elettrografico, il quale è più utilmente sfruttato per analisi quantitative dato che conserva la risoluzione d'ingresso, pur avendo un più limitato fattore di amplificazione.

Poichè i fotocatodi degli intensificatori attualmente in uso non hanno diametri maggiori di ~ 3 cm., queste dimensioni limitano per alcuni problemi il campo disponibile per cui le applicazioni più complete sono rivolte verso la spettroscopia astronomica dove la limitazione del campo non costituisce uno svantaggio drastico come in fotografia.

Le osservazioni spettroscopiche fino ad ora ottenute con l'uso de-

gli intensificatori d'immagini possono grossolanamente distinguersi in due categorie: quelle fatte con la camera elettronica hanno dato relativamente pochi spettrogrammi ma ognuno con un grande contenuto d'informazione; le osservazioni fatte con tubi a fosforo hanno avuto particolarmente successo in ogni ricerca sistematica di un gran numero di stelle in cui la riduzione del tempo di esposizione è stato il fattore principale.

Senza voler riportare tutte le osservazioni spettroscopiche fino ad ora effettuate con intensificatori d'immagini, che stanno diventando sempre più numerose, ci limiteremo a ricordarne alcune recenti e particolarmente significative.

Ad esempio, al Royal Observatory of Edinburgh⁽¹⁰⁾ è stato osservato con lo Spectracon costruito da Mc Gee un "interstellar feature" alla lunghezza d'onda di $4430 \overset{\circ}{\text{Å}}$. I risultati indicano chiaramente la presenza di una componente in emissione, sovrapposta alla ala blu dello spettro a $\lambda 4430$, estesa di $\sim 5\%$ sul continuo, rivelata solamente in quanto sono state usate le lastre a risposta lineare del tubo elettronografico mentre nelle precedenti ricerche fatte con emulsioni fotografiche non era stato possibile rivelare nessuna componente in emissione.

Allo spettrografo Coudé del telescopio Lick di 120 pollici è stata fatta un'analisi del moto di rotazione di varie galassie usando l'intensificatore del tipo Lallemand, alla dispersione di $48 \overset{\circ}{\text{Å/mm}}$.

Anche ora, grazie al grande range di densità delle emulsioni nucleari ed alla loro risposta lineare, è stato possibile rivelare che le larghe righe d'emissione che si osservano ordinariamente nelle regioni nucleari, sono in realtà dovute a nubi discrete di gas dotate di differenti velocità rispetto al nucleo⁽¹¹⁾.

Per quanto riguarda gli intensificatori con uscita a fosforo, il loro uso spettroscopico è ormai relativamente corrente per cui gli astronomi

si limitano ormai a citare solo brevemente, nelle loro ricerche, l'impiego di un convertitore d'immagini. La maggior parte delle applicazioni si è rivolta verso lo studio delle quasar per le quali un vantaggio notevole è nella sensibilità dei fotocatodi S 20 nella zona rossa dello spettro per cui è possibile avere spettri di quasar o radiogalassie fino a 7.600 \AA con un tempo di posa ragionevole. La misura dei red-shift di questi oggetti molto deboli è stata ottenuta con uno spettrografo e convertitore applicati nel 1° fuoco del telescopio 120" di Lick alla dispersione di 510 \AA/mm da Burbidge e da Kinman⁽¹²⁾.

Fin qui abbiamo visto alcune delle principali applicazioni in spettroscopia astronomica; gli intensificatori di immagini sono inoltre applicati, con risultati altrettanto positivi, in ricerche di fotografia diretta **astrofotografica**, pur con il difetto sostanziale di avere fotocatodi con dimensioni molto piccole, difetto che sarà eliminato in un prossimo futuro perchè si sta ora sviluppando una tecnologia che permetterà la costruzione di fotocatodi di $\sim 10 \text{ cm.}$ di diametro. Un vantaggio notevole è però nella possibilità di usare filtri interferenziali a banda molto stretta senza aumentare in modo impossibile il tempo di posa ed inoltre con il vantaggio di poter fare pose molto brevi di oggetti brillanti (pianeti o stelle doppie) e migliorarne notevolmente la qualità minimizzando gli effetti del seeing.

Anche in fotografia, come già per la spettroscopia, ci limiteremo a considerare alcune recenti e particolarmente interessanti applicazioni degli intensificatori di immagini.

Il vantaggio di poter disporre di emulsioni a risposta lineare è altrettanto utile in fotografia; come esempio basti citare il lavoro di Wlerick⁽¹³⁾ il quale ha determinato le dimensioni angolari di vari oggetti diffusi, tra cui quelle della galassia NGC 4051 su lastre nucleari prese con l'intensificatore di Lallemand all'Osservatorio di Haute Pro-

vence. I diametri ottenuti da Wlerik sono $d_1 = 0''.60 \pm 0''.30$ e $d_2 = 2''.00 \pm 0''.54$ mentre in precedenza, con i metodi fotografici classici, de Vancouleurs⁽¹⁴⁾ aveva stimato le dimensioni del nucleo di questa stessa galassia in $6''.5 \times 6''$.

All'Osservatorio di Cerro Tololo⁽¹⁵⁾ è stata compiuta una ricerca di fotometria fotografica da Walker con un intensificatore del tipo spec tracon di Mc Gee applicato ad un telescopio di 60" di apertura. I programmi di osservazione sono stati: le Nubi di Magellano e alcune nebulose planetarie non visibili dall'emisfero Nord; la ricerca sulle nebulose planetarie è stata compiuta con osservazioni fotografiche, con filtri interferenziali a banda stretta centrati su lunghezze d'onde di particolare importanza per questi oggetti (righe proibite di elementi più volte ionizzati, righe dell'elio) ed è stata possibile grazie alla riduzione dei tempi di posa per opera dell'intensificatore d'immagini: l'interesse di una ricerca di questo tipo è nell'aver ottenuto del materiale che consentirà di osservare le variazioni delle caratteristiche fisiche di questi oggetti (fra alcune decine di anni), così come si è già fatto per le nebulose planetarie dell'emisfero Nord.

La ricerca sulle Nubi di Magellano è stata, dal punto di vista relativo all'argomento del nostro rapporto, ancor più interessante perchè sono state determinate le magnitudini limiti del telescopio di 60" + Spectra con nei tre colori UBV della fotometria fotografica. Con le tecniche ottiche convenzionali non era possibile scendere al di sotto di una magnitudine $V=18 \div 19$ (corrispondente a $M_V \sim -1 \div 0$) per le nubi di Magellano; Walker ha ottenuto immagini di stelle molto più deboli: $V=23.2$; $B=23.5$ con un errore probabile molto piccolo.

In confronto, si pensi che il telescopio da 200" di Polomar arriva, senza intensificatore, ad una magnitudine limite $V=22.9$ e $B=23.8$ (stelle in M13), con una minore precisione della misura. Questo risultato fa

concludere a Walker che "il costo di un milione di dollari richiesto per sviluppare un tubo del diametro utile di 4 pollici è minore di quello richiesto per costruire un solo nuovo telescopio di apertura almeno 100 pollici, tuttavia il risultato, per la fotometria, sarebbe quello di trasformare ogni strumento esistente di 60 pollici in un grande 200 pollici!"⁽¹⁶⁾

Nella fotometria o spettroscopia infrarossa i vantaggi sono ancora più notevoli, dato il rapporto di centinaia di volte nelle efficienze quantiche dei fotocatodi S 1 rispetto alle migliori emulsioni infrarosse. Negli osservatori astronomici dotati di una strumentazione elettronica per misurare infrarosse si compiono ricerche sistematiche in tutta la banda di lunghezze d'onda compresa tra $7 + 8.000$ e 11.000 \AA che era precedentemente poco studiata dati i proibitivi tempi di esposizione. In Unione Sovietica⁽¹⁷⁾ è stata fatta la mappa dello spettro di emissione del cielo notturno alla dispersione di 100 \AA/mm ; astronomi solari, a Monte Wilson⁽¹⁸⁾, hanno fatto spettroeliogrammi alla $\lambda 10.830 \text{ \AA}$ dell'He I ed osservazioni fotografiche delle righe coronali del Fe XIII a $\lambda 10.747$ e 10.798 .

Ma le maggiori applicazioni nell'infrarosso sono le ricerche di astronomia stellare che sono state fatte, o programmate, in gran numero su oggetti dei più vari tipi. In questo campo, ancora non studiato come il visibile, vi sono, fra le altre, ricerche ai fini di classificazione di spettri⁽¹⁹⁾, ricerche sistematiche su certi gruppi di stelle (spettri infrarossi di quasar ed oggetti blu deboli) e ricerche dettagliate su oggetti particolari (per es. spettri fino a 11.000 \AA della nebulosa di Orione⁽²⁰⁾).

Concluderemo questo paragrafo citando alcune delle ricerche che si svolgono o sono programmate in Italia. Praticamente l'unico Osservatorio Astronomico Italiano che abbia in dotazione un intensificatore d'immagini è quello di Asiago dove c'è un convertitore RCA costruito in piccola

serie per la Carnegie Institution of Washington; all'Osservatorio Astronomico di Merate è stato recentemente messo a punto un intensificatore elettronografico del tipo Spectracon, completamente progettato e costruito in Italia nei laboratori di Frascati del CNEN. L'intensificatore di Asiago ha consentito di estendere gli studi caratteristici di quell'Osservatorio a magnitudini stellari più deboli, citeremo per esempio lo studio di spettri di stelle novae fino a fasi molto avanzate, non possibili in precedenza per mancanza di un rivelatore sufficientemente potente (la Nova Delphini è stata osservata da Mammano e Rosino praticamente per tutta la fase successiva all'esplosione del luglio 1967, sia con mezzi ottici che elettronici, e costituisce l'esame spettroscopico più esteso di un fenomeno novoide). Le ricerche spettroscopiche fatte ad Asiago su stelle in contrazione, su stelle Bw ed Ap, su stelle della nebulosa di Orione ed in ammassi giovani vengono estese a stelle più deboli. Lo intensificatore d'immagini di Asiago sarà usato in fotografia per compiere ricerche su ammassi dei vari tipi, quasar, oggetti blu, ecc.⁽²¹⁾

I programmi di ricerca dell'Osservatorio Astronomico di Merate sono descritti in modo più dettagliato nel successivo paragrafo 3.2).

3.1 - DESCRIZIONE DELL'INTENSIFICATORE DI MERATE

L'Osservatorio Astronomico di Brera ha in dotazione, presso il suo centro di Merate, un intensificatore elettronografico del tipo Spectracon. Si tratta dell'unico intensificatore del genere costruito in Italia e precisamente presso il Laboratorio Tecnologico del CNEN a Frascati.

L'intensificatore in questione è stato costruito sfruttando in gran parte la tecnica già messa a punto da alcuni anni presso il suddetto laboratorio per la costruzione di intensificatori multistadi con uscita a fosforo. Il modello è analogo allo spectracon di Mc Gee e la costruzione è stata soprattutto improntata alla luce di un modello più realizzabile industrialmente ed alla eliminazione dei difetti presentati dal modello di Mc Gee.

Il tubo è stato costruito saldando insieme alternativamente anelli di Kovar e di vetro in un forno ad induzione. In tal modo è stato possibile ottenere un'alta precisione sia nella spaziatura che nell'allineamento degli elettrodi in modo che il campo elettrico risulta molto uniforme, inoltre si è impiegato un vetro (Shott n° 8482) che permette degasamenti sotto vuoto fino a 350°C e quindi in pratica non degasa durante la saldatura finale; gli anelli di vetro, separati l'un l'altro da quelli di metallo, non producono aumento del fondo a causa della moltiplicazione per urto sulle pareti e viene evitata la deformazione del campo elettrico, conseguente alla formazione di cariche statiche sulle pareti, che di solito produce un dannoso spostamento dell'immagine durante la esposizione.

Per poter adattare i diversi coefficienti di dilatazione tra finestra di mica e la flangia finale di Kovar è stato realizzato un opportuno "passaggio" di titanio che ha dato ottimi risultati.

Inoltre una serie di prove ha portato alla realizzazione di finestre di mica di 4 μ di spessore e di area 7mm x 30mm con limite minimo di rot-

tura di 4 Kg cm^{-2} .

Il fotocatodo è stato formato direttamente all'interno del tubo sulla finestra d'ingresso. Le parti metalliche all'interno del tubo sono annerite, gli anelli elettroliticamente e la flangia d'uscita con evaporazione d'alluminio in basso vuoto, per evitare lo scattering all'indietro della luce che attraversa il fotocatodo.

Le altre caratteristiche possono così essere riassunte:

Fotocatodo	$\text{Cs}_3 \text{ Sb-0}$	superficie piana
risposta spettrale	S 11	
Sensibilità	15	$\mu\text{A/lm}$
guadagno in velocità	10	rispetto alla Kodak 103a-0
risoluzione	80 lp/mm	su Ilford G5
coefficiente di distorsione ad S	$\Delta \psi / r^2 = 3,3 \cdot 10^{-4}$	rad/mm^{-2}
fondo	dopo 1 ora di esposizione a 20°C ,	densità=0,2
area utile	5 mm x 27 mm	
focalizzazione	elettro-magnetica	
tensione alimentazione	40 KV	
campo magnetico	~ 140 Gauss	
resistenza del partitore	180 M Ω	
lunghezza	30 cm	
n° di elettrodi	31	
diametro esterno	58 mm	
pressione interna	10^{-9} mm Hg	

Il tubo è ricoperto all'esterno da uno strato di corona-dope nera e da uno di gomma al silicone.

La scarsa sensibilità del fotocatodo rappresenta solo un caso sfortunato, infatti fotocatodi con sensibilità di 30-40 $\mu\text{A/lm}$ sono stati realiz

zati in tubi simili presso lo stesso laboratorio.

Il campo magnetico è realizzato con un solenoide compensato, in piattina di alluminio per questioni di peso. Gli alimentatori sia di tensione che di corrente hanno una stabilità a lungo termine di 10^{-3} e vengono controllati con una sensibilità di 10^{-4} .

La macchina foto è stata realizzata con particolari caratteristiche di praticità. La forma è molto simile a quella di una normale macchina fotografica senza obiettivo con caricamento per mezzo di rollini; il numero di pose è limitato solo dalla lunghezza della pellicola che, nel caso della Ilford, permette di compiere ~ 20 esposizioni. Le varie pose vengono cambiate pneumaticamente.

L'emulsione, Ilford G5 su supporto di Melinex di 10μ di spessore, viene fatta aderire sulla finestra tramite una sottile membrana di gomma compressa a 0,2 Atm. che assume la stessa curvatura e forma della finestra di mica. Per evitare effetti corona o scariche sulle parti metalli che della macchina foto che in condizioni di lavoro si trova a 40 KV ed in ambiente particolarmente umido, è stato costruito un apposito elettrodo che produce una zona di spazio equipotenziale nella regione occupata dalla macchina foto.

La vita di questi tubi sembra essere particolarmente lunga; in un prototipo, dopo un anno, non si sono notati abbassamenti di sensibilità, tutte le prove sono state effettuate con pellicola microfile, anzichè G5 con supporto adatto, senza che la mica subisse conseguenze.

Purtroppo, motivi indipendenti dalla nostra volontà non permettono, nelle attuali condizioni, un rapido sviluppo dell'apparato; tuttavia, da un punto di vista teorico, nulla impedisce l'impiego di tutti gli altri fotocatodi noti in questo tipo di realizzazioni ed inoltre la fattibilità, ormai a livello industriale, permetterebbe un impiego ben più vasto.

3.2 - PROGRAMMI DI RICERCHE ASTRONOMICHE, CON LO SPECTRACON DI MERATE.

L'intensificatore d'immagini, descritto nel paragrafo 3.1, è sistemato attualmente all'Osservatorio Astronomico di Merate dove il nostro gruppo l'ha adattato per le applicazioni astronomiche e lo sta utilizzando in tal senso.

Il telescopio a cui è stato applicato l'intensificatore ha uno specchio di diametro 137 cm, in montatura quasi-Cassegrain con possibilità di uscita dell'immagine dai lati Est o Ovest della forcella⁽²²⁾.

L'applicazione è stata studiata sia per fotografia diretta che per spettroscopia. Dato però che il fuoco Cassegrain non è molto adatto a ricerche fotografiche per la sua lunga focale e per la limitazione dovuta alle dimensioni della finestra di mica dell'intensificatore, per l'applicazione fotografica ci siamo limitati a costruire una flangia d'attacco provvisoria, con la quale è comunque possibile compiere osservazioni fotografiche. Con questa sistemazione ci proponiamo di analizzare le variazioni di luminosità, più o meno rapide, di oggetti peculiari quali i nuclei Seyfert, quasar ed oggetti blu.

Per quanto riguarda l'applicazione spettroscopica abbiamo deciso di sfruttare in un primo momento lo spettrografo Galileo ad a prisma, di piccola dispersione ($\sim 240 \text{ \AA/mm}$ ad $H \gamma$), già in dotazione dell'Osservatorio Astronomico di Merate; per questa sistemazione è stato necessario studiare una montatura specifica e costruire un magnete in materiale leggero, dato che questo è posto a sbalzo fuori dalla forcella Ovest del telescopio.

La parte strumentale riguardante l'applicazione dell'intensificatore allo spettrografo, ed il buon funzionamento del complesso spettrografo-intensificatore alle condizioni di temperatura e di umidità della cupola è stata recentemente terminata.

Prima di passare alla raccolta degli spettri per lo svolgimento dei pro

grammi di ricerca, di cui diremo subito, stiamo ora osservando alcune stelle standard di vario tipo spettrale e classe di luminosità per determinare sperimentalmente le caratteristiche dello strumento in relazione alle future osservazioni.

Passeremo quindi all'analisi osservativa di problemi che già costituiscono oggetto di studio da parte del gruppo di astrofisica teorica del Laboratorio; più precisamente, ci rivolgiamo all'analisi di stelle in particolari fasi della evoluzione stellare. Infatti, costituiscono oggetto delle nostre ricerche spettroscopiche le stelle variabili e in particolare i fenomeni a rapida variazione. Inoltre le stelle variabili degli ammassi giovani fra cui principalmente le supergiganti di tipo semiregolare fra cui quelle dell'ammasso η e χ Persei, per le quali abbiamo già proposto un'interpretazione teorica delle loro caratteristiche fisiche (età, composizione chimica, massa) nel quadro dell'evoluzione degli ammassi galattici⁽²³⁾. Contemporaneamente, studieremo le fasi finali della evoluzione di stelle di piccola massa, compiendo una survey osservativa, il più possibile completa, delle stelle centrali di nebulose planetarie, spingendoci fino alla magnitudine limite della strumentazione descritta. Interessa in particolare anche il problema dei collegamenti evolutivi di questi oggetti con altri tipi in fase evolutiva meno avanzata, cioè in pratica tra nuclei giovani di nebulose planetarie (del tipo II 4997, per la quale è stata data un'età di soli 170 anni) e stelle simbiotiche. Dal punto di vista teorico è già stato proposto un legame molto stretto tra questi due tipi di stelle che, è bene ricordare, occupano zone molto diverse del diagramma HR, lasciando così pensare ad una evoluzione molto rapida. Poiché sia le stelle centrali delle nebulose planetarie che le stelle simbiotiche presentano uno spettro ricco di componenti in emissione ed in assorbimento, lo studio che ci proponiamo di compiere è particolarmente adatto ad essere fatto con emulsioni a rispo

sta lineare ed a grana molto fine (nucleari), con le quali speriamo di poter rivelare differenze di densità fotografica molto piccole sia rispetto al continuo che tra riga e riga; a questo proposito sarà interessante vedere se è possibile correlare l'età degli oggetti in esame con il rapporto di intensità tra le righe H_{γ} ed $[OIII] \lambda 4363$, pur disponendo di uno spettrografo a bassa dispersione.

Per compiere l'analisi degli spettri stellari che prenderemo nel corso di questa, e di altre ricerche di spettroscopia, sarà necessario dotare il Laboratorio di un microfotometro di buona qualità, indispensabile per la riduzione di spettri stellari; date inoltre le caratteristiche delle emulsioni nucleari che useremo si dovrà ricorrere ad un modello di microfotometro molto fedele, per non perdere l'informazione raccolta nelle emulsioni.

Possiamo quindi riassumere nel seguente prospetto i nostri attuali programmi di osservazioni astronomiche con la strumentazione elettronografica da noi sviluppata e messa a punto presso l'Osservatorio Astronomico di Merate:

A) Fotometria elettronografica

Variazioni ottiche di oggetti peculiari, nuclei Seyfert, quasar ed oggetti blu

B) Spettroscopia a bassa dispersione

Osservazione di stelle standard spettroscopiche

Stelle variabili rapide

Stelle variabili degli ammassi giovani (fra cui le semiregolari di η e χ Persei)

Nuclei di nebulose planetarie

Stelle simbiotiche

3.3 - Prospettive e sviluppi futuri

Lo sviluppo tecnologico e le applicazioni astronomiche dell'intensificatore d'immagini verranno da noi proseguiti seguendo contemporaneamente alcuni indirizzi di ricerca, compatibilmente con le future disponibilità di personale e di fondi.

Dal punto di vista tecnologico, cercheremo innanzitutto di sviluppare alcuni modelli di intensificatore con fotocatodi a risposta spettrale del tipo S1 ed S20 per la realizzazione dei quali non ci dovrebbero essere molte difficoltà dato che il problema della formazione "in loco" del fotocatodo è già stato risolto. Inoltre è nostra intenzione studiare l'applicazione dell'intensificatore elettronografico ad uno spettrografo di media dispersione appositamente progettato, con possibilità di applicazione ai maggiori telescopi italiani. Contemporaneamente, verrà proseguito lo studio dell'applicazione di tubi televisivi alle osservazioni astronomiche, sfruttando sia l'esperienza di progettazione e sviluppo portata avanti a Frascati e sia l'esperienza di ricerca già conseguita dal gruppo di Torino nello studio di sciami estesi dei raggi cosmici con tecniche televisive.

In questo modo verrà assicurata la possibilità di compiere molte ricerche astronomiche sia di tipo fotografico che spettroscopico a piccola e media dispersione.

Senza voler già dare ora dei programmi dettagliati di ricerca, dei quali è prematuro parlare, riportiamo nel seguente prospetto un quadro sintetico dei programmi che intenderemo sviluppare con le tecniche elettroniche. Queste ricerche costituiscono lo sviluppo naturale di quelle di cui già ora ci stiamo occupando sia con l'attuale strumentazione elettronica e sia con le consuete tecniche fotografiche.

A) Tecnologia

- Intensificatore con fotocatodo S1
- Intensificatore con fotocatodo S20
- Progetto di spettrografo a media dispersione
- Sviluppo di intensificatori di tipo televisivo

B) Fotometria elettronografica

- Fotometria infrarossa di oggetti peculiari sia galattici (nebulose planetarie, stelle in presequenza, ecc.) sia extragalattici (nuclei Seyfert, quasar, ecc.)
- Fotometria a più colori con filtri a banda stretta di oggetti variabili e peculiari

C) Spettroscopia a piccola e media dispersione

- Spettri di oggetti deboli galattici ed extragalattici (nebulose planetarie, quasar, oggetti blu, ecc.) estesi nell'infrarosso
- Analisi quantitativa di stelle peculiari
- Analisi fine isotopica.

Per finire, vogliamo ancora accennare alla possibilità di utilizzare il nostro intensificatore d'immagini, che, ricordiamo ancora una volta, è frutto di una esperienza tecnologica totalmente italiana, in collegamento al telescopio di diametro 3,50 m. dell'Osservatorio Astronomico Nazionale di prossima costruzione. Questa possibilità è, per il momento, vista solo in prospettiva ma evidentemente un'applicazione di questo tipo comporta un'analisi accurata delle caratteristiche dello spettrografo più opportuno per questo tipo di ricerche. L'applicazione dell'intensificatore d'immagini elettronografico al telescopio di diametro 3,5 metri dell'Osservatorio Astronomico Nazionale comporterà dei vantaggi che è quasi superfluo citare ora; basterà ricordare che in questo modo non sarà preclusa nessuna possibilità di inserimento, o di sviluppo originale, nella problematica della ricerca astronomica internazionale di interesse attuale.

BIBLIOGRAFIA

- 1) - Baum W.A., "Astronomical Techniques", 1962 .
- 2) - Bowen I.S.; Astrophys. Journ., 116, 1, 1952.
- 3) - Kodak Data Book.
- 4) - Zworykin V.K., Ramberg E.G.; "Photoelectricity", 1956.
- 5) - Lallemand A., Duchesne M., Wlerick G., "Advances in Electronics and Electrons Physics" Vol. 12, pag. 5, 1960.
- 6) - Hiltner W.A., Niklas W.F.; "Advances in Electronic and Electron Physics" Vol. 16, pag. 37, 1962.
- 7) - Kron G.E., Papiashvili I.I.; "Adv. in Electr. and Electron Physics" Vol. 22A, Pag. 59, 1966.
- 8) - Mc Gee J.D., Khogali A., Ganson A., "Adv. in Electr. and Electron Physics" Vol. 22A, p. 11, 1966.
- 9) - Habel R., Marangoni G.; "Journ. of Scient. Instrum." Series 2, Volume 2, pag. 751, 1969.
- 10) - Brand P.W.J.L., Wolstencroft R.D., "Adv. in Electr. and Electron Physics" Vol. 28B, pag. 783, 1969.
- 11) - Walker M.F.; "Advances in Electronics and Electron Physics" Vol. 22B, pag. 761, 1966 .
Inoltre: Astrophys. Journ. 147, 407 (1967); Astrphys. Journ. 149, 481 (1967).
- 12) - Burbidge E.M., Kinman T.D.; Astrophys. Journ. 145, 654 (1966).
- 13) - Wlerick G., "Advances in Electronics and Electron Physics" Vol. 28B, pag. 787, 1969.
- 14) - De Vancouleurs G., De Vancouleurs A.; Publ. Astr. Univ. Texas, 2, n. 7, 1968.
- 15) - Walker M.F.; Astrophys. Journ. 161, 835, 1970.
- 16) - Walker M.F.; Sky and Telesc., 40, 132, 1970.

- 17) - Volkov I.V., Esipov V.F., Shcheglov P.V.; Dokl. Akad. Nauk. SSSR, 129, 288, 1959.
Inoltre, Soviet Astron. A.J., 6, 253, 1962
- 18) - Zirin H., Howard R., Astrophys. Journ. 146, 367, 1967.
- 19) - Mc Carthy M.F., Treanor P.J., Ford W.K., "Colloquium on Late type stars" p. 100, 1967.
- 20) - Esipov V.F., Sheheglov P.V.; Soviet Astr. A.J. 5, 414, 1961.
- 21) - Atti del XIV Congresso della S.A.It., Trieste, 1970.
- 22) - De Mottoni G., Contrib. Oss. Astr. Milano, n. 315, 1969.
- 23) - Ferrari A., Galeotti P. Silvestro G. Trussoni E.; Astrophys. Space Sci., 9, 181, 1970.