Proposta di studio di fattibilità di un perforatore di fenditure e di un grism a dispersione $\simeq$ 500 Amm^{-1} per lo spettrografo LDS del Telescopio Nazionale Galileo

Enrico V. Held, M. Ramella, S. Cristiani – Aprile 1995

Come ricordato nella recente pubblicazione *TNG Instrument Plan: II* (F. Fusi Pecci, G. Stirpe, V. Zitelli 1994), tra gli obiettivi più importanti perseguibili con lo spettrografo a bassa risoluzione LDS di Galileo vanno considerate le osservazioni spettroscopiche di *galassie deboli di campo*, di galassie in *ammassi lontani* e di *archi gravitazionali*, anch'essi presenti in ammassi di galassie. Lo scopo ultimo di queste osservazioni è quello di determinare le caratteristiche dinamiche, di evoluzione e di distribuzione su grande scala delle galassie e della materia oscura ad esse associata e di confrontare queste osservazioni con le predizioni dei modelli cosmologici.

L'attuale configurazione di LDS per la spettrografia multi-oggetto a bassa risoluzione prevede un sistema di 19 fenditure prodotte dall'accostamento di 38 piastrine metalliche di altezza pari a $23''$ in un campo utile di $\simeq 9' \times 6'$, e la minima dispersione è 220 Å mm^{-1} ($\simeq$ 3.3 Å pixel^{-1}), in grado di dare una risoluzione spettrale di $\simeq$ 10 Å con una fenditura di $1''$.

Tale configurazione standard di LDS presenta vari vantaggi, quali la possibilità di variare la configurazione delle micro-fenditure in tempo reale ed in modo remoto, e ben si adatta ad osservazioni di un numero limitato di oggetti o di ammassi a redshift non troppo elevati ($z < 0.2$). Tuttavia, per diverse osservazioni chiave di interesse cosmologico, questa soluzione non è ottimale. Proponiamo in questo documento alcune integrazioni al progetto di LDS che riteniamo importanti per ampliarne il campo di utilizzo.

a) Attualmente è previsto sulla tavola situata al piano focale di LDS un supporto per una singola maschera multi-fenditure ("aperture plate"). Le aperture plates costituiscono un "back-up" semplice ed affidabile del sistema principale di fenditure (che è innovativo e piuttosto complesso), e come tali sono entrate nella definizione delle specifiche del progetto LDS da parte della commissione scientifica. Riteniamo sia opportuno dare inizio alla ricerca dell'utensile destinato ad incidere le fenditure sulle "aperture plates". Si dovrà trattare di un utensile di precisione controllato da calcolatore in grado di produrre micro-fenditure di altezza minima non superiore a $\simeq 8''$ e larghezza $>\sim 1''$. Un punto molto importante è che quasi tutti i programmi scientifici per i quali è fondamentale l'adozione di aperture plates richiedono ottime sottrazioni del cielo e, in generale, che sia contenuto al massimo il rumore dello spettro. Poichè le irregolarità dei bordi delle fenditure generano rumore (vedi p.es. Pierre *et al.* 1994, ESO Messenger 78, 24), bisogna disporre di maschere di adeguata rigidità e di un utensile che perfori le fenditure con tolleranze molto strette sulle irregolarità. Per esempio al CFHT/MOS le irregolarità dei bordi delle fenditure sono di 2μ rms e l'errore di posizionamento delle fenditure stesse è inferiore a 4μ.

b) Oltre alla semplice funzione di "back-up", l'uso di maschere perforate può essere complementare e in certi casi vantaggioso rispetto al sistema standard. Di conseguenza proponiamo di portare a tre o quattro il numero di "aperture plates" da posizionare a scelta nel piano focale; la fattibilità tecnica è già stata discussa informalmente con P. Conconi, P.I. del progetto LDS. I tempi di posa per galassie a R $\simeq$ 20.5 sono dell'ordine dell'ora e mezza, a cui bisogna aggiungere il tempo richiesto per il puntamento del telescopio, l'allineamento maschere con il campo, le calibrazioni, la lettura del CCD. Ne consegue che nel corso di una notte si possono esporre al massimo tre – quattro aperture plates. Quindi un supporto che possa montare contemporaneamente tre-quattro aperture plates non avrebbe bisogno di essere toccato nel corso di una notte di osservazione, a tutto vantaggio dell'efficienza delle osservazioni.

c) Infine, per ottimizzare LDS all'osservazioni di galassie molto deboli, proponiamo l'acquisto di un grism con una dispersione di $\simeq$ 500 Å mm^{-1} ed una corrispondente risoluzione spettrale di $\simeq$ 20 Å con una fenditura da $1''$. Un filtro con banda passante $\simeq$ 4200 Å – 8200 Å permetterà di aumentare il numero di micro-fenditure su una singola aperture plate. Queste proposte sono discusse in dettaglio nella giustificazione scientifica che segue.

Motivazioni scientifiche per l'adozione di aperture plates e di un grism a dispersione $\simeq$ 500 Amm^{-1} su LDS

Aperture plates. Varie differenze rendono un sistema di fenditure su aperture plate complementare e in certi casi vantaggioso rispetto al sistema di fenditure mobili previsto per LDS:

a) la dimensione minima delle fenditure perforabili su aperture plate, che può essere più piccola di $23''$, fino ad un minimo di $2''$, a seconda dell'utensile scelto per la perforazione;

b) l'arbitrarietà di scelta dell'altezza di ogni singola fenditura al di sopra dell'altezza minima;

c) l'arbitrarietà di posizionamento di ogni singola fenditura nel campo, a parte l'ovvio vincolo che le proiezioni delle fenditure lungo la direzione perpendicolare alla dispersione non si sovrappongano.

Grazie alle caratteristiche appena elencate, si possono osservare molti più oggetti con una aperture plate di quanti non sia possibile osservare con un sistema di 19 fenditure alte $23''$, a parità di tempo totale di esposizione.

Le osservazioni di galassie *distanti* dei programmi di interesse cosmologico eseguibili con TNG/LDS necessitano effettivamente delle caratteristiche di posizionamento e dimensionamento delle fenditure ottenibili solo con le aperture plates.

Il primo caso da considerare è quello di osservazioni di galassie di campo che siano a distanze z $>\sim$ 0.3, ma sufficientemente brillanti da poterne misurare il redshift con spettri ottenuti in $\sim<$ 2 ore alla risoluzione di $\simeq$ 10 Å. Ricordiamo che il redshift è generalmente l'informazione minima che si vuole ricavare dall'osservazione dello spettro di una galassia, e che per farlo occorre uno spettro con un rapporto S/N $>\sim 10$.

Osservazioni di questo tipo sono quelle eseguite da de Lapparent *et al.* (1993; ESO Messenger 72, 34) nell'ambito del loro ESO Key-Programme. Le osservazioni di de Lapparent *et al.* sono rilevanti per TNG/LDS poichè sono state eseguite con NTT/EMMI/MOS, che è una catena strumentale estremamente simile a quella TNG/LDS. Ricordiamo infatti che EMMI/MOS/RILD con la camera f/2.5 (recentemente sostituita) aveva un campo utile di $5' \times 8'$ su di un CCD 2048^2 con pixel di 15μ, una scala $0.35''$ pixel^{-1} ed una risoluzione di 10 Å con il grism n.2 (dispersione 246 Å mm^{-1}). Le dimensioni minime delle fenditure perforabili sulle maschere per EMMI/MOS erano di $1''\!.3 \times 8''$.

Il campione di galassie di campo di de Lapparent *et al.* arriva alla magnitudine limite R = 20.5. A questa profondità ci sono in media $\simeq 40$ galassie in un campo di $10' \times 10'$. I tempi di esposizione tipici sono dell'ordine di un'ora e mezza alla risoluzione di $\simeq 10$ Å. Il picco della distribuzione in redshift di queste galassie cade a $z \simeq 0.3$.

La magnitudine R = 20.5 è critica per un survey di galassie di campo. Già con 40 galassie per campo e tutta la flessibilità di posizionamento delle fenditure EMMI/MOS è difficile riuscire a osservare contemporaneamente più di $\simeq 20$ galassie (in una maschera MOS si possono perforare circa 50 fenditure della dimensione minima).

E' quindi evidente che 19 fenditure di $23''$ con un grado di libertà di posizionamento in meno di quelle disponibili sulle aperture plates non sono adatte a permettere un survey a magnitudini R $>\sim 20.5$, a maggior ragione se si tiene conto del fatto che è molto improbabile che si riescano a posizionare tutte le 19 fenditure su delle galassie, anche in campi con almeno 40 galassie. Sarebbero quindi necessarie più esposizioni con diverse configurazioni delle fenditure per completare l'osservazione di un singolo campo. Tuttavia il numero di galassie che si possono mettere in fenditura decresce molto rapidamente ad ogni successiva esposizione dello stesso campo (p.es. Ellis & Parry 1988 in *Intrumentation for Ground-Based Optical Astronomy* L.B. Robinson Ed., Springer-Verlag, p. 203), il che rende questa strategia abbastanza inefficiente.

Il maggior numero di fenditure e il grado di libertà in più nel loro posizionamento sulle aperture plates sono quindi vantaggiosi per i programmi di survey profonde di galassie di campo. Si deve anche ricordare che per survey meno profonde LDS dovrà affrontare la concorrenza di spettrografi, presto operativi, con $>\sim 300$ fibre su campi di circa un grado quadrato, mentre uno strumento come LDS sarà competitivo soprattuto alle magnitudini più deboli.

Un altro caso in cui l'uso delle maschere perforate presenta dei vantaggi sul sistema standard di 19 fenditure di altezza fissa è quello della spettroscopia delle galassie di un ammasso di galassie con $z \geq 0.3$, un obiettivo di interesse cosmologico e ottimale per un "imaging spectrograph".

Per chiarire quali siano la scala angolare e il numero di galassie di un ammasso a z $>\sim 0.3$ si può considerare Cl 1358+6245 (z = 0.327), studiato spettroscopicamente da

Fabricant *et al.* (1991; ApJ 381, 33) alla risoluzione spettrale di $\simeq 20$ Å con le seguenti configurazioni strumentali: MMT/FOGS alla dispersione di $\simeq 5$ Å pixel^{-1} (Geary *et al.* 1986, Proc. SPIE 627, 509) e MMT/Red Arm Spectrograph (Schmidt *et al.* 1989, PASP 101, 713) alla dispersione di 3.6 Å pixel^{-1}. Entrambi gli spettrografi sono dotati di CCD TI 800×800 e danno una risoluzione $\simeq 20$ Å con fenditure di $2''$ di larghezza perforate su aperture plates con campo utile di $1' \times 3\!'\!.5$.

Il raggio del nucleo dell'ammasso è di $\simeq 1'$ mentre tutta la popolazione è contenuta entro un raggio di $\sim< 6'$($\simeq 2$ Mpc con $H_o = 50$ km sec^{-1} Mpc^{-1}, $q_o = 0.5$). L'ammasso è quindi quasi interamente contenuto entro il campo di LDS. La popolazione totale è di circa 450 galassie alla magnitudine limite R = 23. Circa il 30% della popolazione totale dell'ammasso dista meno di $2'$ dal centro. Fabricant *et al.* hanno misurato il redshift di circa 60 galassie più brillanti di R = 21.5 e situate tutte entro $2'$ dal centro dell'ammasso. I tempi di posa sono stati di 2-3 ore per aperture plate.

Grism a bassissima risoluzione. Le precedenti considerazioni sull'opportunità di disporre su LDS di aperture plates sono state fatte sulla base di programmi di osservazione di galassie intrinsecamente brillanti ($L \simeq L_*$) con redshift nell'intervallo $0.3 \sim< z \sim< 0.5$. Per galassie brillanti ancora più distanti, e quindi cosmologicamente più interessanti, la minima dispersione attualmente contemplata per LDS non è sufficientemente bassa. Lo stesso vale per le osservazioni di galassie ancora relativamente vicine ma deboli, o comunque di bassa brillanza superficiale, e per gli archi gravitazionali. Per osservare questi oggetti occorre una risoluzione spettrale di $\simeq 20$ Å con una fenditura di $1''$. Questa risoluzione si può ottenere dotando LDS di un grism che produca una dispersione di $\simeq$ 500 Å mm^{-1} (o $\simeq 7$ Å pixel^{-1}).

Una configurazione strumentale telescopio 4m + imaging spectrograph + aperture plates + grism a bassissima dispersione simile a quella che proponiamo è disponibile al 4m CFHT con lo strumento MOS descritto da Le Fèvre *et al.* (1994; A&A 282, 325). Il grism a più bassa risoluzione disponibile al CFHT/MOS (f/2.8) è il V150 a 487 Å mm^{-1} (7.3 Å pixel^{-1}) che dà una risoluzione spettrale di 21 Å con una fenditura di $1''$ (la scala sul CCD è di $0\!''\!.314$).

Anche la nuova camera f/5.2 su NTT/EMMI offre la possibilità di osservare a bassissima dispersione con il grism n.1 che dà una dispersione di 5.9 Å pixel^{-1} ed una risoluzione di 21 Å con una fenditura di $1''$ (un pixel del CCD TEK 2048^2 corrisponde a $0\!''\!.268$).

Un esempio di galassia *debole* osservata con CFHT/MOS a bassissima dispersione è presentato da Le Fèvre *et al.*. Questa galassia ha magnitudine $I \simeq 22$ e per misurarne il redshift ($z \simeq 0.7$) da uno spettro con S/N $>\sim 5$ sono state necessarie, con la risoluzione minima, 8 ore di esposizione.

Anche per poter ottenere uno spettro di un arco gravitazionale è importante poter disporre di una bassissima dispersione. Gli archi gravitazionali hanno magnitudini integrate dell'ordine di $R \simeq 21 - 23$ e brillanze superficiali dell'ordine di qualche percento della brillanza del cielo. Richiedono quindi tempi di posa di molte ore anche a risoluzioni dell'ordine di 20 Å. Una descrizione delle configurazioni strumentali necessarie per misurare lo spettro di un arco gravitazionale si trova, per esempio, in Mellier *et al.* (1991; ApJ 380, 334). Le osservazioni dell'arco gravitazionale in Cl 2244-02 sono state eseguite da Mellier *et al.* in parte al CFHT ed in parte all'ESO. Le osservazioni al 4m CFHT sono state eseguite con il riduttore di focale f/8 – f/2 e il sistema multi-fenditura PUMA1 (Fort *et al.* 1986; Proc. Soc. Photo-Opt. Intrum. Eng. 627, 321). La dispersione utilizzata è stata di 8 Å pixel^{-1} con una fenditura di $\simeq 2''$. Al 3.6m ESO è stato utilizzato EFOSC con una dispersione di 6.5 Å pixel^{-1} ed una fenditura di $2''$. I tempi di posa totali sono stati di 7.5 ore al CFHT e di 10 ore al 3.6m dell'ESO ed hanno permesso di attribuire all'arco un redshift probabile z = 2.237.

Filtro 4200 Å – 8200 Å.

Adottando un grism a 500 Å mm^{-1}, l'intervallo spettrale 4200 Å – 8200 Å si estende per circa 550 pixel. Filtrando le lunghezze d'onda al di fuori di questo intervallo è possibile perforare fino a tre file di fenditure sulla stessa aperture plate, triplicando il numero di oggetti osservabili contemporaneamente. Ciò è molto utile, considerando il numero di galassie deboli presenti nel campo di LDS. Un filtro passa-banda è disponibile al CFHT/MOS e l'esperienza ha dimostrato che si possono osservare contemporaneamente circa 90 galassie (Le Fèvre *et al.*). Oltre ad aumentare il numero di fenditure perforabili su di una maschera, questo filtro facilita la riduzione dati eliminando la sovrapposizione degli ordini nella parte rossa dello spettro.