

Modulo di presentazione della proposta

1. Titolo della proposta:

Misura della massa di galassie locali tramite lensing gravitazionale

2. Caso scientifico:

[selezionare con una X l'area tematica della proposta]

- ☒ Galassie e cosmologia
- ☐ Stelle e popolazioni stellari
- ☐ Pianeti extra-solari
- ☐ Sistema solare

3. Riassunto (massimo 1000 caratteri, spazi inclusi)

[scrivere un breve riassunto della proposta, evidenziandone la rilevanza scientifica]

Proponiamo di misurare la massa di un campione di galassie locali, coinvolte nell'effetto di strong gravitational lensing, delle quali si conosce il Raggio di Einstein e si vuole misurare la distanza delle lenti e delle sorgenti attraverso spettroscopia, con gli strumenti DOLORES e NICS al TNG. Lo studio della distribuzione delle masse di galassie è in grado di fornire indicazioni per modelli che descrivono la distribuzione della materia e dell'energia oscura nell'Universo.

Abbiamo selezionato 17 sorgenti classificate come 'lenti sicure' appartenenti al catalogo UNIONS, che presentano controparti 2MASS. De-arrossando le magnitudini J, utilizzando un campione di quasar (Richards et al., 2006), abbiamo ottenuto le magnitudini nella banda i, necessarie per stimare i tempi di integrazione ed ottenere spettri con elevato rapporto S/N nella banda 0.3-2.5 μm . Saremo in grado, quindi, di identificare le principali righe ($H\alpha$, $H\beta$, [OII] e [OIII]) e calcolare la distanza della lente e della sorgente.

4. Strumenti utilizzati:

[per ogni strumento richiesto, inserire il numero di ore necessarie per portare a termine la proposta; se uno strumento non è necessario, non indicare nulla]

- DOLORES: LR-B, 7h
 - NICS: IJ, 14h
 - NICS: HK, 8h
- Tempo totale: 29h

5. Descrizione della proposta (massimo 10.000 caratteri, spazi inclusi):

[descrivere la proposta in relazione ai criteri riportati nel bando. Esplicitare gli obiettivi che ci si prefigge di raggiungere con le osservazioni. È possibile inserire grafici o immagini per completare la descrizione, così come la bibliografia utile]

Lo Strong Gravitational Lensing è l'effetto della deformazione di sorgenti distanti, indotto dal campo gravitazionale di galassie o ammassi di galassie (denominate lenti) situate lungo la linea di vista dell'osservatore verso la sorgente. Secondo la teoria della relatività generale, la luce proveniente dalla sorgente viene deviata dalla curvatura dello spazio-tempo, causata dalla massa della lente, e amplificata generando delle immagini multiple lungo archi o anche circonferenze complete, centrate sulla lente, chiamate anelli di Einstein.

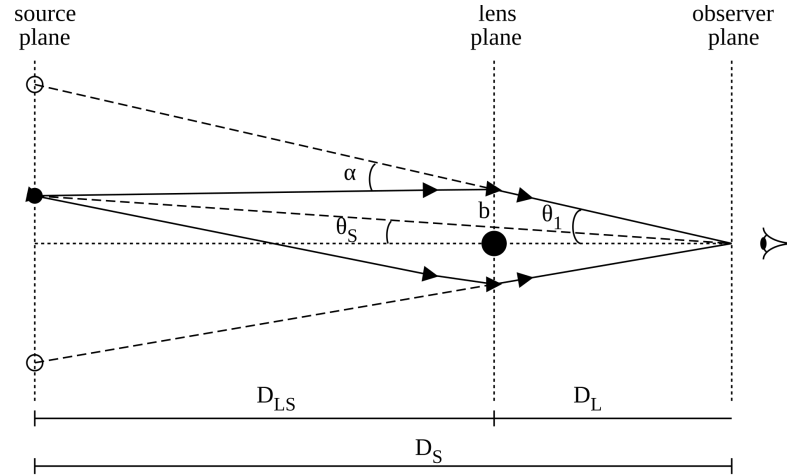
Lo strong lensing è un strumento molto potente per studiare sia la distribuzione della materia e dell'energia oscura delle lenti, sia le proprietà delle sorgenti ad alto redshift. Permette, infatti, di misurare con precisione il bilancio di massa totale di una galassia entro il cosiddetto Raggio di Einstein (Refsdal et al., 1964, Treu et al., 2010, Shajib et al., 2024), ovvero la distanza angolare tra gli archi della sorgente e la lente, che determina le dimensioni tipiche dell'anello o dell'arco gravitazionale. Inoltre, agendo la lente come un telescopio gravitazionale, amplifica il segnale di sorgenti ad alto redshift, che altrimenti sarebbero difficili da osservare.

Misurare la massa delle galassie a basso redshift è fondamentale per comprendere la distribuzione e la frazione di materia barionica e oscura nelle strutture cosmiche. Queste misure forniscono vincoli cruciali sui modelli di formazione ed evoluzione galattica. L'importanza cosmologica delle masse a basso redshift risiede nel fatto che la crescita delle strutture (e quindi la distribuzione delle masse galattiche nel tempo) è influenzata dal bilancio tra materia e energia oscura. Misurando la funzione di massa delle galassie e la sua evoluzione, si possono testare previsioni del "Modello Lambda-CDM" (Λ CDM) e porre vincoli sull'equazione di stato dell'energia oscura, contribuendo a chiarire il ruolo che essa gioca nella dinamica dell'Universo su grande scala.

Proponiamo quindi di misurare la massa di galassie appartenenti al catalogo UNIONS, descritto da Savary et al. 2022, che comprende 133 sorgenti candidate come strong lensing, delle quali 104 totalmente nuove. Di queste, un sotto campione di 32 sorgenti sono classificate come 'lenti sicure' e gli autori forniscono un catalogo nel quale vengono riportati diversi parametri desunti dall'applicazione di un modello di Convolutional Neural Network, insieme ad una ispezione visiva. Tra questi, fondamentale per il nostro studio è la stima del Raggio di Einstein, definito dalla seguente formula:

$$\theta_E = \left(\frac{4GM}{c^2} \frac{d_{LS}}{d_L d_S} \right)^{1/2}$$

dove M è la massa della lente e d_L , d_S e d_{LS} sono rispettivamente le distanze della lente, della sorgente e la distanza tra lente e sorgente, come rappresentato in figura.



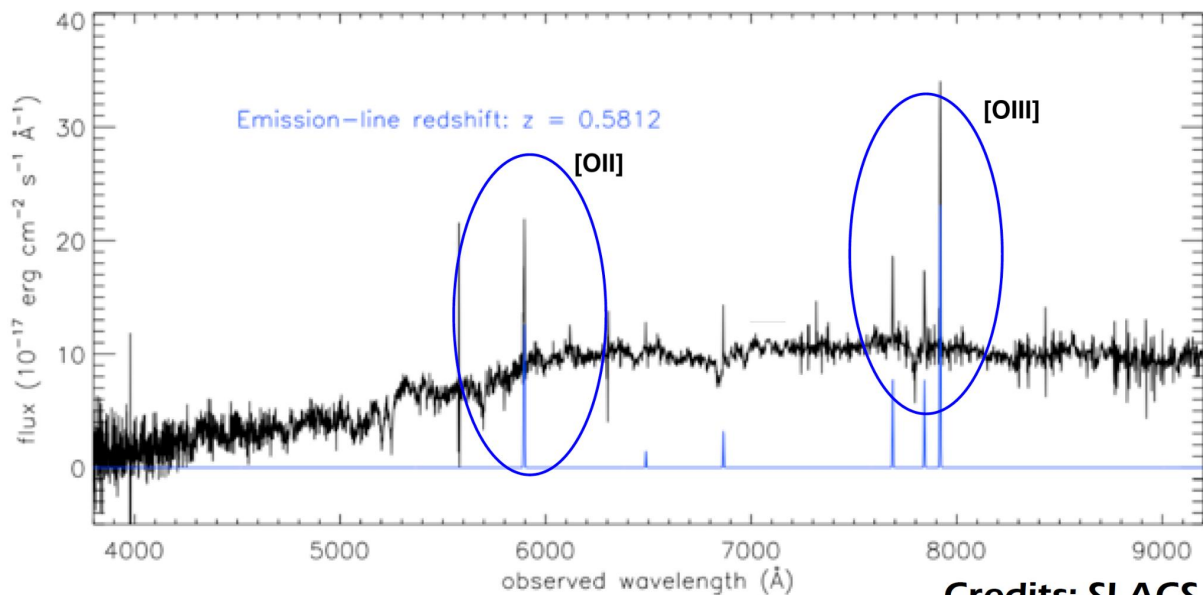
Proponiamo quindi di stimare le distanze delle sorgenti e delle lenti attraverso misure dello spostamento verso il rosso (redshift) delle righe di emissione (e/o di assorbimento) più brillanti che tipicamente caratterizzano le galassie locali. Le righe spettrali possono essere rilevate nell'intervallo di lunghezze d'onda compreso tra 0.3 micron e 2.5 micron, utilizzando lo spettrografo ottico DOLORES (Device Optimized for the LOw RESolution) e lo spettrometro vicino-infrarosso NICS (Near Infrared Camera Spectrometer) del TNG. Dolores e NICS utilizzano una fenditura che consente di selezionare gli oggetti dai quali ottenere lo spettro e, potendo orientare la fenditura in una direzione qualsiasi nel campo di vista, sarà possibile ottenere in un'unica acquisizione sia lo spettro della lente che quello della sorgente di fondo.

Sorgente e lente appartengono ad intervalli di redshift diversi tra di loro, come suggerito anche da Savary et al. 2022 nel selezionare le galassie-lenti e le galassie-sorgenti per la costruzione del training test per il loro modello: le lenti possono avere un redshift compreso tra 0 e 1, mentre le sorgenti di fondo hanno redshift maggiore di 1 e possono arrivare fino a $z=4$.

In base a queste considerazioni abbiamo selezionato le principali righe di emissione presenti nelle galassie che possono essere osservate in sorgenti con i redshift indicati nelle bande spettrali di Dolores e NICS. La linea H α (lunghezza d'onda a riposo 6563 Å) è spostata verso il rosso nell'intervallo 7875 Å - 11813 Å per lenti comprese tra $z=0.2$ e $z=0.8$, mentre potrà essere rilevata nella banda K di NICS per sorgenti con redshift fino a 2.5. Altre righe che potrebbero essere rilevate, nell'intervallo spettrale 0.3 micron - 2.5 micron, sono la Hbeta (4861 Å), [OIII] (5007 Å) e [OII] (3727).

Nella tabella riportiamo i valori dello spostamento verso il rosso per queste righe e nell'immagine un esempio di spettro nell'ottico di un oggetto a $z=0.5812$, dove le righe [OII] e [OIII] possono essere utilizzate per calcolare il redshift della sorgente.

linea	λ (Å)	lente ($0.2 < z < 0.8$)	sorgente ($1 < z < 4$)
H α	6562.81	7875.37-11813	>13125.6
H β	4861	5833.2 - 8749.8	>9722
OIII	5007	6008.4 - 9012.6	>10014
OII	3727	4472.4 - 6708.6	>7454



Credits: SLACS

Tra le 32 ‘lenti sicure’ del catalogo UNIONS abbiamo selezionato le sorgenti che hanno una controparte nel vicino infrarosso, al fine di avere le magnitudini per poter stimare i tempi di integrazione. Consultando il catalogo 2MASS, attraverso la pagina web di IRSA presso IPAC, abbiamo quindi identificato 17 sorgenti con magnitudini nei filtri J, H e K, le quali non presentano tuttavia controparti ottiche, come abbiamo desunto interrogando il database SIMBAD presso il CDS.

6. Vincoli sulle osservazioni (massimo 800 caratteri, spazi inclusi):

[assumendo che le osservazioni verranno fatte tra ottobre e dicembre 2025, indicare un intervallo di date in cui fare l’osservazione e la fase lunare ideale per il buon esito delle osservazioni]

Vista la distribuzione in cielo delle sorgenti e verificata la loro visibilità utilizzando il tool Staralt, il periodo più adatto per le osservazioni è la settimana del 15-21 dicembre 2025; in questa finestra osservativa sono visibili 15 tra le 17 sorgenti

selezionate, mentre per le due rimanenti (UNIONS J153959+354954 e UNIONS J155923+314712) chiediamo che vengano osservate in service mode durante la prima settimana di ottobre.

7. Lista dei target e tempi di esposizione

[indicare il nome dei target, le coordinate e i tempi di esposizione richiesti su singolo target, compilando una tabella con la seguente struttura]

Nome	α	δ	Epoca	Mag	Tempo (Exposure)	Note
UNIONS J235527+325244	23h55m27s	+32d52m44s	J2000	J= 16.6	t _{LR-B} = 714 s t _{IJ} = 2227 s t _{HK} = 540 s	
UNIONS J094411+322038	09h44m11s	+32d20m38s	J2000	J= 15.6	t _{LR-B} = 239 s t _{IJ} = 435 s t _{HK} = 220 s	
UNIONS J075523+344539	07h55m23s	+34d45m39s	J2000	J= 17.1	t _{LR-B} = 1318 s t _{IJ} = 5501 s t _{HK} = 1888 s	
UNIONS J021219+303310	02h12m19s	+30d33m10s	J2000	J= 14.7	t _{LR-B} = 97 s t _{IJ} = 120 s t _{HK} = 78 s	
UNIONS J124223+312905	12h42m23s	+31d29m05s	J2000	J= 16.3	t _{LR-B} = 506 s t _{IJ} = 1300 s t _{HK} = 763 s	
UNIONS J113952+303204	11h39m52s	+30d32m04s	J2000	J= 16.7	t _{LR-B} =706 s t _{IJ} = 2667 s t _{HK} = 915 s	
UNIONS J075346+341633	07h53m46s	+34d16m33s	J2000	J= 15.6	t _{LR-B} = 295 s t _{IJ} = 324 s t _{HK} = 253 s	
UNIONS J143611+432921	14h36m11s	+43d29m21s	J2000	J= 16.7	t _{LR-B} = 804 s t _{IJ} = 1752 s t _{HK} = 1112 s	
UNIONS J143004+410557	1430m04s	+41d05m57s	J2000	J= 16.2	t _{LR-B} = 578 s t _{IJ} = 678 s t _{HK} = 426 s	
UNIONS J131730+564054	13h17m30s	+56d40m54s	J2000	J= 17.1	t _{LR-B} = 1318 s t _{IJ} = 5501 s t _{HK} = 2265 s	
UNIONS J110219+334224	11h02m19s	+33d42m24s	J2000	J= 16.6	t _{LR-B} = 714 s t _{IJ} = 2228 s t _{HK} = 1096 s	

UNIONS J144037+591141	14h40m37s	+59d11m41s	J2000	J= 15.9	t _{LR-B} = 328 s t _{IJ} = 639 s t _{HK} = 395 s	
UNIONS J081959+535624	08h19m59s	+53d56m24s	J2000	J= 16.3	t _{LR-B} = 461 s t _{IJ} = 5202 s t _{HK} = 1245 s	
UNIONS J164940+304909	16h49m40s	+30d49m09s	J2000	J= 17.1	t _{LR-B} = 1318 s t _{IJ} = 5501s t _{HK} = 1888 s	
UNIONS J171340+364204	17h13m40s	+36d42m04s	J2000	J= 16.5	t _{LR-B} = 636 s t _{IJ} = 1861 s t _{HK} = 1096 s	
UNIONS J155923+314712	15h59m23s	+31d47m12s	J2000	J= 15.4	t _{LR-B} = 304 s t _{IJ} = 175 s t _{HK} = 49 s	osservabile a ottobre in service mode
UNIONS J153959+354954	15h39m59s	+35d49m54s	J2000	J= 16.1	t _{LR-B} = 406 s t _{IJ} = 910 s t _{HK} = 763 s	osservabile a ottobre in service mode

8. Strategia osservativa e calcolo dei tempi di esposizione

[indicare la strategia osservativa ed il calcolo dei tempi di esposizione riportati nella tabella precedente, necessari per portare a termine la proposta]

Tra le 32 ‘lenti sicure’ presenti nel catalogo UNIONS, abbiamo selezionato le sorgenti che hanno una controparte nel vicino infrarosso nel catalogo 2MASS. Le query al catalogo sono state effettuate inserendo le coordinate Ascensione Retta e Declinazione di ogni sorgente, un raggio di ricerca di 10 arcsec e, nel caso di risultato positivo (nel quale potevano essere presenti anche più sorgenti), abbiamo ispezionato l’immagine di archivio, confrontando la morfologia delle sorgenti con le immagini presenti in Savary et al. 2022. Abbiamo quindi identificato 17 sorgenti con magnitudini 2MASS nei filtri J, H e K, le quali non presentano tuttavia controparti ottiche.

Al fine di stimare le magnitudini nelle bande del visibile, necessarie per ottenere i tempi di integrazioni attraverso l’Exposure Time Calculator (ETC) per lo strumento DOLORES, abbiamo utilizzato il campione di galassie descritte in Richards et al., 2006, nel quale gli autori forniscono le magnitudini ottiche e vicino-infrarosse di 10 quasar di tipo 1. Calcolando i colori di queste sorgenti, abbiamo ottenuto le correzioni medie che bisognerebbe applicare per passare dalla banda J alla banda i ($J = i - 0.8$). Queste correzioni sono state ottenute su una particolare categoria di galassie (quasar di tipo 1) e di conseguenza, non conoscendo la classificazione delle nostre sorgenti, potrebbero non essere le migliori per tutte le galassie del nostro campione. Nel timore di sottostimare la magnitudine delle sorgenti nella banda i, abbiamo deciso di adottare un valore del rapporto segnale/rumore $S/N=20$ nell’ETC per quanto riguarda le stime

con lo strumento Dolores. Diversamente, per quanto riguarda NICS, abbiamo fissato un valore $S/N=10$. Questi valori permetteranno di rilevare il continuo della sorgente e di avere valori del rapporto S/N più alti sulle righe che verranno utilizzate per misurare il redshift.

Per le osservazioni di ciascun sorgente utilizzeremo lo spettrometro Dolores e NICS, adottando una fenditura di 1 arcsec e con il grism LR-B per DOLORES e i grism IJ e HK per NICS. In questo modo saremo in grado di campionare un ampio intervallo spettrale compreso tra 0.3 micron e 2.5 micron (con un intervallo non coperto di alcune decine di Angstrom da 8430 Å a 9000 Å, presente tra il grism LR-B di Dolores e IJ di NICS). Il Potere Risolutivo Spettrale è pari a 585 per LR-B e a 500 per i grism IJ e HK di NICS. Nel dettaglio, la configurazione degli altri parametri per l'ETC per entrambi gli strumenti è la seguente:

Source Type 'Point' (sorgente puntiforme)

FWHM del seeing=1.2" (compatibile con l'uso della fenditura da 1")

Slit Width=1"

Sky Brightness: massimo 7 giorni dalla Luna nuova

Sia con DOLORES che con NICS la fenditura sarà orientata nel campo di vista del telescopio (specificando il Position Angle) in modo da selezionare sia l'emissione luminosa della lente che dell'arco più brillante della sorgente di fondo, ottenendo in un'unica acquisizione gli spettri di entrambi gli oggetti..

Per DOLORES abbiamo fatto girare l'ETC utilizzando la magnitudine i , in quanto è la più vicina alla magnitudine J del catalogo 2MASS, ottenuta applicando la correzione descritta in precedenza. Per quanto riguarda NICS, abbiamo fatto girare l'ETC sia con il grism IJ, utilizzando la magnitudine J , che con il grism HK, utilizzando la magnitudine H .

Abbiamo inoltre considerato un overhead time di circa 10 minuti sia per Dolores che per NICS per il puntamento di ogni oggetto e l'allineamento con la fenditura.

Oltre ai target scientifici descritti nel paragrafo 7, richiediamo l'osservazione di due stelle Standard Spettrofotometriche per notte (che possono essere utilizzate anche come Standard Telluriche per la correzione delle righe di assorbimento dell'atmosfera), considerando circa 15 minuti di tempo strumentale ed integrazione per ogni standard.

Stimiamo un tempo totale richiesto al telescopio pari a circa **30 ore**, delle quali 3 ore richieste i service mode.

9. Elaborazione e interpretazione dei dati osservativi

[descrivere come si intendono analizzare i dati osservativi raccolti durante la campagna al TNG, eventualmente insieme a quelli d'archivio, e interpretare i risultati]

I dati acquisiti verranno ridotti utilizzando le procedure standard previste nell'ottico e nell'infrarosso per l'ottenimento delle immagini scientifiche, calibrate in flusso e in

lunghezza d'onda, a partire da immagini 'grezze' (Raw Frames). Durante il processo di riduzione, sarà necessario applicare le opportune correzioni attraverso l'utilizzo di immagini di flat-field, di bias, di standard telluriche, nonché la calibrazione in lunghezza d'onda e in flusso, utilizzando immagini di lampade e di standard fotometriche. Infine, sarà possibile estrarre lo spettro monodimensionale delle sorgenti dalle immagini spettrali individuando una apertura, vale a dire su quali righe (o colonne) del CCD cade la sorgente, e successivamente si potrà sottrarre allo spettro della sorgente lo spettro che rappresenta l'emissione del cielo, che altrimenti si sommerebbe al flusso del continuo e delle righe della sorgente di interesse.

Questi passaggi potranno essere effettuati utilizzando diversi software dedicati, come PyeIt o IRAF, i quali permetteranno anche di analizzare i dati scientifici finali.

Gli spettri ottenuti saranno analizzati identificando alcune delle righe più comuni attese in questo intervallo spettrale. Misureremo la differenza di lunghezza d'onda tra le righe di emissione osservate e quelle a riposo, forniremo quindi una stima del redshift della lente e della sorgente utilizzando la formula $z = (\lambda' - \lambda) / \lambda$, dove z è il redshift, λ' è la lunghezza d'onda della riga osservata, λ è la lunghezza d'onda della riga di emissione a riposo. Noto il redshift, possiamo calcolare le distanze della sorgente, della lente e la distanza lente-sorgente e, conoscendo i valori del Raggio di Einstein riportati nel catalogo UNIONS, sarà possibile fornire una stima della massa della galassia che ha generato l'effetto di strong gravitational lensing.

Bibliografia

1. Savary et al. 2022, *Strong lensing in UNIONS: Toward a pipeline from discovery to modeling*
2. Richards et al. 2006, *Spectral Energy Distributions and Multiwavelength Selection of Type 1 Quasars*
3. Refsdal et al. 1964, *The Gravitational Lens Effect*
4. Treu et al. 2010, *Strong Lensing by Galaxies*
5. Shajib et al. 2024, *Strong gravitational lenses from the Vera C. Rubin Observatory*

SIMBAD@CDS:

<https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basicIdent=m33&submit=SIMBAD+search>

2MASS@IRSA:

<https://irsa.ipac.caltech.edu/Missions/2mass.html>

Staralt

<https://astro.inq.iac.es/staralt/>

Usefull data from Richards et al. 2006:

<https://www.astronomy.ohio-state.edu/martini.10/usefuldata.html>

10. Informazioni sui proponenti

Scuola: L.S.S. Tullio Levi-Civita

Codice meccanografico: RMPS450002

Dirigente Scolastico: Flora Bottino

X 14 Dirigente Scolastico

Prof. MARCANTONIO FORTINARO



Docente di riferimento: Luca Calzoletti



Indirizzo email del docente di riferimento: calzoletti@levicivita.edu.it

Partecipante 1: Andrea Cusimano, IV D

Partecipante 2: Dario Damiani, III D

Partecipante 3: Alessandro Fidelibus, III D

Partecipante 4: Giulia Pala, IV B

Partecipante 5: Emanuele Zamboni, III D