

Concorso Nazionale
Giovani Astronomi al Telescopio Nazionale Galileo
III Edizione

Allegato 2
Modulo di presentazione di
presentazione della proposta

1. **Titolo della proposta:** *Confronto fotometrico tra asteroidi Near-Earth, comete gioviane e il visitatore interstellare 3I/ATLAS*

2. **Caso scientifico:**

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

3. **Riassunto (massimo 1000 caratteri, spazi inclusi)**

La proposta mira a sfruttare la finestra osservativa unica del maggio-giugno 2026 per caratterizzare tre diverse classi di corpi minori e comprendere l'evoluzione dei "mattoni" planetari in ambienti diversi. I target selezionati rappresentano un laboratorio comparativo ideale: l'asteroide Near-Earth **(1943) Anteros** (in flyby ravvicinato con la Terra) fungerà da riferimento per un corpo roccioso evoluto; la cometa **10P/Tempel 2** mostrerà l'onset di attività di un corpo ghiacciato del nostro Sistema Solare; infine, il target cruciale **3I/ATLAS**, oggetto di origine interstellare, verrà osservato per monitorarne l'attività residua post-perielio. Utilizzando la camera DOLORES del TNG, otterremo curve di luce rotazionali ad alta cadenza per l'asteroide e fotometria profonda per i nuclei cometari. L'obiettivo è confrontare le proprietà superficiali e dinamiche di oggetti nati intorno al Sole con quelle di un corpo formatosi attorno a un'altra stella, offrendo agli studenti un'esperienza di ricerca di frontiera.

4. **Strumenti utilizzati:**

DOLORES (focale ottica, modalità imaging): 20 ore stimate.

La camera DOLORES (Device Optimized for the Low RESolution) installata al fuoco Nasmyth B del TNG è lo strumento di elezione per questa indagine. La sua configurazione tecnica risponde perfettamente alle stringenti necessità astrometriche e fotometriche richieste dai target selezionati. Il rivelatore è un CCD E2V 4240 Thinned back-illuminated, deep-depleted con rivestimento Astro-BB, caratterizzato da una matrice di 2048 x 2048 pixel e una dimensione del pixel di 13.5 μm . Questa configurazione garantisce un pixel scale di 0.252 arcsec/pixel, fornendo un campo di vista (FOV) di 8.6 x 8.6 arcminuti. Un FOV di tali dimensioni è cruciale poiché permette di campionare simultaneamente il target (asteroide o cometa) e un numero statisticamente significativo di stelle di campo necessarie per la fotometria differenziale e la calibrazione del punto zero, pur mantenendo un campionamento spaziale adeguato per risolvere i profili radiali e le morfologie asimmetriche delle chiome cometarie. Per tutte le acquisizioni si richiederà l'utilizzo esclusivo del filtro a banda larga **r'** **SDSS** (Sloan Digital Sky Survey) prodotto da Asahi Spectra, recentemente integrato nella ruota portafiltri di DOLORES.

Parametro Filtro	Valore Specifico
Identificativo	TNG/DOLORES.SDSS_r
Lunghezza d'onda centrale (λ_{mean})	6202.71 Å
Lunghezza d'onda di riferimento (λ_{ref})	6167.75 Å
Banda passante (Min - Max)	5378.69 Å - 7036.05 Å
Zero Point nominale (ZP_v)	≈ 26.3 mag

Tabella 1: Specifiche tecniche del filtro r' SDSS montato su DOLORES.

La scelta della banda rossa (r') è strategicamente motivata da due fattori di natura astrofisica. In primo luogo, lo spettro di riflessione solare da parte delle polveri (sia silicatiche asteroidali che carbonacee cometary) presenta un picco relativo e un alto gradiente di riflettanza alle lunghezze d'onda del rosso, massimizzando il rapporto segnale/rumore (SNR) del continuo. In secondo luogo, nelle chiome cometary, il filtro r' cade in una regione spettrale che minimizza drasticamente la contaminazione da parte delle righe di emissione gassosa dominanti (come il radicale C_2 a 5140 Å e il CN a 3880 Å), permettendo di isolare e quantificare quasi esclusivamente l'emissione del continuo dovuta alla riflessione solare sui grani di polvere macroscopici.

Le 20 ore richieste includono i tempi di integrazione scientifica, i tempi di latenza per la lettura del CCD (circa 25 secondi per frame, a seconda del binning e del readout noise impostato), i movimenti di puntamento del telescopio (slewing) e le indispensabili calibrazioni di base (acquisizione di frame di Bias, Dark e Sky Flats crepuscolari). Gli altri strumenti del TNG (NICS, HARPS-N, GIANO-B) non sono funzionali agli scopi di questa specifica indagine fotometrica.

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

- **Obiettivi Scientifici e Razionale** I corpi minori del Sistema Solare sono "capsule del tempo" che conservano informazioni sulle condizioni primordiali della nebulosa solare. Tuttavia, la recente scoperta di oggetti interstellari (ISO) ha aperto una nuova era: l'archeologia galattica comparata. Questo progetto propone di utilizzare il Telescopio Nazionale Galileo per condurre uno studio parallelo su tre oggetti che raccontano storie evolutive distinte:

1. **(1943) Anteros (Asteroide Amor):** Un asteroide di tipo S che transiterà a sole 0.13 AU dalla Terra durante la nostra finestra osservativa. La sua vicinanza offre un'opportunità rara per determinare con precisione il suo periodo di rotazione e la forma 3D tramite l'inversione della curva di luce. Data la sua piccola dimensione, Anteros è sensibile all'effetto YORP (variazione della rotazione dovuta alla radiazione solare); ottenere una curva di luce densa nel 2026 fornirà un punto di ancoraggio fondamentale per misurare questa accelerazione in futuro.
2. **3I/ATLAS (Oggetto Interstellare):** Dopo 'Oumuamua e Borisov, questo visitatore rappresenta un target ad altissima priorità. Nel maggio 2026, l'oggetto si starà allontanando dal Sole. Mentre i telescopi minori perderanno il target, il diametro di 3,58m del TNG è necessario per ottenere immagini profonde (Deep Imaging). L'obiettivo è monitorare il tasso di spegnimento della sua attività (fading) e confrontare la sua produzione di polveri con quella delle comete solari, cercando anomalie che indichino una composizione esotica.
3. **10P/Tempel 2 (Cometa della Famiglia di Giove):** Target di controllo. Essendo prossima al perielio (agosto 2026), ci aspettiamo un aumento dell'attività (outbursts). Il confronto tra la chioma della 10P e quella residua della 3I fornirà indizi sulle differenze strutturali tra comete "nostrane" e comete aliene.

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

Le osservazioni sono soggette a stringenti vincoli celesti. È imperativo acquisire i dati in condizioni di "cielo scuro" (Dark Sky) per massimizzare il contrasto di brillantezza superficiale delle chiome cometary, debolissime a causa della loro natura diffusa e della distanza. Di conseguenza, si devono rigorosamente evitare i periodi di Luna piena (plenilunio), che introducono un inquinamento da scattering di Rayleigh inaccettabile, specialmente nella banda r' . L'altitudine del sito del Roque de los Muchachos a La Palma (2326 m s.l.m.) e le condizioni meteorologiche tipiche della tarda primavera garantiscono un seeing di altissima qualità e un'estinzione atmosferica minima.

Periodo ottimale per l'osservazione

Prima scelta: L'intervallo tra il **10 e il 20 Maggio 2026**. Questa finestra è centrata intorno al novilunio previsto per il 16 maggio 2026. In questo periodo, l'oggetto interstellare 3I/ATLAS si troverà in una posizione ottimale per l'osservazione in prima serata (nella costellazione dei Gemelli), permettendo di allocare la seconda parte della notte all'asteroide Anteros.

- Intervallo date 12–20 giugno 2026
- Fase lunare Luna nuova il 14/6/2026

Seconda scelta: L'intervallo tra il **12 e il 20 Giugno 2026**. La Luna nuova cadrà il 14 giugno 2026. In questa fase, (1943) Anteros avrà superato da pochi giorni il suo punto di massimo avvicinamento alla Terra (30 maggio), garantendo una luminosità apparente superba e un moto proprio nel cielo sufficientemente rapido da minimizzare la confusione fotometrica con le stelle di fondo.

- Intervallo date 10-20 Maggio 2026
- Fase lunare Luna nuova il 16/05/2026

Note: In queste finestre i target saranno visibili e il cielo poco illuminato. È preferibile evitare i giorni di Luna piena (fine maggio e fine giugno).

7. Lista dei target e tempi di esposizione

Nome	RA (J2000)	Dec (J2000)	Epoca	V (mag)	Tempo esposiz.	Filtro	Note
(1943) Anteros	12h 01m	−05° 51′	Maggio 2026	13.6 (V)	10 s ($\times > 100$ fotogrammi)	R	Target Primario. NEO Amor in flyby. Fotometria veloce (serie temporale) per curva di rotazione.
3I/ATLAS	<i>Da effemeridi</i>	<i>Da effemeridi</i>	Maggio 2026	> 18.0 (V)	600 s ($\times 5-8$ fotogrammi)	R	Target Scientifico Chiave. ISO post-perielio. Deep imaging per studio attività/chioma.
10P/Tempel 2	21h 50m	−24° 40′	Giugno 2026	~ 11.5 (V)	300 s ($\times 6-10$ fotogrammi)	R	Target di Confronto. Cometa JFC pre-perielio. Studio onset attività.
(152637) 1997 NC1	<i>Da effemeridi</i>	<i>Da effemeridi</i>	Giugno 2026	14.0 (V)	10 s ($\times > 50$ fotogrammi)	R	Target di Riserva. NEO Aten. Close approach (0.017 AU) il 27/06/26.

8. Strategia osservativa e calcolo dei tempi di esposizione: La campagna osservativa è stata accuratamente bilanciata per risolvere due problematiche fotometriche diametralmente opposte: l'alta luminosità superficiale a rapida variabilità di un asteroide vicino, e l'estrema debolezza stazionaria di chiome cometarie lontane.

- A causa del suo massimo avvicinamento, Anteros raggiungerà una brillantezza notevole ($V \approx 13.6$). Tempi di integrazione prolungati comporterebbero due artefatti critici: la saturazione dei pozzi di potenziale dei pixel del CCD e lo *smearing* (strisciata) del flusso causato dal veloce moto proprio trasversale dell'asteroide nel cielo. Per ovviare a ciò, adotteremo la tecnica del campionamento denso a bassa esposizione ($t_{exp} = 10s$). Questo approccio garantisce un Rapporto Segnale/Rumore (SNR) elevato per singolo frame pur mantenendo l'asteroide all'interno della Full Width at Half Maximum (FWHM) del seeing locale. Inoltre, acquisendo blocchi contigui di dati per 4-5 ore (ben oltre il singolo periodo sinodico di 2.869h), soddisferemo il Teorema di Nyquist-Shannon per il campionamento delle frequenze, abbattendo radicalmente l'effetto di *aliasing* che comunemente affligge l'estrazione periodica nelle curve di luce asteroidali.
- **2. Deep Imaging Dinamico su 3I/ATLAS e 10P/Tempel 2:** Le comete a distanze di 4.1 AU e 1.9 AU presentano flussi irrisoni spalmati su ampi gradienti spaziali. Per 3I/ATLAS (magnitudine > 18.5), la raccolta di un numero statisticamente significativo di fotoni richiede tempi di integrazione dell'ordine di 300-600 secondi. Durante una singola esposizione di 5 minuti, il moto proprio dell'oggetto sposterebbe il nucleo su un numero di pixel tale da annientare il rapporto SNR e cancellare le delicatissime strutture anisotrope della polvere vicina al fotocentro. È pertanto imperativo configurare il sistema di puntamento del TNG in modalità di **tracking non-siderale** (differential tracking). Calcolando in tempo reale le derivate temporali dell'ascensione retta (da/dt) e della declinazione ($d\delta/dt$) fornite dal sistema Horizons del JPL, la montatura equatoriale/altazimutale annullerà il vettore di moto dell'oggetto. Come risultato ottico, il nucleo cometario apparirà perfettamente puntiforme e a simmetria circolare (limitato solo dal seeing), mentre le sorgenti puntiformi di background (stelle) lasceranno tracce allungate (star trails). Le singole esposizioni profonde saranno poi co-addizionate via software (image stacking shift-and-add) per abbattere il Poisson noise del fondo cielo.

9. Elaborazione e interpretazione dei dati osservativi

La fase post-osservativa di riduzione, analisi e interpretazione dei dati rappresenta il fulcro formativo e scientifico della presente proposta. Per garantire un'estrazione metrica dei dati priva di bias, il team di ricerca studentesco, supervisionato dai docenti di riferimento e dai ricercatori INAF, adotterà una pipeline fotometrica rigorosa, implementata tramite script personalizzati in linguaggio Python. Verranno sfruttate librerie astrofisiche di validazione industriale quali Astropy, Photutils, e interfacce a cataloghi globali come *Gaia* e *SDSS*.

9.1 Calibrazione e Riduzione Primaria dei Dati (Pre-Processing CCD)

Prima di poter estrarre alcuna informazione fisica, ogni singola esposizione grezza (I_{raw}) prodotta dal sensore CCD E2V di DOLORES deve essere mondata dalle firme elettroniche, termiche e ottiche indotte dalla strumentazione. Tale processo assicura che il dato in ADU (Analogue-to-Digital Units) sia linearmente proporzionale al flusso fotonico incidente.

- **Sottrazione dell'Overscan e del Bias:** Il convertitore analogico-digitale del CCD inietta un segnale di base costante (piedistallo) per evitare letture negative causate dal rumore di lettura (Readout Noise). Estraendo la regione di overscan (pixel fisicamente non esposti alla luce ai margini del sensore), modelleremo il drift temporale di questo livello. Inoltre, medieremo decine di immagini di calibrazione con tempo di esposizione nullo (Bias frames) per mappare la disomogeneità strutturale del piedistallo. Il *Master Bias* generato verrà sottratto da ogni immagine scientifica.
- **Correzione della Corrente di Buio (Dark Current):** Pur essendo il sensore di DOLORES raffreddato termoelettricamente a temperature criogeniche, lunghe esposizioni (come i 300 secondi necessari per 3I/ATLAS) permettono l'accumulo di

elettroni generati per agitazione termica all'interno del reticolo di silicio. Verranno acquisiti *Dark frames* con tempi equivalenti a quelli scientifici a otturatore chiuso per mappare i pixel "caldi" (hot pixels) e sottrarre linearmente il rumore termico. Questo passaggio è critico per la misurazione della coma periferica esterna, il cui segnale si confonde col fondo.

- **Correzione Flat-Field:** Per correggere le disomogeneità di risposta quantica (QE) da pixel a pixel, l'attenuazione dovuta ai granelli di polvere sul cammino ottico e l'inevitabile vignettatura ai bordi del FOV, utilizzeremo i *Twilight Sky Flats*. Le immagini del cielo crepuscolare, uniformemente illuminato, verranno corrette per Bias e Dark, normalizzate alla loro mediana e combinate con reiezione dei raggi cosmici tramite algoritmi di *sigma-clipping* per produrre un *Master Flat* ad altissimo SNR. L'equazione fondamentale del pre-processing sarà quindi applicata pixel per pixel:

$$I_{calibrata} = \frac{I_{raw} - MasterBias - (MasterDark_{scalato})}{MasterFlat}$$

9.2 Astrometria e Fotometria Calibrata (Estrazione del Flusso)

Una volta calibrate le matrici digitali, si procederà con l'allineamento spaziale e la quantificazione del flusso luminoso. L'astrometria assoluta verrà derivata incrociando le posizioni dei centroidi stellari rilevati nel campo di 8.6x8.6 arcminuti con le coordinate WCS (World Coordinate System) ad altissima precisione del catalogo spaziale *Gaia* (DR3). Ciò garantirà l'identificazione inequivocabile dei bersagli in moto.

- **Fotometria d'Apertura Differenziale:** A causa della natura estesa delle chiome cometarie e della forma strisciata delle stelle nelle esposizioni tracciate sul moto non-siderale della cometa, il *Profile Fitting* (PSF photometry) non è matematicamente stabile. Affideremo la misurazione al pacchetto Python photutils.aperture eseguendo una rigorosa Fotometria d'Apertura circolare. Costruiremo una curva di crescita (*Curve of Growth*) per determinare il raggio fotometrico ideale che includa la maggior parte del flusso del bersaglio senza campionare eccessivo rumore di fondo spaziale. Il flusso del fondo cielo (B_{sky}) verrà misurato in un *annulus* concentrico esterno al target, calcolandone il valore mediano per scartare contaminazioni da sorgenti vicine.
- **Calibrazione del Punto Zero (Zero-Point) e Trasformazione del Colore:** Per ancorare le nostre misurazioni strumentali in ADU a un sistema fisico universale, adotteremo la fotometria differenziale rispetto a stelle di campo locali. Rileveremo decine di stelle di riferimento (field stars) non saturate nello stesso frame del target. Attingeremo ai cataloghi fotometrici *SDSS DR9* o *Pan-STARRS* per ottenere le magnitudini standard di queste stelle. Poiché utilizzeremo il filtro r' di Asahi, applicheremo trasformazioni empiriche di colore per mappare perfettamente i flussi di calibrazione sulla specifica risposta passante di DOLORES (Zero Point atteso $ZP_r \approx 26.3$). Si misurerà la magnitudine del target come:

$$m_{target} = m_{ref} - 2.5 \log_{10} \left(\frac{F_{target}}{F_{ref}} \right)$$

correggendo implicitamente per la trasparenza atmosferica e l'estinzione di massa d'aria (airmass) del momento dell'osservazione.

9.3 Analisi della Dinamica Rotazionale (1943) Anteros

I flussi fotometrici di Anteros, calibrati in magnitudine e normalizzati per le variazioni di distanza geocentrica/eliocentrica e per l'angolo di fase lunare, costituiranno la *curva di luce rotazionale* dell'asteroide. Gli studenti utilizzeranno algoritmi di analisi dei segnali temporali per estrarne le frequenze fondamentali. **Fotometria d'Apertura.**

- **Misurazione dello YORP e Natura Binaria:**

Dall'identificazione del picco primario del periodogramma si otterrà il periodo. Considerando che la variazione di sezione trasversale di un corpo roccioso produce una curva doppiamente piccata (due massimi e due minimi per rotazione completa), il periodo rilevato verrà raddoppiato per ottenere il periodo sinodico finale (atteso ≈ 2.87 ore).

1. **L'effetto YORP:** Confrontando la fase rotazionale esatta osservata nel 2026 con le epoche derivate dalle serie storiche presenti nei cataloghi (es. Asteroid Lightcurve Database), andremo a cercare scostamenti e deviazioni asintotiche. Qualsiasi scostamento di fase secolare, non giustificabile dai cambiamenti della geometria di osservazione solare, sarà la firma diretta dell'accelerazione/decelerazione imposta dall'effetto YORP (moment torque radiativo).
2. **Deconvoluzione del Segnale Binario:** Ipotizzando la natura binaria di Anteros, effettueremo una sottrazione del modello armonico principale (il periodo di 2.87h). L'analisi dei residui fotometrici permetterà agli studenti di isolare micro-fluttuazioni di luminosità: periodicità deboli a basse frequenze (indicative della rivoluzione di un satellite, periodo atteso 23.5h) o bruschi avvallamenti ("dips") asimmetrici dovuti a eventi di mutua eclissi.

9.4 Analisi della Polvere e Dinamica della Chioma (3I/ATLAS e 10P/Tempel 2)

Utilizzeremo l'algoritmo sviluppato da A'Hearn et al. (1984) per calcolare la quantità scalare Afp_{target} . Questo parametro, espresso in centimetri, agisce da proxy affidabile per il tasso di perdita di massa in granuli di polvere, correlandosi linearmente alla brillantezza intrinseca del materiale. Il calcolo si applica tramite l'equazione astrofisica:

$$Afp = \frac{4r_h^2 \Delta^2}{\rho_{cm}} \cdot 10^{0.4(m_{\odot} - m_c)}$$

In questa formula, r_h è la distanza elio-centrica del nucleo al momento dell'osservazione (in AU), che normalizza l'input di insolazione; Δ è la distanza geocentrica espressa in cm, per compensare il rimpicciolimento apparente; ρ_{cm} è il raggio dell'apertura fotometrica proiettato in cm al piano di tangenza della cometa. I parametri fotometrici m_c e $m_{\odot}$ sono rispettivamente la magnitudine apparente calibrata del target e quella del Sole nel sistema di filtro r' di SDSS. Il valore calcolato sintetizza tre grandezze fisiche ignote: l'Albedo media dei grani (A), il fattore di riempimento geometrico della polvere nel pixel ("filling factor" f) e la distanza dal nucleo (p).

Interpretazione Morfologica e Jets: Un aspetto fondamentale dell'interpretazione che sarà condotta dagli studenti riguarda l'assunto del "modello a coma stazionaria isotropa" (*stationary isotropic coma model*). Se l'espulsione di materia avviene a velocità uniforme in tutte le direzioni, la densità della polvere scala radialmente come $1/p$, e di conseguenza il parametro Afp rimane una costante numerica indipendentemente dalla dimensione dell'apertura misurata. Si estrarrà il profilo radiale della brillantezza tracciando isolinee dall'epicentro della chioma. Deviazioni dal modello $1/p$ permetteranno di rilevare la dinamica reale:

- Un gradiente più piatto vicino al nucleo indicherebbe un decadimento (*fading*) dell'attività, in cui i granuli di polvere più vecchi hanno abbandonato la regione interna spinti dalla pressione di radiazione solare.
- Per svelare le asimmetrie (che spiegherebbero l'accelerazione non gravitazionale anomala di 3I/ATLAS), le immagini profonde subiranno algoritmi di *image enhancement*. Dividendo l'immagine bidimensionale della chioma per un profilo azimutale mediano radiale, il fondo isotropo si annullerà, lasciando in risalto le strutture colonnari (*jets*), le "ali" di degassamento laterale, o l'accumulo lungo l'orbita indotto dalle traiettorie balistiche dei granuli. L'individuazione di *jets* collimati in 3I/ATLAS confermerebbe i modelli di un nucleo con fessurazioni superficiali attive in intensa rotazione.

10. Informazioni sui proponenti

Scuola: **Liceo Scientifico “G.B. Scorza” - Cosenza**

Codice meccanografico: **CSPS03000G**

Dirigente Scolastico: **Rosanna Rizzo**

Docente di riferimento: **Rosanna Volpe**

Indirizzo email del docente di riferimento: **rosanna.volpe@liceoscorza.edu.it**

Partecipante 1: Emanuele Pasqua, 4°D

Partecipante 2: Andrea Morelli, 4°D

Partecipante 3: Niccolò Mario Filice, 4°D

Partecipante 4: Anna Fedele, 4°D

Partecipante 5: Marianna Tigani, 4°D

Il mancato rispetto del formato comporterà l'esclusione dal concorso.