



Il Colle di
Galileo

PLATO e Ariel, le prossime missioni di classe media del programma dell'ESA sulla scoperta e caratterizzazione di esopianeti dallo spazio: il contributo di INAF-Arcetri

PLATO and Ariel, the next medium-class Missions of the ESA's roadmap on the discovery and characterization of exoplanets from space: the contribution of INAF-OAA

Mauro Focardi

INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Abstract. Da alcuni anni l'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri svolge un ruolo cruciale nel contributo al percorso dell'Agenzia Spaziale Europea rivolto alla scoperta e caratterizzazione degli esopianeti dallo spazio (rif. Figura 1). Alcuni dei suoi Ricercatori, Tecnologi e Tecnici, grazie anche al supporto amministrativo locale, sono coinvolti nella progettazione e sviluppo della strumentazione scientifica a bordo dei satelliti PLATO ed Ariel, oltre che negli aspetti scientifici rivolti allo studio degli esopianeti.

Keywords. Esopianeti, metodo dei transiti, eclisse primaria e secondaria, fotometria, spettrofotometria, osservazioni dallo spazio.

Abstract. Since some years, the Arcetri Astrophysical Observatory plays a crucial role in the contribution to the European Space Agency (ESA) roadmap on exoplanets discovery and characterization from space (ref. Figure 1). Several of its Researchers, Technologists and Technician, thanks also to the local Administrative Department support, are involved in the PLATO and Ariel Payloads design and development, along with the scientific aspects aimed at the study of exoplanets.

Keywords. Exoplanets, transit method, primary and secondary eclipses, photometry, spectrophotometry, observation from space.

PLATO

The PLANetary Transits and Oscillations of stars mission (PLATO – Figure 2) is the third medium class mission (M3) of ESA's Cosmic Vision 2015-2025 Program. It was selected by the

PLATO

La missione PLATO (*PLANetary Transits and Oscillations of stars*, Figura 2) è la terza missione di classe media (M3) del Programma *Cosmic Vision 2015-2025* dell'Agenzia Spaziale Europea ed è stata selezionata dal Comitato del Programma Scientifico di ESA nel 2014. La missione è rivolta alla ricerca e caratterizzazione di un elevato numero di sistemi planetari extrasolari, con particolare attenzione ai pianeti terrestri nella zona abitabile intorno a stelle brillanti simili al Sole. La missione si prefigge anche lo studio dell'attività sismica stellare, alla base della caratterizzazione precisa delle stelle progenitrici, inclusa la loro età, assunta uguale a quella del sistema planetario che ospita. PLATO determinerà con un'accuratezza senza precedenti il raggio dei pianeti, l'irraggiamento stellare e l'architettura dei sistemi planetari, ponendoli in un contesto evolutivo legato all'età del sistema.

L'esperimento scientifico a bordo (o carico utile) condurrà anche un programma estensivo di scienza complementare, rivolta ad un ampio set di argomenti astronomici ed astrofisici. Nell'intento di raggiungere i suoi obiettivi scientifici, l'esperimento si basa su riprese fotometriche ad alta precisione allo scopo di produrre un ampio campione di curve di luce stellare, ottenute su tempi dell'ordine dei mesi o di alcuni anni, con lunghi cicli osservativi. Il segnale relativo al transito planetario sul disco stellare e quello relativo alle oscillazioni luminose della stella progenitrice sono entrambi derivati dall'analisi delle curve di luce, che abilitano la rivelazione dei pianeti transitanti, la determinazione dei loro raggi e parametri orbitali, oltre alla caratterizzazione della stella madre.

Science Program Committee (ESA-SPC) in 2014. PLATO aims to find and characterize a large number of extra solar planetary systems, focusing on the properties of terrestrial planets in the habitable zone around bright stars similar to the sun. The mission also aims to investigate seismic activity in stars, enabling the precise characterization of the parent stars, including their age, assumed to be the same as that of the host planetary system. PLATO will determine, with unprecedented accuracy, the planet radii, stellar irradiation and the architecture of the planetary systems, placing them in an evolutionary context linked to the age of the system.

The scientific experiment (or payload) on board will also carry out an extensive complementary science program that will address a broad range of astronomical and astrophysical topics. In order to achieve its scientific goals, the experiment relies on high-precision photometry to produce a large sample of stellar light curves, obtained over a period of months or several years, with long observational cycles. The planet transit signal and the parent star oscillations are both obtained from the analysis of the light curve, enabling the detection of transiting planets, the determination of their radii and orbital parameters, and the characterization of the parent star.

PLATO is based on a single satellite platform architecture operated by the usual ESA infrastructure developed for space missions. The space segment, or spacecraft, comprises two main elements: the scientific experiment or payload and the satellite platform. The main industrial contractor (OHB Bremen, Germany) is in charge of developing the satellite platform supporting the scientific operations and performance of the payload, as well as the delivery of the fully tested and integrated satellite to ESA.

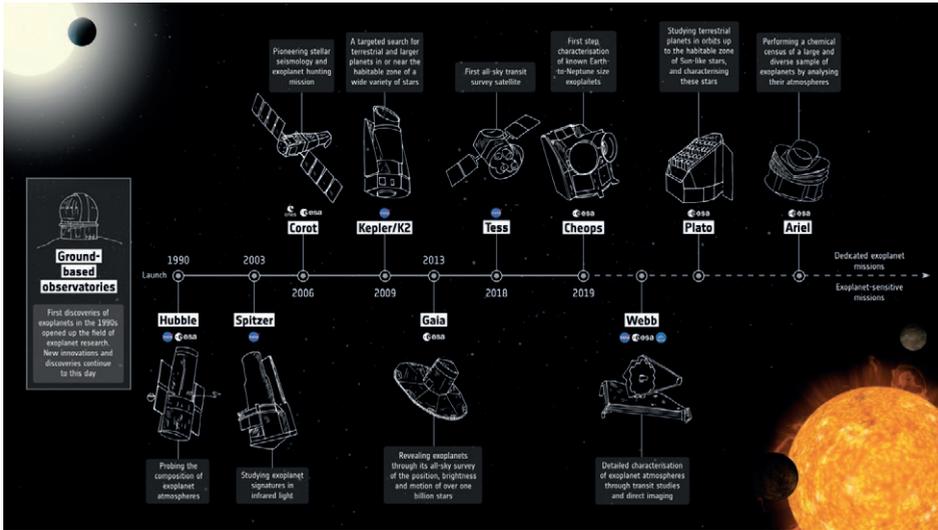


Figure 1. Sviluppo temporale delle missioni per lo studio degli esopianeti.
 Figure 1. Exoplanet missions timeline.



Figure 2. La sonda PLATO (per gent. concess. OHB Bremen).
 Figure 2. PLATO spacecraft (courtesy of OHB Bremen).

PLATO si basa su di un'architettura ad unica piattaforma satellitare (singolo strumento) operata dalle usuali infrastrutture messe a punto da ESA per le missioni spaziali. Il segmento spaziale, o navicella, è composto da due elementi principali: il carico scientifico o esperimento a bordo e la piattaforma satellitare. Il principale contrattore industriale (OHB Brema, Germania) ha in carico lo sviluppo della piattaforma satellitare a supporto delle prestazioni ed operazioni scientifiche dell'esperimento, oltre alla consegna ad ESA del satellite completamente integrato e testato.

L'esperimento scientifico a bordo è sviluppato e fornito grazie ad una collaborazione di Istituti scientifici europei (il consorzio PLATO-PMC) insieme ad ESA. Esso comprende 26 camere posizionate sui rispettivi piani focali di altrettanti telescopi, le elettroniche analogiche e digitali di lettura dei rivelatori, e da una Unità di Controllo dello stesso Strumento (ICU).

PLATO sarà lanciato nel 2026 dal Centro Spaziale di Kourou nella Guiana francese con un vettore Ariane 6.2 con trasferimento diretto verso un'ampia orbita attorno al secondo punto lagrangiano (L2) del sistema Terra-Sole. Al termine della fase di trasferimento e le attività di commissionamento, che dureranno tre mesi, inizieranno le operazioni scientifiche per una durata nominale complessiva di 4 anni, con la possibile estensione di altri due anni.

The scientific payload is developed and supplied thanks to collaboration between European scientific institutes (the PLATO Mission Consortium - PMC) and ESA. It consists of 26 cameras located on the focal planes of 26 telescopes, associated digital and analogue electronics and an Instrument Control Unit (ICU).

PLATO will be launched in 2026 from the French Guiana Space Centre, Kourou, with an Ariane 6.2, with direct transfer to a large orbit around the second Lagrangian Point (L2) of the Sun-Earth system. After the transfer phase and the commissioning activities, lasting three months, nominal scientific operations will commence, with an overall duration of four years, with a possible two-year extension.

ARIEL

Ariel, the Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey (Figure 3), is the fourth medium class mission (M4) of the ESA's Cosmic Vision science program and the natural technological and scientific evolution following PLATO. It will take advantage of the scientific targets previously observed and characterized by it. Ariel is dedicated to studying the atmospheres of a statistically large sample of transiting exoplanets (≥ 1000) through a combination of low-resolution photometry and spectroscopy techniques. The experiment aims to measure the chemical composition and determine the thermal structure of exoplanets from gas giants (like Jupiter or Neptune) to super-Earths that orbit in the hot to warm zones of their parent stars,

ARIEL

Ariel, acronimo di *Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey* (Figura 3), rappresenta la quarta missione di classe media (M4) del programma *Cosmic Vision* di ESA, quale naturale evoluzione tecnologica e scientifica post PLATO, avvantaggiandosi dei target scientifici precedentemente osservati e caratterizzati da esso. Ariel si rivolge allo studio delle atmosfere di un ampio campione statistico (≥ 1000) di esopianeti transitanti, attraverso una combinazione di tecniche fotometriche e spettroscopiche a bassa risoluzione. L'esperimento si prefigge la misura della composizione chimica e la determinazione della struttura termica di esopianeti quali giganti gassosi (ad esempio Giove o Nettuno) fino ad arrivare a super-terre che orbitano nella zona calda o temperata delle loro stelle madri, prevalentemente di classe spettrale da F ad M, con l'intento di aprire la strada ad una planetologia comparative su larga scala, abilitando la possibilità di rispondere alle seguenti domande fondamentali:

- Quali sono i processi fisici che plasmano le atmosfere planetarie?
- Di cosa sono composti gli esopianeti?
- Come si formano ed evolvono i pianeti e sistemi planetari?

Ariel è stata selezionata dall'ESA nel marzo 2018 per una opportunità di lancio attesa nel 2029 a bordo di un razzo Ariane 6.2, in una configurazione per lancio duale con la navicella *Comet Interceptor*. Come per PLATO, anch'essa opererà da un'orbita attorno a L2, per una durata nominale di 4 anni, ma con possibilità di

mainly of the F to M type, with the aim of opening up the way to large-scale, comparative planetology, making it possible to answer the following fundamental questions:

- Which physical processes shape planetary atmospheres?
- What are exoplanets made of?
- How do planets and planetary systems form and evolve?

Ariel was selected by ESA in March 2018 for a launch expected to take place in 2029 on board an Ariane 6.2 in a dual launch configuration with the Comet Interceptor spacecraft. Like PLATO, it will operate from an orbit around L2 for a nominal duration of four years, with a possible extension of up to six years. This is the first mission dedicated to measuring the chemical composition and thermal structure of the atmospheres of hundreds of transiting exoplanets, enabling planetary science far beyond the boundaries of our own Solar System.

Following a competitive tender, Airbus Defense & Space France (ADS-Toulouse) was chosen, in November 2021, as first industrial contractor for the development of the satellite platform for the subsequent phases. The satellite consists of the platform (supplied by ESA through the industrial contract with ADS) and the payload (provided by the Ariel Mission Consortium - AMC). The scientific payload has been designed to perform photometry and transit spectroscopy measurements from space during primary and secondary planetary eclipses in order to obtain a large unbiased survey of the nature of exoplanet atmospheres and their interiors, to determine the key factors affecting the formation and evolution of planetary systems.

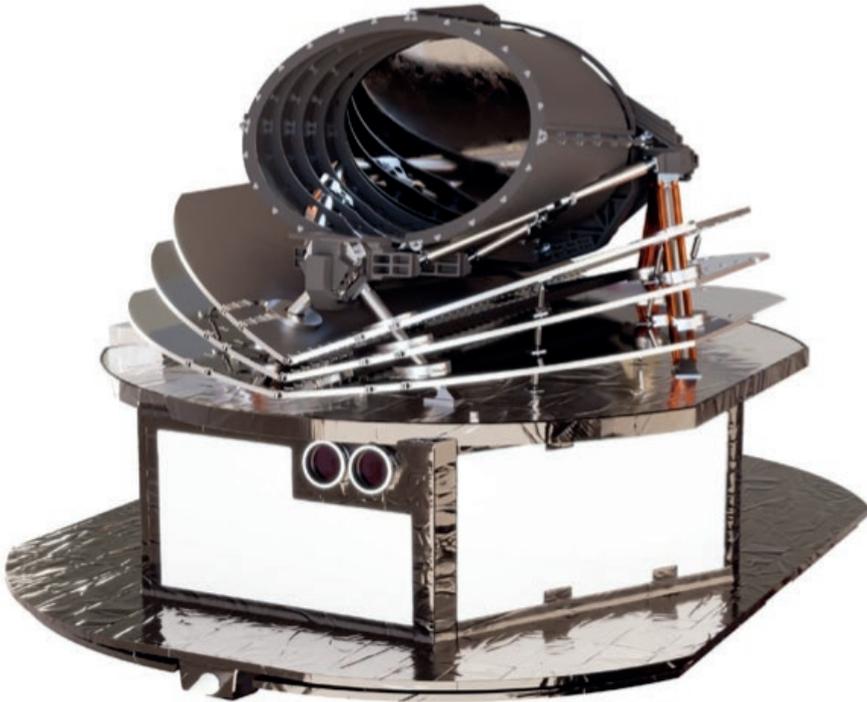


Figure 3. La sonda Ariel (per gent. concess. Airbus Defense & Space Toulouse).

Figure 3. Ariel spacecraft (courtesy of Airbus Defense & Space Toulouse).

Ariel will observe hundreds of temperate transiting exoplanets, like gas giants, planets similar to Neptune, and super-Earths around a wide range of star types belonging to different spectral classes, focusing mainly on planets with a surface temperature in excess of ~ 600 K, exploiting the chemical and physical properties of their well-mixed atmospheres. It will exploit primary and secondary transit spectroscopy in the 1.10 to $7.80 \mu\text{m}$ spectral range and broad-band photometry in the optical (0.50 - $0.80 \mu\text{m}$) and near IR (0.80 - $1.10 \mu\text{m}$). One of the two instruments of the Ariel payload is the Fine Guidance System (FGS), including three photometric channels between 0.5 - $1.1 \mu\text{m}$ (two of which are used for guiding as well as science) plus a low resolution NIR spectrometer in the 1.1 - $1.95 \mu\text{m}$ range. Lastly, an Active Cooler System (ACS) based on a Joule-Thomson cryocooler with neon is used to actively cool the main spectrometer (AIRS) detectors. AIRS is located on the intermediate focal plane of the telescope and common optical system, and hosts two HgCdTe-based hybrid IR detectors and two cold front-end electronics (CFEE) for the detectors. Each CFEE is driven by a Detector Control Unit (DCU) managed by the Instrument Control Unit.

The Arcetri Astrophysical Observatory, along with Kayser Italia Srl (Livorno) and Leonardo Spa (Florence) as industrial partners, is strongly involved in the design, development and testing of both the PLATO and Ariel payloads, with particular regard to the final delivery of the Instrument Control Units to PMC and AMC, as its researchers and technologists are in charge of system engineering and management tasks, not only on the payload electronics but also on the Ariel telescope assembly (TA).

estensione fino a 6 anni complessivi. Essa rappresenta la prima missione in assoluto rivolta alla misura della composizione chimica e struttura termica delle atmosfere di centinaia di esopianeti transitanti, abilitando le scienze planetarie ben al di là dei confini del nostro Sistema Solare.

A seguito di una gara competitiva delle maggiori industrie operanti nel settore aerospaziale europeo, nel novembre 2021 è stata selezionata Airbus Difesa e Spazio (Tolosa, Francia) come primo contraattore industriale per lo sviluppo della piattaforma satellitare per le successive fasi. Il satellite è composto dalla piattaforma (fornita da ESA attraverso il contratto industriale con ADS) e dal carico utile, fornito dal Consorzio Scientifico della Missione Ariel-AMC). L'esperimento scientifico è progettato per eseguire misure di spettroscopia e fotometria di transito dallo spazio durante le fasi di eclissi primaria e secondaria, nell'intento di ottenere un ampio set di misure sulla natura delle atmosfere degli esopianeti e sul loro interno, per determinare i fattori chiave che influenzano la formazione ed evoluzione dei sistemi planetari.

Ariel osserverà centinaia di esopianeti temperati transitanti, come giganti gassosi, pianeti simili a Nettuno e super-terre attorno ad un ampio intervallo di tipologie di stelle appartenenti a diverse classi spettrali, focalizzandosi principalmente su pianeti con temperature superficiali superiori a ~ 600 K in modo da sfruttare le proprietà chimico-fisiche di atmosfere ben mescolate. Essa sfrutterà le tecniche di spettroscopia di transito primario e secondario nell'intervallo spettrale da 1.10 a $7.80 \mu\text{m}$ e tecniche fotometriche a banda larga nell'ottico ($0.50 - 0.80 \mu\text{m}$) e vicino IR ($0.80-1.10 \mu\text{m}$). Uno dei due strumenti a bordo è il Sistema di Guida Fine, che

Mauro Focardi is an INAF-OAA Researcher working on new technologies and instrumentation for space and ground-based astrophysics, in particular on the development of detectors readout electronics and instrument control units for scientific payloads on-board sub-orbital rockets and satellite platforms.

include tre canali fotometrici fra 0.5 e 1.1 μm (due dei quali usati sia per la guida fine che per misure scientifiche) e uno spettrometro a bassa risoluzione nel vicino IR, nell'intervallo spettrale 1.1-1.95 μm . Infine, un Sistema di Raffreddamento Attivo (ACS) basato su un sistema criogenico Joule-Thomson al Neon viene impiegato nell'intento di fornire la capacità di raffreddamento attivo per i rivelatori dello spettrometro principale AIRS. Quest'ultimo è posizionato sul piano focale intermedio del telescopio e del sistema di ottiche comuni dell'esperimento ed ospita due rivelatori ibridi basati su composti ternari a base di mercurio, cadmio e tellurio (HgCdTe), insieme alle due elettroniche fredde di controllo dei rivelatori. Ciascuna di esse è sua volta pilotata da una Unità di Controllo dei Rivelatori gestita a sua volta da una Unità di Controllo dello Strumento (ICU).

L'Osservatorio Astrofisico di Arcetri, insieme a Kayser Italia Srl (Livorno) e Leonardo Spa (Firenze) quali partners industriali, è fortemente coinvolto nella progettazione, sviluppo e test di entrambi gli esperimenti PLATO ed Ariel, in particolare per quanto riguarda la consegna finale delle Unità di Controllo dello Strumento ai rispettivi Consorzi, dato che i suoi Ricercatori e Tecnologi hanno in carico attività di Ingegneria di Sistema e Gestione, non soltanto dell'elettronica degli esperimenti ma anche del telescopio di Ariel (TA - Telescope Assembly)

Mauro Focardi è un Ricercatore INAF (OAA - Osservatorio Astrofisico di Arcetri) coinvolto nello sviluppo di nuove tecnologie e strumentazione per astrofisica spaziale e basata a terra, in particolare nella progettazione di rivelatori VL/IR ed elettroniche di lettura, oltre ad Unità di Controllo di Strumenti (ICU) per esperimenti scientifici a bordo di razzi sub-orbitali e piattaforme satellitari.