

Alessandro Marconi, Ernesto Oliva

# HIRES, lo spettrografo ad alta risoluzione per lo European Extremely Large Telescope

*HIRES, the High Resolution Spectrograph for the European Extremely Large Telescope*

Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Firenze & INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri

INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri

**Riassunto.** L'E-ELT è un telescopio da 40 metri di diametro che comincerà ad osservare nel 2024 e che permetterà di fare scoperte senza precedenti sull'origine di pianeti, stelle e galassie. E-ELT sarà equipaggiato con 5 strumenti tra cui HIRES, spettrografo ad alta risoluzione che consentirà di cercare tracce di vita nelle atmosfere dei pianeti simili alla Terra e di studiare le possibili variazioni delle costanti fondamentali della Fisica. Un consorzio composto da istituti di 12 paesi ha appena iniziato la studio di fattibilità e di progettazione per HIRES, ed è guidato dall'Istituto Nazionale di Astrofisica, con un importante ruolo rivestito dall'Osservatorio Astrofisico di Arcetri.

**Parole chiave.** Strumentazione per grandi telescopi, spettrografi ad alta risoluzione, eso-pianeti, costanti fondamentali della fisica, stelle, galassie.

**Abstract.** E-ELT is a 40m-class telescope which will have its first light in 2024 and will enable unprecedented discoveries about the origin of planets, stars and galaxies. E-ELT will be equipped with 5 instruments, including HIRES, a high resolution spectrograph which will make it possible to search for life signatures in the atmospheres of Earth-like planets and to study the possible variation of the fundamental constants of physics. A large consortium of institutes from 12 countries has just started the feasibility and design study for the construction of HIRES, and is led by the Italian National Institute for Astrophysics, with the Arcetri Astrophysical observatory playing an important role.

**Keywords.** instrumentation for large telescopes, high resolution spectrographs, exo-planets, fundamental constants of physics, stars, galaxies.

The European Extremely Large Telescope (E-ELT) is a 1.1 billion Euro project for a 40m-class



L'Extremely Large Telescope Europeo (E-ELT) è un progetto da 1,1 miliardi di euro per la costruzione di un telescopio da 40m di diametro che consentirà di rispondere a molte delle domande aperte sull'origine Universo e dei suoi costituenti. L'E-ELT sarà il più grande telescopio al mondo per l'ottico ed il vicino-infrarosso e raccoglierà una quantità di luce 13 volte superiore rispetto ai più grandi telescopi esistenti, correggendo i disturbi dell'atmosfera e fornendo immagini più nitide rispetto a quelle del telescopio spaziale Hubble. L'E-ELT consentirà un notevole progresso della conoscenza astrofisica grazie a studi dettagliati sui pianeti intorno alle altre stelle, sulle prime galassie nell'universo, sui buchi neri molto massicci, e sulla natura della materia e dell'energia oscura nell'Universo.

L'E-ELT sarà costruito dall'European Southern Observatory, un'organizzazione internazionale costituita da 15 paesi europei che gestisce i due più grandi osservatori a livello mondiale: Paranal, sede dei telescopi VLT, e Chajnantor, sede dell'interferometro submm ALMA, entrambi in Cile.

Dopo un lungo studio preliminare di fattibilità, il *Council* dell'ESO ha deciso di iniziare la costruzione di E-ELT a gennaio 2015 con la prima luce prevista per il 2024.

E-ELT osserverà alle lunghezze d'onda tra 0,4 e 20 micron e sarà equipaggiato con cinque strumenti: MICADO, camera-spettrografo ad alta risoluzione (0,8-2,5 mm), HARMONI, spettrografo *integral field* (0,5-2,5 mm), METIS camera-spettrografo (3-30 mm), MAORY, modulo di ottica adattiva, HIRES, spettrografo ad alta risoluzione (0,4-2,5 mm) e MOS, spettrografo multi-oggetto (0,8-2,4 mm).

Gli studi preliminari di fattibilità per gli strumenti E-ELT, iniziati nel 2007 e completati nel 2010, hanno mostrato l'importanza della spettroscopia ad alta ri-

telescope that will allow us to address many of the most pressing unsolved questions about our Universe.

The E-ELT will be the largest optical/near-infrared telescope in the world and will collect 13 times more light than the largest optical telescopes existing today, correcting for the atmospheric distortions and providing sharper images than those from the Hubble Space Telescope. The E-ELT will vastly advance astrophysical knowledge by enabling detailed studies of planets around other stars, the first galaxies in the Universe, super-massive black holes and the nature of dark matter and dark energy.

The E-ELT will be built by the European Southern Observatory, an international organization made of 15 European countries which operates two unique world-class observatories in Chile: Paranal, home of the VLT telescopes, and Chajnantor, home of the ALMA submm interferometer.

After a long phase of feasibility study and preliminary design, the ESO Council decided that the construction of E-ELT would start in January 2015. The first light of the E-ELT is foreseen for 2024.

E-ELT will operate in the 0.4-20  $\mu\text{m}$  range and will have a suite of five instruments: MICADO, a high resolution camera and spectrograph (0.8-2.5  $\mu\text{m}$ ), HARMONI, an integral field spectrograph (0.5-2.5  $\mu\text{m}$ ), METIS a camera and spectrograph (3-30  $\mu\text{m}$ ), MAORY, the adaptive optics module, HIRES, a high resolution spectrograph (0.4-2.5  $\mu\text{m}$ ) and MOS, a multi-object spectrograph (0.8-2.4  $\mu\text{m}$ ).

The preliminary feasibility studies for E-ELT instrumentation were started in 2007 and completed in 2010 demonstrating the importance of optical and near-IR high resolution spectros-

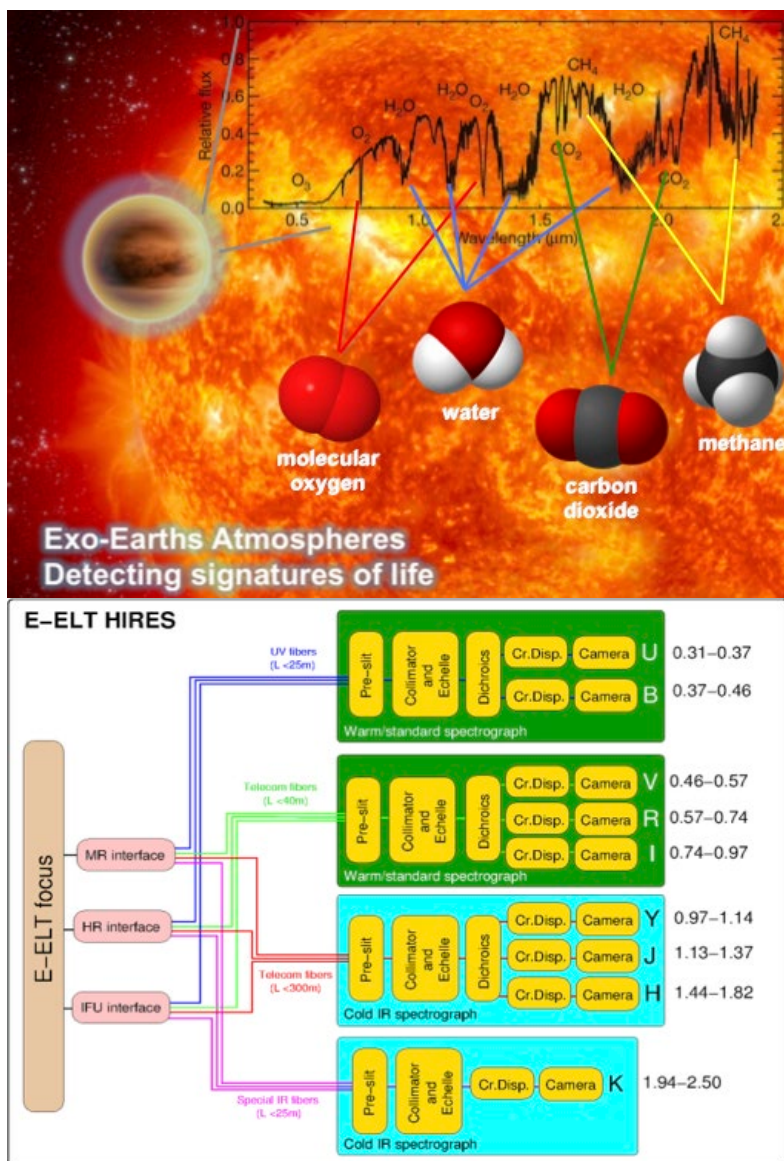


Figura 1. Alto: illustrazione dello studio delle atmosfere dei pianeti extrasolari reso possibile da HIRES. Alcuni esopianeti attraversano la linea di vista compresa tra noi e la loro stella madre; l'atmosfera dell'esopianeta assorbe parte della luce stellare dando origine a righe di assorbimento molto deboli nello spettro della stella che possono essere rivelate da HIRES, mostrando la presenza di ossigeno, e di altre molecole indicatrici della presenza di vita. Basso: concetto preliminare di HIRES costituito da 4 bracci (UB, VRI, JH e K) alimentati con fasci di fibre che portano la luce dal fuoco di E-ELT. Le diverse modalità di osservazione (singolo e multi-oggetto, *integral field*) sono possibili con l'uso di diversi fasci di fibre ottiche.

Figure 1. Top: illustration of the study of exoplanet atmospheres enabled by HIRES. Some exoplanets cross the line of sight between us and their parent star; the atmospheres of these exoplanets absorb part of the stellar light originating very faint absorption lines in the stellar spectra which can be revealed by HIRES, possibly showing the presence of oxygen, and other molecules which indicate the presence of life. Bottom: HIRES preliminary concept made of 4 spectral arms (UB, VRI, JH and K) which are fed with bundles of fibres bringing the light from the E-ELT focus. Different fibre bundles permit different observing modes (single and multi-object, *integral field*).

soluzione nell'ottico e nel vicino IR. In particolare, subito dopo la conclusione di tali studi, i due gruppi concorrenti che hanno studiato i concetti CODEX e SIMPLEX, spettrografi ad alta risoluzione per l'ottico ed il vicino infrarosso, hanno compreso l'estrema importanza di osservare contemporaneamente in queste due bande spettrali. Questo ha determinato la nascita dell'iniziativa HIRES, che ha cominciato a sviluppare il concetto di uno spettrografo in grado di fornire una risoluzione spettrale di  $R \sim 100.000$  alle lunghezze d'onda tra 0,37 e 2,5 micron.

In seguito ad un *workshop* tenutosi nel settembre 2012, l'iniziativa HIRES ha raccolto in un *White Paper* [Maiolino et al., 2013] la vasta gamma di casi scientifici proposti dalla comunità ed ha preparato un *Blue Book* con uno schema tecnico preliminare dello strumento.

Lo strumento HIRES è stato concepito per essere molto versatile, in grado di studiare una moltitudine di casi scientifici, ma con un'attenzione particolare per gli studi che possono essere eseguiti solo combinando l'alta risoluzione spettrale con la grande area di raccolta di E-ELT. In particolare, tra le scoperte più importanti che HIRES permetterà di fare, ci sono l'individuazione delle tracce di vita nelle atmosfere di exo-pianeti simili alla Terra, la scoperta delle prime stelle formatesi nell'universo, e la possibile variazione temporale delle costanti fondamentali della Fisica [Maiolino et al., 2013].

Il concetto preliminare di HIRES prevede uno strumento modulare, costituito da 4 spettrografi indipendenti, ciascuno dei quali copre un intervallo spettrale ben definito nelle bande UB, VRI, YJH e K. Questi "bracci" saranno alimentati con fasci di fibre ottiche che raccoglieranno la luce al fuoco del telescopio e la

copy. In particular, soon after the conclusion of the studies, two competing groups studying the CODEX and SIMPLEX concepts, high resolution spectrographs for the optical and near infrared wavelengths, realized the great scientific importance of covering the optical and near-infrared spectral ranges simultaneously. This marked the birth of the HIRES initiative which started developing the concept of a spectrograph capable of providing a spectral resolution of  $R \sim 100.000$  in the 0.37-2.5  $\mu\text{m}$  wavelength range.

Following an open workshop in September 2012 the HIRES Initiative prepared a White Paper [Maiolino et al., 2013] summarizing a wide range of science cases proposed by the community and assembled a Blue Book with a preliminary technical instrument concept.

The HIRES concept was conceived to be very versatile, capable of pursuing a multitude of science cases but with the focus on outstanding science cases which can only be achieved through high spectral resolution with the photon collecting area provided by the E-ELT. In particular, among the most exciting discoveries that HIRES will enable are: the detection of life signatures in the atmospheres of Earth-like exo-planets, the discovery of the first stars formed in the universe, i.e the so-called Population III stars, and the possible variation across cosmic times of the fundamental constants of Physics [Maiolino et al., 2013].

The preliminary concept envisions a modular instrument, made of 4 independent spectrographs each covering a well-defined spectral range in the bands UB, VRI, YJH and K. These "arms" will be fed with fibres which will take the light at the telescope focus and bring it into the spectrographs. The different observing modes available (single object, multi-object, inte-

porteranno agli spettrografi. Le diverse modalità di osservazione disponibili (a oggetto singolo, multi-oggetto, *integral field*) saranno ottenute con diversi fasci di fibre ottiche permettendo di non avere parti mobili in ciascuno dei bracci e consentendo così di ottenere stabilità e precisione senza precedenti [Zerbi et al., 2014; Oliva et al. 2015].

ESO ha assegnato lo studio di fattibilità e progettazione di ELT-HIRES ad un consorzio composto da istituti di 12 paesi, Brasile, Cile, Danimarca, Francia, Germania, Italia, Polonia, Portogallo, Spagna, Svezia, Svizzera e Regno Unito. L'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) è l'Istituto alla guida tecnica del consorzio, con l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri che riveste un ruolo importante nell'organizzazione. Il *Principal Investigator* (PI) del progetto è Alessandro Marconi dell'Università di Firenze, associato all'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri.

Lo studio è iniziato il 22 marzo 2016 e si concluderà il 22 marzo 2018. In caso di approvazione da parte di ESO, la costruzione dello strumento inizierà subito dopo, per arrivare al telescopio pochi anni dopo la prima luce E-ELT.

#### Bibliografia:

- [Oliva et al., 2014] Oliva E. et al. (incluso A. Marconi), "T-REX OU4 HIRES: the high resolution spectrograph for the E-ELT", 2015, *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, v.86, p.474
- [Zerbi et al., 2014] Zerbi F. et al. (inclusi A. Marconi, E. Oliva), "HIRES: the high

gral field) will be obtained with different fibre bundles and there will be no moving parts in each of the spectral arms, thus allowing for an unprecedented stability and accuracy [Zerbi et al., 2014; Oliva et al. 2015].

A consortium composed of institutes and organizations from 12 countries, Brazil, Chile, Denmark, France, Germany, Italy, Poland, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom has been awarded by ESO the final feasibility and design study for ELT-HIRES. The lead technical institute of the consortium is the Italian National Institute for Astrophysics (INAF), with an important role played by the Arcetri Astrophysical Observatory. The Principal Investigator (PI) is Alessandro Marconi from the University of Florence (Italy) and associated with the INAF - Arcetri Astrophysical Observatory.

The study started on March 22, 2016 and will be concluded on March 22, 2018. If approved, construction of the instrument will start soon after to arrive at the telescope a few years after the E-ELT first light.

#### References:

- [Oliva et al., 2014] Oliva E. et al. (including A. Marconi), "T-REX OU4 HIRES: the high resolution spectrograph for the E-ELT", 2015, *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, v.86, p.474
- [Zerbi et al., 2014] Zerbi F. et al. (including A. Marconi, E. Oliva), "HIRES: the high resolution spectrograph for the E-ELT", 2014, *Proceedings of the SPIE*, Volume 9147, id. 914723 12 pp.

resolution spectrograph for the E-ELT”, 2014, *Proceedings della SPIE*, Volume 9147, id. 914723 12 pp.

[Maiolino R. et al., 2013] Maiolino R. et al. (inclusi A. Marconi, E. Oliva), 2013, “A Community Science Case for E-ELT HIRES”, *White Paper per E-ELT HIRES*, arXiv:1310.3163

Alessandro Marconi è professore ordinario presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell’Università di Firenze. È autore di oltre 160 articoli pubblicati su riviste internazionali con referee. I suoi interessi scientifici includono i nuclei galattici attivi, i buchi neri supermassicci e la loro relazione con le galassie ospiti, l’evoluzione delle galassie con particolare riguardo all’evoluzione cosmologica delle abbondanze chimiche.

Ernesto Oliva, attualmente primo tecnologo, è dal 1985 impiegato presso l’INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri. È stato direttore del Telescopio Nazionale Galileo e responsabile tecnico/manageriale di molti progetti strumentali, tra cui HIRES. Oltre ai progetti strumentali, la sua attività di ricerca si è concentrata sullo studio spettroscopico di stelle, nebulose gassose, galassie e nuclei galattici attivi. Ha pubblicato oltre 170 articoli su riviste internazionali specializzate.

[Maiolino R. et al., 2013] Maiolino R. et al. (including A. Marconi, E. Oliva), 2013, “A Community Science Case for E-ELT HIRES”, *White Paper for E-ELT HIRES*, arXiv:1310.3163

Alessandro Marconi is a full professor of the Physics and Astronomy Department of the University of Florence. He is the author of more than 160 scientific papers published in international journals with referee. His scientific interests include active galactic nuclei, supermassive black holes and their relations with the host galaxies, evolution of galaxies with particular interest to the cosmological evolution of their chemical abundances.

Ernesto Oliva is first “tecnologo” since 1985 and he works at the Arcetri Astrophysical Observatory. He has been director of the national Telescope Galileo and technical/managerial responsible of many projects of scientific instruments like HIRES. Furthermore, his research activity has been dedicated to the spectroscopy of stars, gaseous nebulae, galaxies and active galactic nuclei. He has published more than 170 papers in specialized international journals.