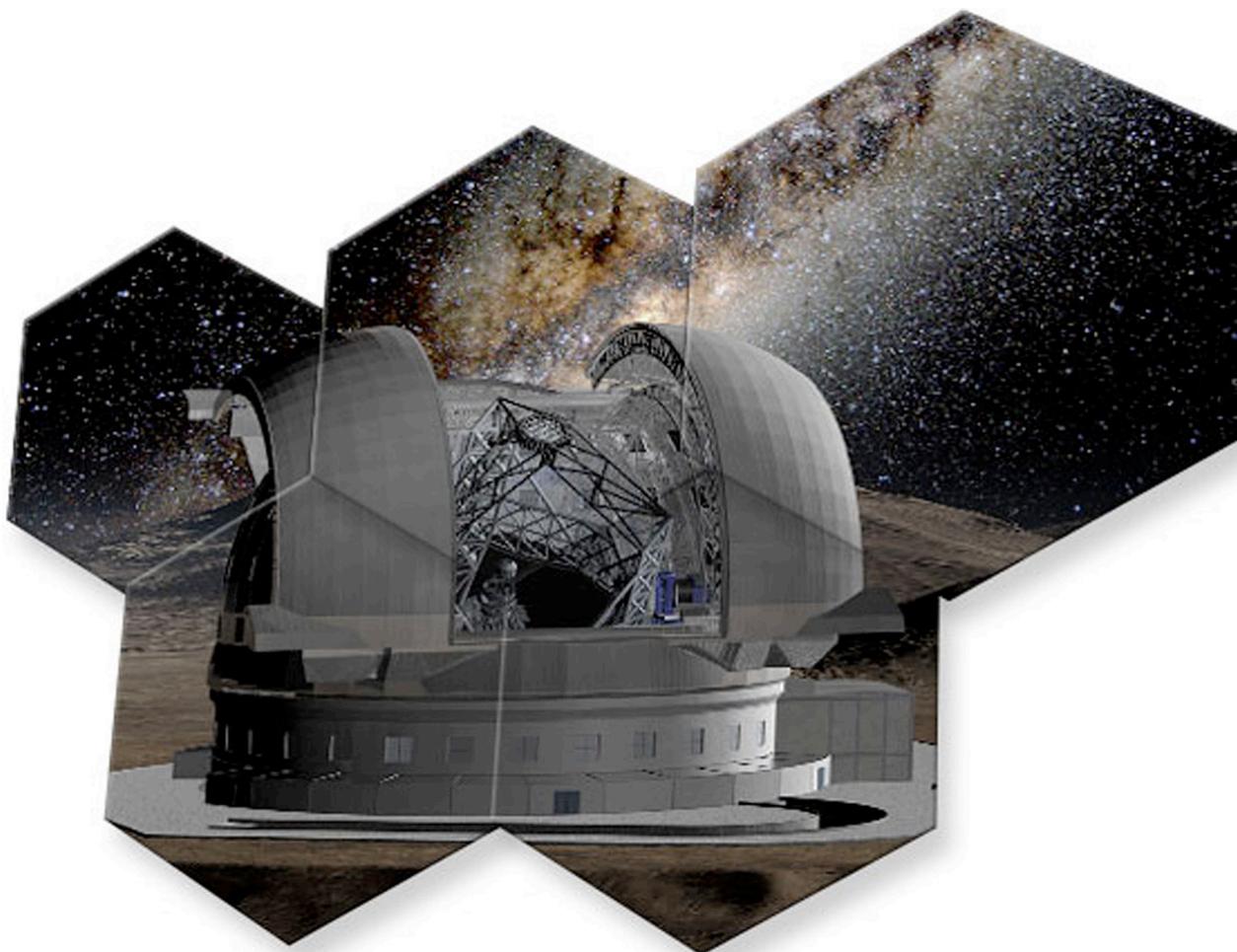


# **Progetto T-REX: tecnologie italiane per E-ELT, il più grande telescopio del mondo**

**FINANZIAMENTO  
PROGETTI PREMIALI 2011**

Proposta progettuale presentata da  
**ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA (INAF)**  
Coordinatrice del progetto  
**Monica Tosi**



Visione artistica del telescopio E-ELT (© ESO).

## TITOLO DEL PROGETTO

**Progetto T-Rex: Tecnologie italiane per E-ELT, il telescopio più grande del mondo**

## SETTORE DI AFFERENZA

**Settore Principale: Dispositivi sensoriali**

**Settori Secondari: Made in Italy, Spazio, Salute dell'Uomo, ICT, Energia**

## COORDINATRICE DEL PROGETTO

**Monica Tosi**

Vice-Presidente dell'INAF

Istituto Nazionale di Astrofisica – Osservatorio Astronomico di Bologna

Via Ranzani 1, I-40127 Bologna

Tel: +39 051 2095759; FAX: +39 051 2095700

email: monica.tosi@oabo.inaf.it

## PARTECIPANTI

R.C. Butler (Unità Operativa 3), S. Cristiani (UO4), E. Diolaiti (UO1 e 3), R. Falomo (UO3), B. Garilli (UO5), R. Gratton (UO1 e 6), A. Marconi (UO1), E. Oliva (UO1 e 4), L. Origlia (UO4), G. Pareschi (UO1 e 2), R. Ragazzoni (UO1 e 3), A. Renzini (UO3), M. Tosi (UO1), F.M. Zerbi (UO1, 2 e 4).

## RIASSUNTO DEL PROGETTO DI RICERCA

Il progetto **T-REX** (Telescopio per Raggiungere l'**EX**tremo) mira ad assicurare la massima partecipazione degli astrofisici e delle industrie italiane alla realizzazione del rivoluzionario telescopio ottico/infrarosso più grande al mondo, l'E-ELT (European Extremely Large Telescope), indicato come progetto di più alta priorità fra le grandi infrastrutture europee (ESFRI) e prossimo alla definitiva approvazione da parte dell'ESO, l'organismo intergovernativo europeo che coordina l'astrofisica da terra europea. E-ELT sarà situato nel deserto delle Ande cilene nel miglior sito astronomico del mondo e darà all'Europa la leadership mondiale nel campo dell'astrofisica, grazie alle straordinarie prestazioni delle ottiche adattive, con profondità e risoluzione in grado di vedere dalle prime stelle e galassie formatesi dopo il Big Bang a pianeti di tipo terrestre e pianeti *abitabili* orbitanti intorno ad altre stelle, oltre che consentire la scoperta di fenomeni tuttora inimmaginabili.

Per poter partecipare a questa grande opera europea in posizione preminente e ottenerne così il massimo ritorno sia in termini scientifici che tecnologici e industriali, è necessario che l'Ente nazionale italiano per la ricerca astrofisica organizzi fin da subito delle *task forces* che sfruttino i successi già ottenuti nel campo da ricercatori e aziende italiani e li traducano in progetti esecutivi che risultino vincenti nella competizione internazionale. La presente proposta illustra i vari settori specifici in cui il *Made in Italy* legato all'astrofisica è particolarmente competitivo (in particolare la costruzione della cupola, del telescopio e di almeno uno specchio deformabile e due strumenti) e chiede il finanziamento minimo necessario a trasformare il *know how*, i progetti e le idee già esistenti in progetti esecutivi da presentare all'ESO al momento dell'apertura della competizione.

## PAROLE CHIAVE

- Scienze dell'Universo: astrofisica e cosmologia, pianeti solari ed extra-solari, astrobiologia
- Cooperazione internazionale
- Ottica adattiva, mecatronica, metrologia, sistemi di controllo, sistemi criogenici
- *Know how* tecnologico e scientifico

## OBIETTIVI

La presente proposta progettuale si inserisce nel contesto della realizzazione dello European Extremely Large Telescope (E-ELT), una infrastruttura considerata di massima priorità nella European Roadmap for Research Infrastructures (ESFRI). La realizzazione di questo eccezionale telescopio, che sarà il più grande al mondo e garantirà all'Europa la leadership nel campo dell'astrofisica da terra per decenni, è gestita dallo European Southern Observatory (ESO), organizzazione intergovernativa europea di cui l'Italia è uno dei paesi membri principali.

Le caratteristiche dimensionali e le *performances* richieste di E-ELT impongono scelte optomeccaniche, metrologiche, ingegneristiche e costruttive assolutamente originali e innovative. Gli studi sviluppati negli ultimi anni hanno dimostrato la necessità di approfondire alcune problematiche chiave per garantire al progetto il raggiungimento degli obiettivi e per consentire alle aziende italiane di qualificarsi adeguatamente e nei tempi richiesti per lo sviluppo e la realizzazione di questa grandiosa opera europea. E-ELT è ora pronto ad entrare in fase di costruzione ed è dunque essenziale consolidare al più presto la posizione di INAF, degli istituti universitari e delle industrie italiane nel contesto internazionale del progetto, nonché sviluppare tecnologie, competenze e capacità abilitanti per affrontare un'impresa tanto ambiziosa.

Un aspetto fondamentale è il rafforzamento della sinergia tra Enti di ricerca e realtà industriali italiane di eccellenza, che, grazie alla loro altissima competitività nel settore, da questa impresa potranno ottenere investimenti ben superiori all'impegno finanziario che l'Italia destinerà al progetto. Il progetto E-ELT è anche una formidabile occasione per la formazione di giovani ricercatori e tecnologi e per la creazione di nuove opportunità di lavoro.

Rappresenta infine un contesto nel quale possono maturare idee con ricadute su altri settori disciplinari (*Made in Italy*, energie rinnovabili, tecnologie medicali, tecnologie dell'informazione e della comunicazione), come spesso è successo con i maggiori progetti astrofisici.

Gli obiettivi della presente proposta possono essere così sintetizzati:

1. Sviluppare i casi scientifici degli strumenti di E-ELT e definirne le specifiche tecniche.
2. Consolidare la posizione e il ruolo di INAF e di istituti Universitari italiani nei consorzi internazionali attualmente in fase di costituzione in vista della realizzazione degli strumenti di E-ELT.
3. Supportare la fase di progettazione esecutiva della strumentazione E-ELT, anche potenziando strutture e laboratori.
4. Rendere sinergiche le competenze e le capacità acquisite in campo astronomico dal mondo scientifico e produttivo.
5. Promuovere processi di integrazione fra Enti di Ricerca, Università e Industria.
6. Innovare i processi di cooperazione internazionale attraverso nuove dinamiche scientifico-industriali, rafforzando il coinvolgimento di imprese italiane nelle fasi di progettazione e costruzione di strumentazione per E-ELT.
7. Favorire la formazione di giovani ricercatori finalizzata all'occupazione, mediante l'addestramento di personale altamente qualificato da impiegare nella progettazione e nella realizzazione di strumentazione per E-ELT.
8. Sviluppare tecnologie abilitanti per garantire la fattibilità degli strumenti di E-ELT.
9. Garantire il mantenimento/accrescimento del *know how* scientifico-industriale valorizzando la proprietà intellettuale.
10. Favorire il trasferimento tecnologico dal settore della strumentazione astronomica ad altri campi quali le applicazioni energetiche da fonti rinnovabili, le tecnologie biomedicali, le tecnologie dell'informazione e della comunicazione e le tecnologie produttive mirate alla nano-elettronica tramite tecniche litografiche.

## STATO DELL'ARTE

La European Roadmap for Research Infrastructures (ESFRI) 2008 ha posto in massima priorità la costruzione di quello che sarà il più grande telescopio al mondo, E-ELT, destinato a rivoluzionare la nostra conoscenza dell'universo e dei suoi costituenti, dalle galassie primordiali ai pianeti *abitabili*. E-ELT è stato progettato e verrà costruito da ESO, di cui l'Italia è membro sin dal 1982, partecipando in modo estremamente attivo ed efficace sia all'utilizzo scientifico della strumentazione esistente sia alle attività di sviluppo delle infrastrutture e della nuova strumentazione scientifica.

Il progetto finale per E-ELT prevede un telescopio di 39 m di apertura, in grado di fornire immagini alla massima risoluzione spaziale grazie all'utilizzo di avanzatissime ottiche adattive. Questa proprietà lo renderà in grado di raggiungere una sensibilità e una definizione senza precedenti, applicabili ad una grande varietà di programmi scientifici. I principali obiettivi scientifici di E-ELT sono: 1) lo studio dell'epoca della ri-ionizzazione e delle prime stelle che l'hanno provocata, 2) lo studio delle prime galassie formatesi dopo il Big Bang e di come si formano galassie, stelle e pianeti e 3) rivelazione della presenza di pianeti extrasolari capaci di ospitare forme di vita e loro osservazione diretta.

E-ELT necessita dell'integrazione, al massimo livello, delle tecniche più avanzate in uso o in sviluppo nell'astronomia ottica/infrarossa. L'impegno tecnico e finanziario per la costruzione di E-ELT richiede necessariamente uno sforzo e un coordinamento internazionale, che trova in ESO il suo punto centrale, ma che coinvolge molti istituti nei diversi paesi aderenti. La fase di studio preliminare di E-ELT e della sua strumentazione scientifica ha già coinvolto circa quaranta istituti di ricerca europei, tra cui diverse strutture INAF e università italiane e il contributo di istituti ed imprese italiane è stato fin da subito di fondamentale importanza. Il progetto E-ELT è stato sottoposto a sistematiche verifiche, sia tecniche che di costi, da parte delle strutture di ESO e da parte di comitati di valutazione esterni ed indipendenti. Ha subito recentemente una riduzione del diametro dello specchio primario da 42m a 39m, al fine di contenere i costi di costruzione entro il limite di 1000 MEu.

Il telescopio sarà collocato sul Cerro Armazones, nel deserto roccioso di Atacama nel nord del Cile, adiacente alle infrastrutture scientifiche che già ESO ha costruito e gestisce (Very Large Telescope – Osservatorio di Paranal). Dopo quattro anni di studio, con un investimento di 65 MEu da parte di ESO, il progetto è ora pronto ad entrare in fase di costruzione, della durata prevista di 9 anni. Il *Council* di ESO ha condizionato l'approvazione dell'inizio della costruzione all'aver assicurata la disponibilità del 90% del costo previsto.

L'Italia è in grado di influire in maniera significativa sulle scelte tecnico-scientifiche di E-ELT e può quindi concorrere insieme con i maggiori partners alla definizione del futuro dell' astronomia ottica. L'Italia è infatti in posizione strategica su più fronti. Sul fronte scientifico e infrastrutturale, l'Italia ha una comunità di valore internazionale, attivamente impegnata nei campi che più beneficeranno della capacità di E-ELT di vedere più in profondità e con maggiore acutezza (pianeti *abitabili*, galassie giovani in formazione, addensamenti di "materia oscura", dinamica globale dell'Universo e "energia oscura"). Sul fronte della tecnologia, abbiamo senza alcun dubbio la leadership nel campo dei sensori di fronte d'onda, degli specchi deformabili ad alta frequenza, nelle tecnologie di realizzazione e caratterizzazione degli specchi e, in genere, dell'ottica adattiva. Sul fronte industriale, abbiamo già ottenuto commesse e risultati estremamente lusinghieri nella costruzione delle strutture di grandi telescopi e nella realizzazione di moduli ottici adattivi (ad esempio, proprio per ESO: cupola rotante e telescopio per il New Technology Telescope nel 1986-89, 4 telescopi, opere di fondazione, laboratorio Coudé per il Very Large Telescope nel 1991-2001, prototipo e produzione di 25 radiotelescopi e 150 opere di fondazione per l'Atacama Large Millimeter Array nel 1999-2003). In ambito spaziale va ricordata la realizzazione delle ottiche per raggi X dei telescopi XMM e e-Rosita con contratti diretti da parte ESA e della agenzia spaziale tedesca DLR ad aziende italiane supportate da INAF. Infine, l'Italia è partner al 25% nel Consorzio che ha costruito e opera il Large Binocular Telescope (LBT) in Arizona (USA), una coppia di specchi di più di 8 metri ciascuno di diametro con risoluzione assimilabile a quelle di un telescopio di 23 m, che rappresenta quindi un "anello di congiunzione" tra i grandi telescopi attuali (classe 8-10 m) e i

giganti del futuro come E-ELT (classe 40 m). I concetti e i prototipi in via di sviluppo per E-ELT possono perciò essere efficacemente testati e usati su LBT, per validare sia la tecnologia sia la scienza.

Lo scopo di questa proposta è agire su tutti e tre i fronti (tecnologico, industriale, scientifico) al fine di maturare le tecnologie ancora in fase di sviluppo in modo da orientare le scelte finali di ESO a vantaggio del *Made in Italy*, sia dell'industria che della scienza italiana, e preparare le industrie ai bandi di gara e la comunità scientifica ai *calls for proposals* relativi sia a sviluppi strumentali che a progetti osservativi veri e propri.



**Figura 1.** E-ELT sulla sommità di Cerro Armazones (© Swinburne Astronomy Productions/ESO).

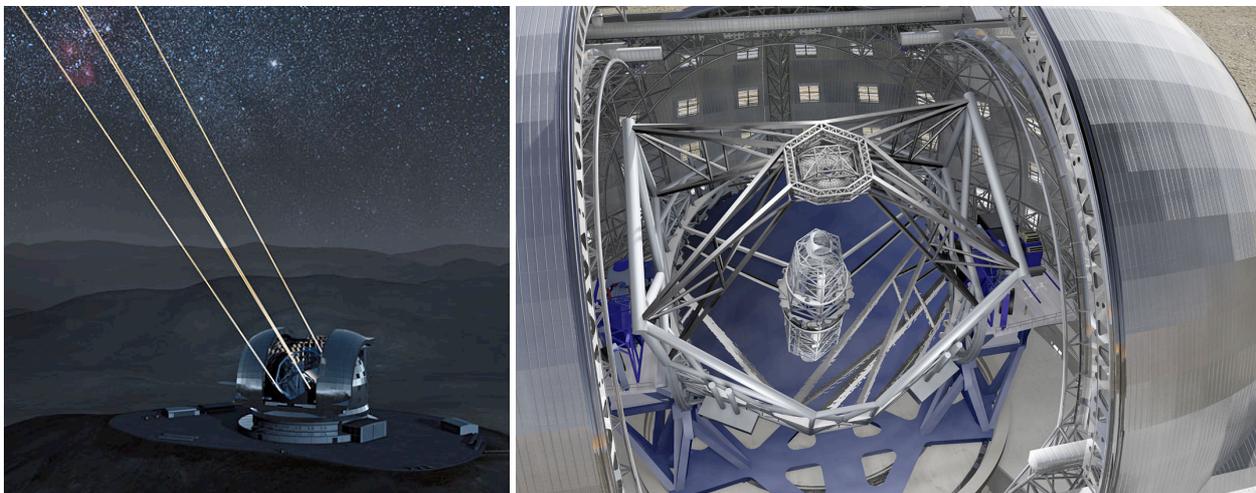
### **Contenuto innovativo e strumentazione di E-ELT: il contributo italiano**

I telescopi operanti da terra in modo convenzionale hanno una sensibilità che, a parità di altre condizioni, cresce linearmente col diametro. Questo è determinato dalla alterazione dell'immagine causata dalla turbolenza atmosferica (*seeing*). Da diversi anni sono in fase di sviluppo e applicazione sistemi di correzione ("ottiche adattive") che, compensando le alterazioni del fronte d'onda prodotte dall'atmosfera, sono in grado di produrre immagini "quasi" al limite di diffrazione dello specchio primario. Questo porta l'efficienza di acquisizione del telescopio a crescere nominalmente con la quarta potenza del diametro. In queste condizioni il vantaggio di realizzare un telescopio di grandissima apertura è evidente: passando da 8-10 m di diametro dei massimi telescopi esistenti ai 39 di E-ELT l'incremento in sensibilità è dell'ordine di un fattore 100. Ricercatori INAF e industrie italiane sono da anni all'avanguardia nello sviluppo e nella realizzazione di ottiche adattive e si può dire che esse rappresentino uno dei principali successi del *Made in Italy* in campo scientifico.

Il concetto di E-ELT vede l'ottica adattiva come elemento integrato nella struttura del telescopio. Questo richiede la realizzazione di uno specchio (denominato "M4") di 2.5 m di diametro, deformabile in modo controllato in 6000 punti, con un ciclo tipico di 1 millisecondo. Allo studio dello specchio adattivo M4 di E-ELT imprese e istituti italiani hanno contribuito in maniera determinante. Uno specchio vicino a queste caratteristiche, e unico al mondo, è stato infatti già realizzato dalle imprese italiane ADS e Microgate per LBT ed ha mostrato prestazioni di grande qualità. Queste imprese si trovano pertanto in posizione assolutamente favorevole per avere assegnato il relativo contratto: è riconosciuto che sono "gli unici al mondo" a possedere il *know-how* relativo e ad aver di fatto dimostrato che una delle componenti più critiche del progetto è effettivamente realizzabile.

Di alta competitività e di grosso impatto sui costi è la tecnica di realizzazione dei singoli (circa 1000) specchi concavi che, in mosaico, costituiranno lo specchio primario M1. L'impresa italiana Media Lario, originata da uno spin-off di INAF per la realizzazione di ottiche X di SAX all'inizio degli anni '90, ha raggiunto un alto

livello di qualificazione nella realizzazione di componenti in materiali speciali, e in particolare gli specchi, per applicazioni spaziali e da terra (progetti SAX, Swift, XMM, e-Rosita, MMT, ALMA, MAGIC e CTA), ha sviluppato una nuova tecnologia per la realizzazione degli specchi basata sul continuo scambio di know-how con INAF (OABr) e la sta proponendo a ESO in queste settimane.



**Figura 2.** A sinistra, vista di E-ELT con i fasci laser che, proiettati verso lo strato mesosferico di sodio, generano le sorgenti artificiali per la misura e la correzione della turbolenza atmosferica (© ESO/L. Calçada). A destra, vista delle ottiche del telescopio. Sono evidenti lo specchio primario, il supporto del secondario e la “torre” nel centro del primario che sostiene gli specchi M4 (adattivo) e M5 (utilizzato per la stabilizzazione dell’immagine) (© ESO).

Altro punto qualificante, che vede pressoché sicuro il coinvolgimento di imprese italiane, è la costruzione di telescopio e cupola. Date le dimensioni in gioco, la procedura di costruzione di E-ELT sarà totalmente innovativa e prevede una simultanea erezione in loco dell’edificio e del telescopio, integrando in modo nuovo tecniche usate per esempio per la costruzione delle tribune coperte dei grandi stadi e quelle tipiche della costruzione di strutture meccanico-ottiche di precisione e di grandi dimensioni. Si tratta di una modalità costruttiva che comporta lo sviluppo e il consolidamento di competenze nuove. Imprese italiane, come la EIE, si sono già qualificate in passato per saper dare risposte innovative a problemi costruttivi nuovi.

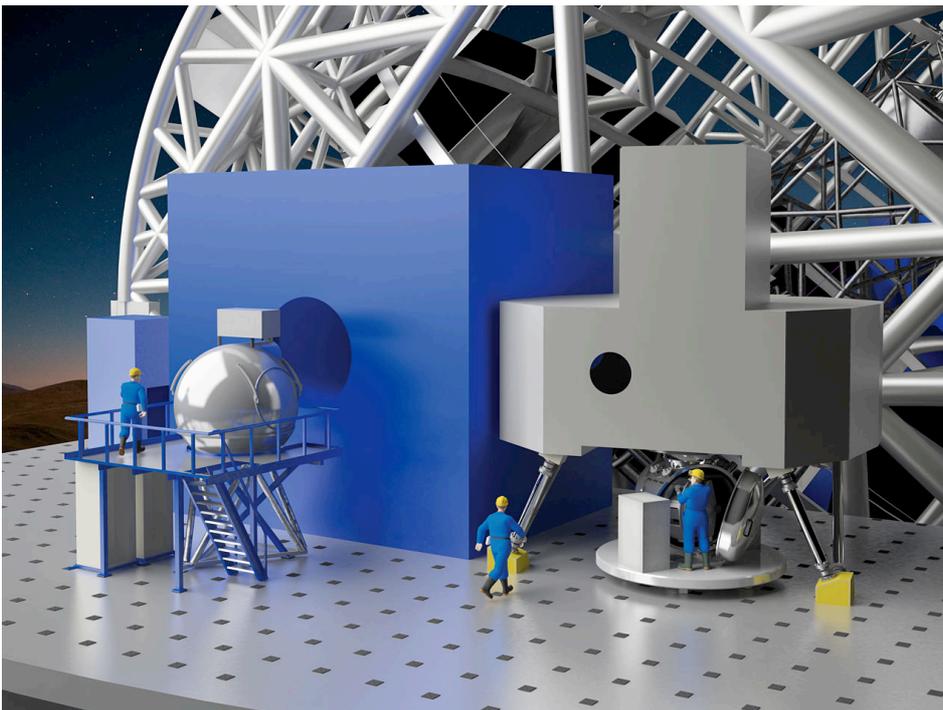
Infine, INAF e alcuni Dipartimenti di Astronomia di Università italiane (Bologna e Padova) hanno partecipato attivamente, in alcuni casi in posizione di *leadership*, alla definizione delle proposte per gli strumenti di piano focale di E-ELT, di fondamentale importanza per il raggiungimento dei suoi obiettivi scientifici prioritari. Nel 2007 ESO ha presentato un piano per la realizzazione di studi concettuali (fase-A) per alcuni strumenti e due moduli di ottica adattiva “post-focali” a complemento dell’ottica adattiva. Fra gli strumenti proposti ESO ha scelto quelli che saranno montati al telescopio fin dalla prima luce: la camera infrarossa MICADO, con il suo associato modulo per ottica adattiva multi-coniugata MAORY, e lo spettrografo HARMONY. Gli altri progetti andranno ripresentati e verranno implementati con cadenza biennale. Gli istituti INAF hanno partecipato a 7 studi e in 4 di questi hanno ricoperto ruoli di massimo livello (*principal investigator, project manager, system engineer o project/instrument scientist*). Nel seguito sono descritti brevemente gli studi che hanno coinvolto gli istituti INAF.

**MICADO** è uno dei due strumenti già approvati per l’entrata in funzione di E-ELT. È uno strumento per acquisizione di immagini infrarosse progettato per sfruttare il limite di diffrazione di E-ELT su un campo di vista di 1 arcominuto, offerto dal modulo MAORY. Grazie alla correzione adattiva di MAORY, MICADO raggiungerà eccezionali precisioni astrometriche (50-100 microarcosecondi) per studiare la cinematica delle stelle in prossimità del buco nero centrale della Galassia, stimate orbitare a velocità di  $0.1c$  ( $c$ : velocità della luce), e gli effetti dinamici prodotti da buchi neri e aloni di materia oscura. MICADO raggiungerà inoltre precisioni fotometriche di altissimo livello, che consentiranno lo studio di popolazioni stellari risolte in condizioni e in galassie mai raggiunte finora.

Ruoli di responsabilità INAF A. Renzini (OAPd): project scientist, R. Falomo (OAPd): responsabile italiano, R. Ragazzoni (OAPd): responsabile ottiche.

**MAORY** è il modulo di ottica adattiva di MICADO. Si tratta di un modulo di ottica adattiva multi-coniugata in grado di fornire una correzione “tomografica” della turbolenza atmosferica su un campo di vista di 2 arcminuti nell’intervallo spettrale 0.8-2.4  $\mu\text{m}$  con alta copertura del cielo osservabile. La correzione è realizzata mediante tre specchi deformabili, di cui due integrati nel modulo a complemento dello specchio adattivo M4 di E-ELT. Per massimizzare il livello e l’uniformità della correzione adattiva, MAORY utilizzerà nella sua modalità operativa completa fino a sei stelle artificiali laser e tre stelle naturali. MAORY è stato progettato per servire MICADO ed eventualmente un secondo strumento.

Ruoli di responsabilità INAF E. Diolaiti (OABO): principal investigator, R. C. Butler (IASFBo): project manager, I. Foppiani (OABO): system engineer.



**Figura 3.** Disposizione degli strumenti scientifici su una delle due piattaforme Nasmyth di E-ELT. In particolare sulla parte destra della figura si notano il modulo di ottica adattiva multi-coniugata MAORY e, sotto, il criostato dello strumento per acquisizione di immagini MICADO, aperto per operazioni di manutenzione. Nell’angolo in alto a destra, dietro alla struttura di supporto, si intravede la “torre” che sostiene lo specchio adattivo M4 (© ESO).

**SIMPLE** è uno spettrografo infrarosso (0.84–2.45  $\mu\text{m}$ ) ad alta risoluzione spettrale ( $R \sim 130000$ ) ed alta stabilità, in grado di fornire copertura spettrale completa in una singola esposizione. La combinazione di capacità di raccolta di luce, dovuta all’apertura di E-ELT, di risoluzione angolare garantita dall’ottica adattiva (per es. fornita dal modulo MAORY) e di risoluzione spettrale apre uno spazio di parametri di eccezionale vastità ed interesse. Tra le applicazioni scientifiche di maggior rilievo vi sono la caratterizzazione fisica e chimica delle atmosfere dei pianeti extra-solari e la tomografia del mezzo intergalattico primordiale.

Ruoli di responsabilità INAF L. Origlia (OABO): principal investigator, E. Oliva (OAA): project manager, R. Maiolino (OAR): project scientist.

**CODEX** è uno spettrografo ottico ad alta risoluzione spettrale ( $R \sim 130000$ ) ottimizzato per l’intervallo di lunghezze d’onda 0.37-0.71  $\mu\text{m}$  e ad altissima stabilità; uno degli obiettivi tecnici è il raggiungimento di una precisione nella misura di spostamenti Doppler di soli 2 cm/s su un tempo scala di 30 anni. Con queste caratteristiche CODEX sarà in grado di misurare direttamente l’espansione dell’Universo e rivelare pianeti simili alla Terra nelle zone abitabili attorno a stelle di tipo solare. CODEX sfrutterà l’eccezionale area

collettrice di E-ELT, ma non utilizzerà l'ottica adattiva destinata principalmente alle osservazioni in infrarosso.

Ruoli di responsabilità INAF F. M. Zerbi (OABr): system engineer, S. Cristiani (OATs): membro del Board

**EPICS** è uno strumento progettato per rivelare e studiare pianeti extra-solari, obiettivo scientifico prioritario di E-ELT. EPICS utilizza un sistema di ottica adattiva "estremo", integrato nello strumento stesso a completamento dell'ottica adattiva del telescopio, in grado di ottenere livelli eccezionali di compensazione della turbolenza atmosferica nell'intervallo spettrale 0.6-1.65  $\mu\text{m}$  su un campo di vista molto ristretto, utilizzando come sorgente di riferimento la stella naturale attorno alla quale orbita il pianeta cercato.

Ruoli di responsabilità INAF R. Gratton (OAPd): project scientist.

**OPTIMOS** è uno spettrografo multi-oggetto con risoluzione spettrale media in grado di sfruttare quasi per intero il campo di vista di E-ELT. Sono stati studiati due concetti in parallelo: EVE (spettrografo a fibre, con risoluzione spettrale fino a  $R=30000$  nell'intervallo spettrale 0.3-1.7 $\mu\text{m}$ ) e DIORAMAS (spettrografo a maschere con più bassa risoluzione spettrale dell'ordine di  $R=3000$  e con capacità di effettuare anche immagini molto profonde). I casi scientifici dei due concetti spaziano dallo studio di galassie ad alto redshift alle popolazioni stellari in galassie vicine, fino allo studio di pianeti extra-solari.

Ruoli di responsabilità INAF B. Garilli (IASFMi): Instrument Scientist di OPTIMOS-DIORAMAS.

#### **Gli SPECCHI M1 e M4**

**Lo specchio primario M1** di E-ELT ha configurazione ellittica, f-number 0.93 e un diametro di 39 m. Sarà formato da 798 segmenti esagonali, più altri 200 elementi per permettere un'efficace manutenzione. I segmenti sono di forma esagonale per implementare un unico sistema di montaggio per tutti i pannelli, ciascuno dei quali ha una dimensione massima di 1.45 m. La realizzazione di un così alto numero di pannelli costituisce un'importante sfida industriale. L'industria Media Lario si sta proponendo per la produzione di tutti o parte dei pannelli usando tecniche deterministiche di *polishing* già sperimentate in altri settori e sviluppate insieme ad INAF (OABr), in particolare il *bonnet polishing* e l'*ion-figuring* (INAF-OABr è l'unico ente che detiene in Italia il *know-how* e le *facility* per questa tecnologia). ESO ha già manifestato interesse a questo contributo italiano e una serie di contatti e incontri sono in corso. In questo processo INAF svolgerà un ruolo importante nel trasferimento a Media Lario del *know-how* per l'*ion-figuring*, nell'*assessment* della tecnologia del *bonnet polishing* e nello sviluppo della metrologia associata.

**Lo specchio adattivo M4** è progettato per correggere la turbolenza atmosferica e fornire immagini infrarosse limitate essenzialmente solo dalla diffrazione. Le dimensioni di questo specchio sono imposte dal disegno ottico del telescopio, mentre la spaziatura degli attuatori è limitata dalle tecnologie esistenti. Lo specchio ha un diametro di 2.5m e presenta 6000 attuatori di tipo *voice coil*, controllati ad una frequenza temporale tipica di 1 kHz. Il disegno di base prevede uno specchio deformabile sottile, di circa 2mm di spessore, suddiviso in 6 petali. Lo studio di M4 ha visto la partecipazione di un consorzio industriale italiano (ADS & Microgate) e di un gruppo di ricerca INAF (sedi OAA e OABr).

Ruoli di responsabilità INAF F. M. Zerbi (OABr): responsabile scientifico delle proposte industriali a ESO.

Ad integrazione di questa panoramica è utile ricordare alcuni fatti che dimostrano il livello di eccellenza e il riconoscimento attribuito a INAF a livello internazionale ed in particolare in ambito ESO:

- M. Tosi (OABo) è membro dal 2006 dell'E-ELT Standing Review Committee, il comitato internazionale incaricato della valutazione critica delle scelte scientifico-tecniche dell'ESO per il progetto E-ELT. A. Marconi (Uni.Fi) è membro dal 2009 e chair dal 2012 dello Scientific and Technical Committee (STC) dell'ESO che valuta tutte le sue scelte strumentali. F. M. Zerbi (OABr) è stato membro dell'E-ELT Instrument Project Office a ESO dal 2006 al 2010, fino al completamento del primo *Construction proposal*, dedicando il 40% del suo tempo lavorativo al progetto come *unpaid associate* di ESO con il ruolo di *Instrument System Engineer*. R. Ragazzoni (OAPd) ha partecipato alla *review* del progetto E-ELT tenutasi a ESO-Garching nel 2010 come membro della commissione di valutazione, composta da 7 membri di cui 3 europei. Scopo della *review* era identificare le aree critiche del progetto e valutare le stime di costi e di tempi.

- Lo studio di fase A del modulo di ottica adattiva multi-coniugata MAORY, uno degli strumenti che opereranno dalla prima luce e che costituisce un elemento essenziale del concetto innovativo del telescopio, è stato affidato ad un consorzio internazionale coordinato da INAF. L'affidamento è avvenuto a seguito di una procedura di negoziazione diretta, a testimonianza dell'alto grado di affidabilità e di competenza riconosciuto da ESO a INAF.
- Lo studio di fase A dello spettrografo infrarosso SIMPLE è stato condotto da un consorzio internazionale a leadership INAF. Il concetto strumentale proposto era stato selezionato da ESO a seguito di una *call for open concepts* internazionale.
- I membri del consorzio CODEX hanno partecipato e rivestito ruoli di *leadership* nella maggior parte dei più importanti spettrografi costruiti in Europa negli ultimi 20 anni (Elodie, Coralie, Sophie, FEROS, UVES, FLAMES ...) e in particolare in HARPS (the High Accuracy Radial velocity Planet Searcher), che ha scoperto il maggior numero di pianeti extrasolari attualmente noti.
- Le scelte tecnologiche effettuate da OATs nell'ambito degli studi di fase A di CODEX e OPTIMOS sono state giudicate molto positivamente da ESO e hanno prodotto un ulteriore contratto tra la "Technology and Software Development Division" di ESO e OATs per uno studio più approfondito sulla loro applicabilità anche ad altri strumenti ESO di nuova generazione.

## **Il ruolo delle imprese italiane**

In passato l'industria italiana ha contribuito in modo significativo alla costruzione del VLT (Ansaldo, EIE) e alla costruzione di ALMA, ora in fase di conclusione (EIE, Media Lario, Thales - Alenia Italia e sottocontraenti).

In fase di progetto di E-ELT sono stati investiti da ESO 48 MEU in contratti industriali. Di questi, 8,3 MEU sono andati a imprese italiane. Essi includono contratti per il disegno complessivo di struttura ed edificio, e la progettazione di M4, specchio adattivo che costituisce una delle chiavi della novità tecnica del telescopio.

Le imprese più direttamente coinvolte sono:

- ADS & Microgate (Lecco, Bolzano): sviluppo dello specchio adattivo M4, attività in cui le imprese hanno acquisito una competenza unica al mondo. Nelle fasi preliminari il consorzio industriale è stato affiancato da INAF (OAA e OABr) soprattutto per la caratterizzazione delle superfici ottiche, attività che continuerà anche nella fase implementativa fino alla delivery finale.
- EIE (Mestre): disegno della struttura e dell'edificio. Impresa con esperienza internazionale di alto livello nella progettazione e realizzazione di grandi infrastrutture scientifiche.
- Media Lario (Lecco): produzione di segmenti dello specchio principale con nuove tecnologie di *figuring* ottico di tipo deterministico come il *bonnet polishing* e l'*ion figuring* e di metrologia avanzata delle superfici. In queste operazioni, specialmente nella fase di *assessment* preindustriale dei metodi produttivi, Media Lario sarà affiancata da INAF (OABr)

Imprese italiane altamente specializzate sono state coinvolte anche negli studi di fase A degli strumenti per E-ELT. Tra queste ricordiamo

- Tomelleri s.r.l. (Villafranca, VR), specializzata nella progettazione e realizzazione di sistemi meccanici per telescopi e strumentazione astronomica;
- CRIOTEC Impianti s.r.l. (Chivasso, TO), specializzata in sistemi criogenici per applicazioni scientifiche come la fisica nucleare (CERN, INFN) e l'astronomia (ESO VLT, INAF TNG).

Diverse industrie nazionali potranno essere coinvolte su contratti "minori", come già avvenuto con VLT, LBT, ALMA e altri telescopi: alimentatori, elettronica di alta stabilità, meccanica di precisione, sistemi di controllo, sistemi di produzione "locale" di energia elettrica, *piping*, simulazioni e modellazione (tunnel a vento) del comportamento aerodinamico della struttura, componenti ottici (Gestione Silo). Altre industrie sono coinvolgibili su contratti "maggiori", in dipendenza dalla loro politica industriale, dalla competitività tecnica e economica su specifici sottosistemi, dalla necessità di ragionevole "distribuzione geografica" dei contratti e sottocontratti all'interno dei paesi membri. Esempi sono imprese quali EIE, Ansaldo-Camozzi o Thales-Alenia Italia nella costruzione della struttura (esperienze passate VLT, LBT, ALMA) o consorzi di imprese quali Technosud.

È bene osservare che, rispetto a due decenni fa, la partecipazione italiana nella costruzione di infrastrutture è evoluta da attività principalmente di carpenteria meccanica di (relativa) precisione su grandi dimensioni, ad attività con un contenuto di *know-how* molto più alto e articolato: sistemi di controllo, nuovi materiali, integrazione di tecnologie diverse all'interno di strumentazione di nuova concezione.

La quota di contratti assegnabili da ESO sulle prime tre voci supera prevedibilmente il contributo straordinario che l'Italia dovrebbe versare nel decennio 2011-2021.

## ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO E TEMPI DI REALIZZAZIONE

Il piano di implementazione della strumentazione di E-ELT formulato da ESO nel dicembre 2011 nell'ultima versione dell' "E-ELT Construction Proposal" prevede per il prossimo quinquennio:

- nel 2012 decisione finale su E-ELT e assegnazione dei contratti di costruzione di fondazione, telescopio e specchi; finalizzazione dei requisiti tecnico-scientifici e delle architetture ottiche degli strumenti di prima luce (MICADO e MAORY per l'Italia), sviluppo dei requisiti scientifici per spettrografi multi-object MOS (OPTIMOS) e ad alta risoluzione HIRES (CODEX e SIMPLE) e *call for proposals* per *enabling technology development* (ETD) per PCS, lo strumento camera/spettrografo ad altissima risoluzione per la scoperta di pianeti extra-solari simili alla Terra (EPICS)
- nel 2013 sviluppo delle specifiche tecniche e inizio della costruzione degli strumenti di prima luce e *call for proposals* per MOS/HIRES,
- nel 2014 ETD per MOS/HIRES e PCS
- nel 2015 selezione fra MOS e HIRES e *call for proposals* per nuovi strumenti
- nel 2016 sviluppo delle specifiche tecniche e inizio della costruzione del prescelto fra MOS e HIRES.

Pertanto, è urgente procedere per massimizzare l'impatto della comunità italiana sulle scelte di ESO e il corrispondente ritorno scientifico ed industriale, in particolare sui fronti dove INAF e le aziende italiane sono già favorite o hanno alte potenzialità: cupola e fondazione, specchio M4 ed eventualmente primario, camera infrarossa di prima luce e relativo modulo per l'ottica adattiva e strumenti successivi. Questo è appunto lo scopo del presente progetto premiale.

Anzitutto saranno fondamentali le attività relative allo specchio primario M1 e a quello adattivo M4, poiché essi sono parte integrante del telescopio stesso ed hanno quindi massima priorità temporale. Il periodo 2012-2014 si può quindi identificare con una fase avanzata di progettazione esecutiva e di preparazione alla costruzione degli specchi. Le attività riguardanti le industrie, e con ogni probabilità il consorzio di imprese italiane, saranno finanziate direttamente da ESO. Tuttavia è di fondamentale importanza in questo contesto l'attività di INAF di ricerca e sviluppo, di supporto alla progettazione e, successivamente, all'integrazione.

Contemporaneamente è necessario procedere immediatamente alla finalizzazione dei progetti già proposti o ideati dalle ditte italiane per la costruzione del telescopio e della cupola, verificando tutte le interfacce, la funzionalità dei vari sottosistemi e del "sistema osservatorio", la fabbricabilità, la montabilità e la manutenibilità.

Per gli strumenti di prima luce, MICADO e MAORY (che assieme costituiscono il sistema denominato ELT-CAM), la costruzione è prevista iniziare nel 2013. Pertanto, nel 2012 si prevede un'intensa attività di sviluppo di requisiti scientifici e tecnici, in particolare relativi all'architettura del sistema di ottica adattiva, in stretta collaborazione con ESO, nonché un'attività di ricerca e sviluppo di soluzioni tecniche e di tecnologie abilitanti da implementare nelle fasi successive di progettazione esecutiva degli strumenti. Nel 2012 si dovrà inoltre procedere a consolidare i consorzi internazionali e a preparare i piani operativi da sottoporre alla valutazione di ESO per la costruzione di MAORY e di MICADO. Nel caso di MAORY, INAF dovrà svolgere il ruolo di coordinatore del progetto.

Gli strumenti previsti dopo la prima luce del telescopio hanno uguale priorità scientifica. ELT-MOS è uno spettrografo multi-oggetto basato su vari studi di fase A incluso OPTIMOS, al quale INAF ha contribuito in maniera determinante. ELT-HIRES è uno spettrografo ad alta risoluzione spettrale, ottico e/o infrarosso,

basato sugli studi di fase A di CODEX e SIMPLE, ai quali INAF ha partecipato con ruoli di massimo livello tecnico e scientifico (SIMPLE è uno dei due studi di fase A con *principal investigator* di INAF, assieme a MAORY). Considerazioni di carattere pratico e scientifico fanno ritenere altamente probabile che ELT-HIRES sia un ottimo candidato ad entrare in funzione subito dopo gli strumenti di prima luce. Nel periodo 2012-2014 sono previste per ELT-HIRES e ELT-MOS una serie di eventi ed attività chiave: sviluppo di requisiti scientifici, sviluppo di tecnologie abilitanti ed una *call for proposals* competitiva alla quale la comunità INAF dovrà partecipare.

Lo strumento ELT-PCS è dedicato alla rivelazione, osservazione e caratterizzazione di pianeti extra-solari nelle fasce di abitabilità attorno ad altre stelle. È basato sullo studio di fase A di EPICS, al quale INAF ha partecipato con un ruolo di responsabilità scientifica. La tecnologia richiesta per la realizzazione di questo strumento non è ancora ad un livello di maturità sufficiente. Per questo motivo si intende procedere con un'attività di sviluppo tecnologico prevista terminare non prima del 2017. In questa fase è fondamentale che INAF partecipi a queste attività di sviluppo, che devono essere guidate dai requisiti scientifici prioritari dello strumento.

Sulla base delle precedenti considerazioni si può formulare il piano temporale della presente proposta progettuale. Nello schema seguente sono previste quattro tipologie di attività o fasi temporali:

- R&S: Ricerca & Sviluppo (definizione di requisiti scientifici/tecnici, sviluppo di tecniche e tecnologie abilitanti)
- Fase preparatoria: organizzazione dei consorzi internazionali che costruiranno gli strumenti, pianificazione delle attività
- Fase B: progettazione preliminare, a seguito degli studi concettuali di fase A
- Fase C: progettazione finale (esecutiva) e preparazione alla successiva fase di realizzazione.

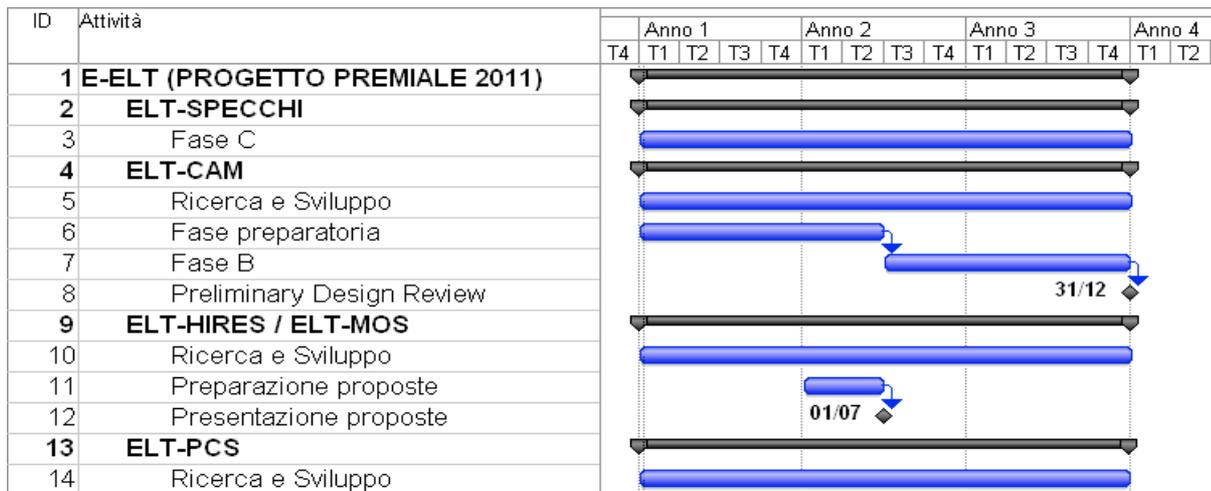


Figura 4. Piano temporale della proposta progettuale di INAF relativa a E-ELT. Le date delle *milestones* sono indicative, legate alla tempistica del progetto globale stabilita da ESO.

## RUOLO DELLE UNITÀ OPERATIVE

Presso INAF saranno costituite le seguenti Unità Operative (il primo partecipante di ogni Unità è il coordinatore):

UNITÀ OPERATIVA	PARTECIPANTI
1 ELT-INAF COORD	<b>M. Tosi</b> (OABo), E. Diolaiti (OABo), R. Gratton (OAPd), A. Marconi (UniFi), E. Oliva (OAA), G. Pareschi (OABr), R. Ragazzoni (OAPd), F.M. Zerbi (OABr)
2 ELT-SPECCHI	<b>F. M. Zerbi</b> (OABr, responsabile proposta industriale M4), G. Pareschi (OABr), E. Molinari (IASFMi), A. Riccardi (OAA), P. Spanò (OABr), M. Xompero (OAA), L. Miglietta (OAA), R. Briguglio (OAA), A. Bianco (OABr), M. Ghigo (OABr), S. Basso (OABr), O. Citterio (OABr)
3 ELT-CAM	<b>E. Diolaiti</b> (OABo, Principal Investigator di MAORY), <b>R. C. Butler</b> (IASFBo, Project Manager di MAORY), <b>R. Falomo</b> (OAPd, responsabile italiano di MICADO), <b>I. Foppiani</b> (OABo, System Engineer di MAORY), <b>A. Renzini</b> (OAPd, Project scientist di MICADO), A. Baruffolo (OAPd), L. Bedin (OAPd), M. Bellazzini (OABo), G. Bregoli (OABo), P. Ciliegi (OABo), G. Cosentino (UniBo), L. Greggio (OAPd), E. Held (OAPd), M. Lombini (OABo), D. Magrin (OAPd), G. Piotto (UniPd), R. Ragazzoni (OAPd, esperto di ottica adattiva), L. Schreiber (UniBo), J. Farinato (OAPd), V. Viotto (OAPd), A. Brunelli (OAPd), M. Bergomi (OAPd), M. Dima (OAPd)
4 ELT-HIRES	<b>L. Origlia</b> (OABo, Principal Investigator di SIMPLE), <b>S. Cristiani</b> (OATs, executive board di CODEX), <b>R. Maiolino</b> (OAR, Project scientist di SIMPLE), <b>E. Oliva</b> (OAA, Project Manager di SIMPLE), <b>F. M. Zerbi</b> (OABr, system engineer di CODEX), C. Baffa (OAA), V. Biliotti (OAA), P. Bonifacio (Obs. Paris), A. Bragaglia (OABo), R. Cirami (OATs), M. Comari (OATs), I. Coretti (OATs), V. D'Odorico (OATs), C. Del Vecchio (OAA), P. di Marcantonio (OATs), D. Fierro (INAF), F. Fiore (OAR), E. Giani (OAA), A. Miglietta (OAA), P. Molaro (OATs), P. Montegriffo (OABo), A. Riccardi (OAA), M. Riva (OABr), P. Santin (OATs), M. Sozzi (OAA), P. Spanò (OABr), L. Testi (OAA/ESO), A. Tozzi (OAA), E. Vanzella (OATs), M. Viel (OATs)
5 ELT-MOS	<b>B. Garilli</b> (IASFMi, Instrument scientist di Optimos-Dioramas), V. de Caprio (OANa), P. di Marcantonio (OATs), A. Fontana (OAR), D. Maccagni (IASFMi), P. Spanò (OABr), M. Scodreggio (IASFMi), L. Chiappetti (IASFMi)
6 ELT-PCS	<b>R. Gratton</b> (OAPd, Project scientist), M. Bonavita (OAPd), D. Mesa (OAPd)

(\*) Acronimi istituti

IASFBo: INAF - Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica cosmica di Bologna

IASFMi: INAF - Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica cosmica di Milano

INAF: Sede centrale Istituto Nazionale di Astrofisica

OAA: INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri

OABo: INAF - Osservatorio Astronomico di Bologna

OABr: INAF - Osservatorio Astronomico di Brera

OANa: INAF - Osservatorio Astronomico di Napoli

OAPd: INAF - Osservatorio Astronomico di Padova

OAR: INAF - Osservatorio Astronomico di Roma - Monte Porzio

OATs: INAF - Osservatorio Astronomico di Trieste

UniBo: Università di Bologna

UniFi: Università di Firenze

UniPd: Università di Padova

### **Unità Operativa 1 ELT-INAF COORD**

L'Unità Operativa ELT-INAF COORD ha la responsabilità del coordinamento globale del progetto e dei rapporti con la sede centrale di INAF. Favorisce le sinergie tra le altre Unità Operative, soprattutto in termini di condivisione di risorse. Supporta le Unità Operative nelle relazioni internazionali, per esempio con ESO. Coordina il potenziamento dei laboratori e delle strutture necessarie per l'integrazione di strumenti di E-ELT. Favorisce i rapporti tra le Unità Operative e le imprese italiane che possono essere coinvolte nel progetto E-ELT, con lo scopo di creare una solida rete di collaborazioni tra INAF e imprese a vantaggio di entrambe le parti: per INAF, che può disporre di un appoggio industriale competitivo, e per le imprese, che possono valorizzare il loro potenziale innovativo e le loro capacità produttive. Infine ELT-INAF COORD, in collaborazione con il Servizio Innovazione Tecnologica di INAF, supporta le attività di trasferimento tecnologico.

### **Unità Operativa 2 ELT-Specchi (M4 e segmenti specchi primario M1)**

L'Unità Operativa ELT-SPECCHI supporta sia l'attività di progettazione esecutiva dello specchio adattivo M4 e le attività preparatorie alle successive fasi di costruzione, integrazione e verifica dello specchio, sia l'attività di *assessment* delle attività di *polishing* e metrologia per la produzione dei segmenti dello specchio primario M1.

Le principali attività di ricerca e sviluppo sono:

- a) uso di Computer Generated Holograms (CGH) in interferometria avanzata di grandi superfici ottiche,
- b) studio di software specifici per la gestione di specchi adattivi di grandi dimensioni e segmentati,
- c) studio di tecniche di co-phasing per specchi adattivi segmentati di grandi dimensioni,
- d) tecniche di figuring ad alta precisione basate su bonnet polishing e ion figuring,
- e) tecniche metrologiche avanzate per grandi superfici.

### **Unità Operativa 3 ELT-CAM**

L'Unità Operativa ELT-CAM collabora con ESO allo sviluppo dei requisiti scientifici e tecnici e alla progettazione dello strumento di prima luce ELT-CAM, costituito dai sotto-sistemi MICADO (strumento per acquisizione di immagini) e MAORY (modulo di ottica adattiva).

Per MICADO, l'Unità Operativa ELT-CAM opera per consolidare il ruolo di INAF nel consorzio internazionale che costruirà MICADO e si occupa dello sviluppo dei casi scientifici.

Per MAORY, l'Unità Operativa ELT-CAM ha la responsabilità della definizione del consorzio internazionale che costruirà MAORY, consolidando il ruolo di coordinamento di INAF in questo consorzio.

Si occupa inoltre delle seguenti attività preparatorie di ricerca e sviluppo relative a MAORY:

- a) potenziamento di un prototipo di laboratorio del sistema di ottica adattiva a stelle di guida laser e naturali, per studiare metodi di misura e ricostruzione del fronte d'onda
- b) studio degli effetti dello strato di sodio sul sistema di misura del fronte d'onda a stelle laser
- c) sviluppo di disegni ottici alternativi del modulo, compatibili con specchi deformabili post-focali di dimensioni ridotte
- d) implementazione e sviluppo di un codice di simulazione numerico per la modellazione dettagliata delle prestazioni del sistema di ottica adattiva
- e) sviluppo di metodi di analisi di dati ottimizzati per osservazioni con ottiche adattive
- f) studio concettuale di un metodo di misura del fronte d'onda basato sul solo utilizzo di stelle naturali, complementare allo schema di base implementato in MAORY che utilizza sia stelle di guida artificiali che naturali.

L'Unità Operativa ELT-CAM ha collaborazioni internazionali con istituti dei seguenti Paesi: Francia (Observatoire de Paris – LESIA, Office National d'Etudes et de Recherches Aerospatiales), Germania (ESO, Max-Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Max-Planck Institute for Astronomy, Universitaets-Sternwarte Munich), Paesi Bassi (Nederlandse Onderzoekschool Voor Astronomie, Universities of Leiden and Groningen) ed eventualmente altri.

#### **Unità Operativa 4 ELT-HIRES**

L'Unità Operativa ELT-HIRES si occupa dello sviluppo dei casi scientifici dei concetti strumentali CODEX e SIMPLE di spettrografi ad alta risoluzione spettrale. Valuta possibili sinergie dei due strumenti. Partecipa alla *call for proposals* di ESO prevista per il 2013. Opera per consolidare il ruolo di coordinamento di INAF in questi progetti.

Le principali attività di ricerca e sviluppo sono

- a) Studio dell'anamorfismo per ridurre le dimensioni dei reticoli
- b) Sviluppo di software di elaborazione dati specifico per spettri *Echelle* a pupilla *sliced*
- c) Studio di reticoli Echelle di grandi dimensioni (tecniche di produzione e di montaggio)
- d) Studio di reticoli di volume avanzati
- e) Studio e test di fibre ottiche specifiche per l'infrarosso (anche in polimeri fluorurati, utilizzate nelle telecomunicazioni)
- f) Studio di sistemi di raffreddamento criogenici per l'infrarosso
- g) Studio di aspetti di stabilità di uno strumento HIRES sulla piattaforma Nasmyth di E-ELT.

L'Unità Operativa ELT-HIRES ha collaborazioni internazionali con istituti dei seguenti Paesi: Cile (Pontificia Universidad Catolica de Chile), Germania (ESO, Thuringer Landessternwarte), Gran Bretagna (Institute of Astronomy, University of Cambridge), Spagna (Instituto de Astrofísica de Canarias), Svezia (Uppsala Astronomical Observatory), Svizzera (Observatoire Astronomique de l'Université de Genève).

#### **Unità Operativa 5 ELT-MOS**

L'Unità Operativa ELT-MOS si occupa dello sviluppo dei casi scientifici dei concetti strumentali OPTIMOS-EVE e OPTIMOS-DIORAMAS. Valuta possibili sinergie dei due concetti strumentali. Partecipa alla *call for proposals* di ESO prevista per il 2013.

Le principali attività di ricerca e sviluppo sono

- a) Studio di schemi e meccanismi robotici di scambio di filtri e reticoli
- b) Studio di fibre ottiche di piccolo diametro ( $< 100 \mu\text{m}$ ) per massimizzare la risoluzione spettrale.

L'Unità Operativa ELT-MOS ha collaborazioni internazionali con istituti dei seguenti Paesi: Brasile (Laboratorio Nacional de Astrofísica, Observatorio de Sao Paulo, Observatorio Nacional Rio de Janeiro), Danimarca (Niels Bohr Institute Copenhagen University), Francia (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, Observatoire de Haute Provence, Observatoire de Paris - GEPI), Germania (Landessternwarte Zentrum für Astronomie), Gran Bretagna (Rutherford Appleton Laboratory Oxford, University of Oxford), Paesi Bassi (Nederlandse Onderzoekschool Voor Astronomie), Spagna (Instituto de Astrofísica de Canarias), Svizzera (Observatoire de Genève).

#### **Unità Operativa 6 ELT-PCS**

L'Unità Operativa ELT-PCS si occupa dello sviluppo dei casi scientifici di EPICS. Collabora con ESO agli sviluppi tecnologici richiesti per la realizzazione dello strumento. Si occupa dello studio di soluzioni innovative per spettroscopia a campo integrale per l'osservazione e la caratterizzazione di pianeti extra-solari. Fondamentale è il coinvolgimento di ELT-PCS nello strumento SPHERE, dedicato alla ricerca di pianeti extra-solari e prossimo ad essere installato sul Very Large Telescope di ESO.

L'Unità Operativa ELT-PCS ha collaborazioni internazionali con istituti dei seguenti Paesi: Francia (Laboratoire d'Astrophysique de l'Observatoire de Grenoble, d'Astrophysique de Marseille, Observatoire de Paris - LESIA), Germania (ESO), Gran Bretagna (University of Oxford), Paesi Bassi (NOVA, Universities of Amsterdam and Utrecht), Svizzera (ETH Zurich).

### **COSTO DEL PROGETTO**

I costi della presente proposta progettuale sono una fonte essenziale di finanziamento per consentire la partecipazione di INAF alla costruzione degli strumenti di E-ELT.

Nella stima dei costi è importante considerare il fatto che ESO, mentre finanzia interamente la costruzione del telescopio e della struttura, per gli strumenti intende coprire esclusivamente i costi per l'acquisto di hardware e componenti ("capital costs"). Gli altri costi dovranno essere sostenuti dagli istituti che li costruiranno e saranno rimborsati esclusivamente sotto forma di tempo di osservazione garantito su E-ELT.

È quindi evidente che un finanziamento su fondi premiali è di fondamentale importanza per coprire costi quali:

- personale: giovani ricercatori e tecnologi da formare e reclutare per gli scopi del progetto,
- acquisto di attrezzature e di strumentazione per la realizzazione di prototipi e per le fasi di integrazione degli strumenti,
- studi industriali (ad eccezione dei contratti appaltati direttamente da ESO ad imprese italiane, che riguardano però parti del telescopio, quali la cupola, la struttura meccanica, lo specchio M4),
- costi per sviluppi tecnologici non coperti da ESO.

I costi previsti per la presente proposta triennale sono dettagliati nella tabella seguente.

Voce di spesa	Costi per anno in migliaia di Euro		
	Anno 1	Anno 2	Anno 3
Personale contratti a termine	1000	1000	1000
Attrezzature	1000	700	700
Prototipi e studi industriali	700	1200	1100
Missioni	200	200	200
Spese generali	1000	600	600
TOTALE	3900	3700	3600

Questo finanziamento è essenziale per consentire a INAF e all'astronomia italiana di partecipare in ruolo preminente al consorzio internazionale che costruirà e sfrutterà E-ELT, con tutte le sue importanti ricadute scientifiche ed industriali.

## **RISULTATI ATTESI E POTENZIALITÀ APPLICATIVE**

### ***Risultati di interesse per l'avanzamento tecnologico***

Lo sviluppo di strumentazione astronomica per un telescopio avveniristico come E-ELT implica enormi avanzamenti nei più svariati campi tecnologici: ingegneria dei sistemi, ottica, meccanica, ingegneria del software, automazione, componenti e sistemi elettronici, micro- e nano-elettronica, ecc. Nel caso specifico di E-ELT e della sua strumentazione, il massiccio impiego di tecniche di ottica attiva ed adattiva consentirà indubbi avanzamenti nel campo dei controlli automatici, dei dispositivi sensoriali e degli attuatori.

### **Risultati strategici**

Con il progetto proposto INAF potrà contribuire alla realizzazione di un'infrastruttura strategica e prioritaria per la comunità scientifica europea e mondiale. INAF rafforzerà inoltre il suo ruolo in campo internazionale consolidando la sua posizione di responsabilità nei consorzi per la costruzione degli strumenti di E-ELT. Il contributo di INAF alla costruzione della strumentazione sarà compensato da ESO sotto forma di tempo di osservazione garantito, assicurando alla comunità scientifica nazionale la possibilità di usufruire di questo eccezionale telescopio e di ottenere in prima persona risultati scientifici di grandissimo impatto. Il progetto proposto consentirà a INAF di coinvolgere imprese italiane negli studi e nella realizzazione degli strumenti di E-ELT, consolidando le eccellenze presenti sul territorio nazionale. Infine il progetto offrirà nuove opportunità di formazione e di lavoro per giovani ricercatori e tecnologi.

### **Risultati scientifici**

E-ELT, quando sarà operativo, consentirà il raggiungimento di risultati scientifici rivoluzionari. L'intero progetto ESO è basato sui requisiti tecnici necessari per riuscire a vedere e studiare le prime strutture cosmiche formatesi agli albori dell'universo, le regioni di formazione stellare in galassie vicine e lontane, la formazione di sistemi planetari attorno a stelle appena nate, pianeti simili alla Terra ruotanti attorno ad altre stelle in zone *abitabili*, cioè in condizioni fisiche che consentano lo sviluppo di forme anche semplici di vita.

Particolare attenzione viene dedicata allo sviluppo di strumentazione che permetta la caratterizzazione dell'atmosfera di pianeti rocciosi orbitanti intorno a stelle simili al Sole, così da stabilire se su di essi si sia sviluppata la vita. Inoltre, come in tutte le imprese di concezione rivoluzionaria, dal cannocchiale di Galileo fino all'Hubble Space Telescope, è probabile che E-ELT sveli fenomeni a noi ancora totalmente sconosciuti che potranno cambiare drasticamente la nostra comprensione dell'universo e della fisica fondamentale.

Nel periodo di finanziamento di questo progetto premiale i risultati riguarderanno l'innovazione tecnologica e il *know how* per raggiungere le specifiche tecniche necessarie al raggiungimento degli obiettivi scientifici su indicati. Ci si aspetta quindi di sviluppare disegni e tecniche estremamente innovativi per l'ottimizzazione delle ottiche adattive, della risoluzione angolare e dell'efficienza delle camere e degli spettrografi, della meccanica, dell'elettronica e delle tecniche costruttive. Il risultato dovrà essere un prodotto che dia le migliori *performances* tecnico-scientifiche, limitando al minimo necessario costi e complessità gestionali, e che garantisca il successo alle nostre imprese nella competizione internazionale per l'assegnazione delle commesse per E-ELT, ma anche la possibilità di applicazione in altri settori produttivi. In poche parole, un prodotto che confermi *l'esprit du génie* che ha reso il *Made in Italy* unico al mondo.

### **Potenzialità applicative**

La ricerca nel campo dell'ottica attiva e adattiva, centrale nella proposta progettuale, ha notevoli potenzialità applicative. Si possono citare tre esempi rilevanti. Il primo riguarda le tecnologie per la diagnostica e la chirurgia oftalmica. L'osservazione della retina è limitata dalle aberrazioni ottiche del cristallino e dalla natura viscosa dell'umor vitreo: una correzione adattiva consente la formazione di immagini della retina molto più nitide, al limite di diffrazione dello strumento utilizzato. Tecniche di misura del fronte d'onda (*wavefront sensing*) si utilizzano anche in interventi chirurgici per la correzione dei difetti della vista. Esiste un precedente in questo campo: il progetto Waterfall, che ha coinvolto INAF, Università di Catania e SIFI spa, una società leader a livello europeo nel campo oftalmico. Altre applicazioni sono possibili in questo campo.

Il secondo esempio riguarda i concentratori solari per applicazioni energetiche da fonti rinnovabili. Nelle centrali solari termiche l'energia solare concentrata viene utilizzata sostanzialmente per produrre vapore e muovere turbine. In questo campo INAF-OAA ha recentemente realizzato un progetto (Solare Termodinamico ad Alto Rendimento) per ottimizzare le prestazioni dei concentratori mediante l'utilizzo di geometrie innovative. Oltre al solare termico appaiono molto promettenti i sistemi di produzione di energia elettrica mediante celle fotovoltaiche a concentrazione. Altre applicazioni interessanti sono l'utilizzo di radiazione solare concentrata per test di materiali o – applicazione ancora più avveniristica – per raggiungere temperature estreme utili nei processi di produzione di un combustibile non fossile quale l'idrogeno. È attualmente in corso uno studio concettuale presso INAF-OABO e IASFBO in collaborazione con l'Università di Bologna per analizzare in maniera sistematica il guadagno ottenibile tramite l'applicazione di tecniche di ottica attiva ai concentratori solari utilizzati nelle applicazioni citate.

Il terzo riguarda le tecniche nano-litografiche per la produzione dei nano-processori dei computer di prossima generazione. A questo proposito le maggiori ditte che operano nel settore come INTEL e PHILIPS stanno guidando le attività, con uno sforzo notevolissimo, per passare dalle tecniche di produzione degli attuali microprocessori basate su litografia a trasmissione con luce UV (cioè con banchi ottici costituiti da lenti) alla produzione di chip con piste nanometriche tramite litografia a trasmissione nell'estremo UV, che necessita l'uso di specchi a profilo estremamente preciso. Il know-how sviluppato per le tecniche di fast & precise polishing necessarie per la produzione degli specchi di E-ELT potrà essere sfruttato per la realizzazione dei collettori riflettenti necessarie per i banchi ottici per la nano-litografia. Per questa attività sono già in corso consolidati contatti e collaborazioni tra Media Lario e le maggiori ditte del settore.

## **ELEMENTI E CRITERI PROPOSTI PER LA VERIFICA DEI RISULTATI**

Alcuni elementi per la verifica dei risultati attesi sono proposti di seguito.

- a) Produzione di documentazione: rapporti scientifici preparati per definire i requisiti degli strumenti, studi progettuali e rapporti tecnici relativi a componenti, prototipi o sotto-sistemi di strumenti di E-ELT.

- b) Realizzazione di investimenti per l'implementazione e lo sviluppo di prototipi e per il potenziamento di laboratori e strutture da utilizzare per l'integrazione degli strumenti di E-ELT.
- c) Consolidamento dei gruppi di ricerca coinvolti nella progettazione e costruzione della strumentazione di E-ELT, mediante reclutamento di giovani ricercatori e tecnologi.
- d) Ruolo ottenuto da INAF nei consorzi internazionali per la costruzione di MAORY e di MICADO, sottosistemi dello strumento di prima luce ELT-CAM.
- e) Ruolo di INAF nelle proposte per gli strumenti ELT-HIRES e ELT-MOS presentate in risposta alla *call for proposals* che ESO prevede di annunciare nel 2013 ed esito di queste proposte.
- f) Contratti assegnati da ESO a ditte italiane nell'ambito del progetto E-ELT a valle del supporto dato da INAF per il consolidamento del design e delle tecnologie che avverrà nell'ambito di questo progetto.

L'applicabilità degli elementi d) – f) nei tempi previsti per la presente proposta progettuale dipende dai tempi del progetto complessivo, definiti da ESO e sottoposti alla valutazione di vari organismi di controllo.

## ALLEGATO 1: BREVI CURRICULA DEI PROPONENTI

**MONICA TOSI**, laureata in Matematica (indirizzo astronomico) presso l'Università la Sapienza di Roma (110/110 e lode) nel 1978; Post Doctoral Fellow presso lo Yale Astronomy Department (New Haven, USA) nel 1980-81; Astronomo presso l'Osservatorio Astronomico di Bologna dal 1981; Associate Astronomer presso lo European Southern Observatory (ESO) nel 1985; Visiting Astronomer presso lo Space Telescope Science Institute (Baltimore, USA.) della NASA nel 1986; Astronomo Associato dal 1989 e Ordinario dal 2001 presso l'Osservatorio Astronomico di Bologna. M. Tosi si occupa di vari aspetti riguardanti l'evoluzione delle galassie. In questi settori ha sviluppato tecniche di ricerca pionieristiche e di notevole successo a livello internazionale, come testimoniato dai numerosi inviti a tenere *reviews* a congressi internazionali e su prestigiose riviste internazionali. Ha pubblicato più di 120 articoli scientifici originali su riviste con referee e più di 200 contributi a congressi internazionali. Questi articoli hanno avuto più di 5000 citazioni in letteratura, corrispondenti (vedi ADS) ad un H-index di 38. Ha coperto numerosi incarichi di responsabilità a livello nazionale e internazionale, fra cui per brevità si citano solo quelli più pertinenti: referee per le assegnazioni di fondi a progetti di ricerca per Enti stranieri e internazionali (NATO, NSF USA, Cilena e Sizzera) dal 1990; dal 2009 membro del comitato per l'assegnazione delle ERC Grants dell'Unione Europea; *chair* di *panel* per il *Time Allocation Committee* dell'Hubble Space telescope nel 2005 e 2006; *chair* di *panel* per il comitato (OPC) per l'assegnazione del tempo ai telescopi ESO dal 2006 al 2008 e *chair* dell'intero OPC nel 2008; membro e poi *chair* del *Visiting Committee* dello Space Telescope Science Institute (NASA) di Baltimora (USA) dal 2007 al 2012; membro dell'E-ELT Standing Review Committee dell'ESO dal 2006 a oggi; membro e poi *chair* del Consiglio Scientifico dell'INAF dal 2008 al 2011; membro del Consiglio di Amministrazione e Vice-Presidente dell'INAF dal 2011.

**REGINALD CHRISTOPHER BUTLER** si è laureato in Fisica nel 1971 presso l'Università di Southampton, Inghilterra, e ha conseguito nel 1976 il titolo di PhD in Fisica nel campo dell'Astronomia delle alte energie; Post Doctoral Research Fellow a Southampton 1976-1981, Ricercatore presso ITESRE/CNR 1981-1986, Bologna; Ricercatore e poi Primo Tecnologo presso Agenzia Spaziale Italiana (ASI)/Roma 1986-1999; Primo Tecnologo presso IASF(Bo)/INAF dal 2000 e poi Dirigente Tecnologo dal 2002. Come membro del "Beppo-SAX Team" è stato premiato dalla American Astronomical Society con il Bruno Rossi Prize del 1998 per l'attività che ha dimostrato che i lampi di raggi gamma hanno origine a distanze cosmologiche. La sua carriera è stata incentrata su sviluppo e operazioni di strumenti e satelliti in programmi spaziali di importanza strategica a livello nazionale e internazionale. All'ASI è stato il responsabile per lo sviluppo della strumentazione scientifica del satellite Beppo-SAX, assumendo infine anche la responsabilità per lo sviluppo finale del satellite stesso, per la campagna di prova a terra, per la campagna di lancio e per il lancio presso Cape Canaveral, e poi per i primi tre anni della missione in orbita (di grande successo) è stato il Direttore della Missione. In seguito, all'IASF(Bo)/INAF ha assunto il controllo dello sviluppo del "Low Frequency Instrument"(LFI) a bordo del satellite Planck dell'ESA per lo studio del fondo cosmico nelle micro-onde, con l'incarico di LFI Program Manager. Sotto la sua gestione, LFI è stato fornito all'ESA nel 2007, lanciato in Maggio 2009, e sta eseguendo la sua missione scientifica con grande successo. E' Co-Investigatore nel team italiano del Consorzio LFI, e da Ottobre 2011 è il responsabile per l'Accordo ASI/INAF per il finanziamento della attuale fase E2 della Missione Scientifica e dell'Analisi Dati. Dal 2010 è Project Manager del progetto per la realizzazione del modulo di ottica adattiva MAORY per il futuro European Extremely Large Telescope, attualmente in fase preparatoria. Autore o co-autore di 143 pubblicazioni dei quali 121 con referee.

**EMILIANO DIOLAITI** si è laureato in Astronomia nel 1997 presso l'Università di Bologna. Nel 2001 ha conseguito il titolo di PhD presso la stessa Università con una tesi su un pacchetto software innovativo per l'analisi di dati scientifici ottenuti con ottiche adattive. È ricercatore presso INAF-Osservatorio Astronomico di Bologna dal 2003. Ha collaborato alla progettazione e alla realizzazione di strumentazione ottico-infrarossa per i telescopi VLT e LBT. È stato principal investigator del progetto Infrared Test Camera per LBT. Dal 2005 collabora agli studi della strumentazione per il futuro European Extremely Large Telescope (E-ELT). È stato principal investigator dello studio di fase-A del modulo di ottica adattiva multi-coniugata

MAORY per E-ELT. Da alcuni anni si occupa dello studio di soluzioni ottiche innovative per concentratori solari utilizzati in applicazioni energetiche da fonti rinnovabili. Autore o co-autore di circa 140 pubblicazioni e 50 rapporti tecnici.

**BIANCA GARILLI.** Laureata in Fisica nel 1983, dal 1985 al 2001 Ricercatore staff c/o Istituto di Fisica Cosmica, CNR, Milano, dal 2002 Primo ricercatore c/o IASF-Milano. Nel 1995 -1998 Coordinatore locale del progetto Nazionale ``AVO: Astronomical Virtual Observatory"; 1995 - 2003 Instrument Software Technical Manager dello strumento VLT VIMOS; 2001 - 2003 Coordinatore WP5 del progetto UE ``CosmoLab", 2000 - 2002 Membro italiano del Working Group OPTICON: Euro3D Data format; 2002 - 2005 Coordinatore nazionale del progetto UE *Euro 3D*, coordinatore del WP *software Development*; 2002 - 2003 Membro della commissione tecnico scientifica del Dipartimento Progetti dell'INAF; dal 2002 : Coordinatore del working group INAF *Databases and Data Reduction software*; 2002 - 2003 Instrument Scientist and Astronomical Software Technical Manager per lo strumento VLT-KMOS2 instrument, Phase A; dal 2003 Responsabile del VIMOS Data Reduction Support Center; 2004 - 2007 Membro della commissione INAF *Calcolo Reti e Archivi*; 2004 - 2007 Responsabile INAF per il progetto *Astronomical Software*; 2004-2012 UE-OPTICON 3.6 & 9.2 "Future Data Analysis Environment" : national coordinator & prototype development responsible; 2007 CO-I ESA-SPACE proposal; 2008-2010 ESO ELT OPTIMOS-DIORAMAS spectrograph, Phase A: Instrument Scientist and Astronomical Software Manager; 2008-2011 ESA-Euclid NISP Instrument model responsible; 2009-2011: responsabile sviluppo pipeline riduzione dati LUCIFER@LBT & MODS&LBT; dal 2011 ESA-Euclid NISP spectroscopy performance verification responsible; dal 2011 Moons phase A study: responsabile WG finer positioner avaluation. Si occupa sia di astronomia (extragalattica, spettroscopia, evoluzione delle galassie, survey cosmologiche) e di tecnologia (s/w riduzione dati, s/w data analisi, database). Primo autore di 12 articoli su riviste con referee, Co-autore di 134 articoli su riviste con referee (secondo o terzo autore per 24 tra esse), > 5500 citazioni, Co-I di 4 ESO Large spectroscopic programs approvati, Membro del consorzio VVDS, Membro del consorzio zCosmos, Membro del consorzio VIPERS, Membro dei working groups scientifici Galaxy clustering, AGN and galaxy evolution, Primeval universe nel consorzio Euclid. Per le attività tecnologiche: sviluppo della EXOSAT CMA data reduction pipeline; Software per la riduzione ed analisi di dati ottici ed Infrarossi; sviluppo dell'Observation Software' e del Data Reduction Software per lo spettrografo VIMOS; sviluppo di programmi per la visualizzazione e l'analisi di dati da Integral Field Spectroscopy; sviluppo di databases e cataloghi astronomici; sviluppo pipeline di simulazione per lo spettrografo NISP/Euclid; sviluppo programmi per misura automatica del redshift; sviluppo pipeline riduzione dati LBT/Lucifer & MODS.

**RAFFAELE GRATTON** e' astronomo ordinario presso l'Osservatorio Astronomico di Padova dell'INAF. E' internazionalmente riconosciuto come uno dei maggiori esperti negli studi sulla composizione chimica delle popolazioni stellari. Negli ultimi anni ha anche avuto un ruolo importante nello studio dei pianeti extrasolari. A questo scopo ha disegnato e costruito insieme al suo gruppo il primo spettrografo ad alta risoluzione interamente italiano per il Telescopio Nazionale Galileo ed e' coinvolto come instrument scientist della parte italiana di SPHERE e di EPICS, i Planet Finders per il VLT e l'E-ELT dell'ESO. E' uno degli astronomi italiani piu' citati al mondo: i suoi circa 450 articoli - di cui quasi 200 su riviste internazionali con referee - hanno raccolto oltre 11000 citazioni.

**ALESSANDRO MARCONI** si è laureato in Fisica nel 1993 presso l'Università di Firenze. Dal 1996 al 1997 è stato anche assistente di ricerca allo Space Telescope Science Institute. Ha ottenuto il titolo di Dottore di Ricerca a Firenze nel Maggio 1998 e la sua tesi di dottorato è stata premiata con il premio Livio Gratton nel 1999. Dall'ottobre 1997 all'ottobre 2006 è stato ricercatore presso l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri (INAF). Dal novembre 2006 è professore associato di astronomia e astrofisica presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze. L'attività di ricerca di AM è basata su spettroscopia e fotometria in ottico e infrarosso, principalmente con Hubble Space Telescope e con i telescopi dell'European Southern Observatory (ESO). Negli ultimi anni si è occupato di interferometria ottica con l'interferometro del VLT (VLTI). Gli argomenti della sua attività di ricerca sono: buchi neri supermassivi nei nuclei galattici (BH; misure di massa, relazioni con galassia ospite e con attività AGN); nuclei galattici attivi (AGN; stato fisico della Broad e della Narrow Line Region); osservazioni interferometriche di AGN con VLTI (toro oscurante, Broad Line Region ed il buco nero supermassivo); abbondanze di metalli in galassie starburst ed

evoluzione cosmologica della relazione massa-metallicità. A tutto il 2011, AM ha pubblicato 108 articoli su riviste internazionali con referee. Secondo il database ISI Web of Knowledge le sue pubblicazioni con referee hanno ricevuto 4298 citazioni in 2963 articoli (escludendo le autocitazioni). Ciascuno articolo ha quindi ricevuto una media di circa 40 citazioni con un H-index di 36. Ha ricevuto oltre 20 inviti per seminari o presentazioni in congressi internazionali. E' o è stato membro di diversi comitati internazionali; in particolare nel 2009 è stato nominato rappresentante italiano allo Scientific and Technical Committee (STC) dell'European Southern Observatory (ESO) e dal 2012 è anche stato nominato presidente (chair) dello stesso comitato.

**ERNESTO OLIVA** Laureato in Astronomia nel 1980, nel 1980-1982 Fellow all'Università di Firenze; 1982-1985 Fellow a ESO-Garching; 1985-1995 Ricercatore e dal 1995 Associato Astronomo all'Osservatorio Astrofisico di Arcetri. Nel 2000-2008 Direttore del Telescopio Nazionale Galileo a La Palma (Spagna). Membro dei comitati di assegnazione tempo per HST, ISO, ESO. Membro del Science Team di alcuni strumenti del TNG (AdOpt, GOHSS, NICS) e del VLT (ISAAC). Membro del Council dell'European Astronomical Society. Project Manager dei progetti NICS e GIANO al TNG e SIMPLE all'E-ELT. Co-PI del progetto MOONS per il VLT. Campi di ricerca: spettroscopia stellare e del mezzo interstellare, popolazioni stellari, galassie attive, evoluzione e chimica di galassie ad alto redshift, strumentazione infrarossa, tecnologie astronomiche.

**LIVIA ORIGLIA** Laurea in fisica nel 1987; Ph.D. in Astronomia nel 1993; Student-Fellow a ESO-Garching nel 1989-1990; Ricercatore all'Osservatorio Astronomico di Torino (1992-1997) prima e di Bologna (1997-2009) poi, Primo Ricercatore dal 2009. Astronomo Visitatore per periodi di 1-3 mesi presso importanti istituti scientifici internazionali quali l'ESO, STScI e varie università americane. Membro di diversi comitati per l'assegnazione di tempo di osservazione ai maggiori telescopi nazionali ed internazionali. Membro del Scientific & Technical Committee di LBT, Membro del Science Team di alcuni progetti strumentali per VLT (XShooter, MOONS) e per E-ELT (Harmoni). Principal Investigator di due progetti strumentali, GIANO per il telescopio Nazionale Galileo e SIMPLE per il futuro Extreme Large Telescope dell'ESO. Tematiche di Ricerca: evoluzione stellare e delle galassie, chimica e dinamica degli ammassi stellari, astronomia e tecnologia infrarossa.

**GIOVANNI PARESCHI** ha ricevuto la Laurea in Astronomia all'Università di Bologna (1992) e il Dottorato di Ricerca in Fisica con indirizzo Astrofisico presso l'Università di Ferrara. In seguito è stato post-fellow del CNR (presso l'Univ. di Ferrara) e ESA (presso il Danish Space Research Institute). Dal 1998 è ricercatore presso l'Osservatorio di Brera, svolgendo attività nel gruppo di Tecnologie Ottiche fondato da O. Citterio. E' autore di numerose pubblicazioni scientifiche e di presentazioni ad invito in congressi internazionali, riguardanti soprattutto strumentazioni innovative per Astronomia e le tecnologie associate. Ha partecipato o partecipa a importanti programmi internazionali, come INTEGRAL/JEM-X, NHXM/SIMBOL-X (Project Scientist nominato da ASI), IXO/ATHENA (membro del Telescope Working Group), MAGIC (responsabile INAF per la produzione degli specchi) e CTA (membro del Project Committee). E' il PI del progetto bandiera INAF ASTRI finanziato dal MIUR per lo sviluppo di tecnologie da utilizzare in CTA. Ha ricoperto numerosi incarichi in board nazionali e internazionali. Dal 2006 al 2009 ha coordinato la macroarea "Tecnologia e Strumentazione di INAF" mentre dal 2007 al 2011 è stato membro del Tavolo Bilaterale INAF/ASI per la programmazione delle attività scientifiche comuni tra i due enti. Dal 2008 è diventato Direttore dell'Osservatorio Astronomico di Brera.

**ROBERTO RAGAZZONI** Laureato in Astronomia nel 1990 con lode all'Università di Padova, dal 1992 Ricercatore Astronomo presso l'Osservatorio Astronomico di Padova, nel 1995 Scholar Research in Astronomia a Tucson, University of Arizona, dal 2001 Astronomo Ordinario presso l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri, nel 2002 vincitore della "Wolfgang Paul Prize" della Alexander von Humboldt, dal 2006 Astronomo Ordinario all'Osservatorio Astronomico di Padova. Nel periodo dal 1985 al 1989 lavora presso la Ditta CSA di Rovigo per lo sviluppo di sistemi di automazione per il controllo di acquedotti ed impianti di bonifica. Tra il 1990 ed il 1992 lavora presso il Consorzio Padova Ricerche per lo sviluppo del sistema di Ottica Attiva del Telescopio Nazionale Galileo. Concepisce il disegno della Wide Angle Camera su Rosetta, poi realizzato, che tuttora vola nel Sistema Solare alla volta di una cometa. Nel

1995 svolge un anno di ricerca in Stati Uniti dove inventa il sensore di fronte d'onda a piramide. Tra il 1995 ed il 1998 è responsabile della realizzazione del primo sistema di Ottica Adattiva in Italia che viene montato al Telescopio Nazionale Galileo. È responsabile dell'allineamento del Telescopio Nazionale Galileo alle Canarie e si occupa di propagazione di fasci laser in atmosfera. Nel 2000 pubblica su *Nature* la prima misura di turbolenza dell'atmosfera a tre dimensioni ed inventa il sistema di correzione della turbolenza atmosferica denominato "layer oriented". Concepisce i correttori di Primo Fuoco per il telescopio LBT (il Grande Telescopio Binoculare) in Arizona, al 25% di proprietà Italiana. Costruisce il sistema di correzione della turbolenza atmosferica denominato MAD e nel 2007 questo funziona con successo al Very Large Telescope, il più grande telescopio Europeo, sito sulle Ande Cilene. È responsabile dell'allineamento del telescopio Italiano a grande campo VST, sempre in Cile. È inventore e detentore di un brevetto per l'analisi delle aberrazioni dell'occhio umano. Dal 2003 è responsabile dell'interferometro denominato NIRVANA per il telescopio LBT in Arizona, collaborazione tra l'Italia e la Germania. Tiene dal 2004 il Corso di "Laboratorio di Astrofisica I" presso l'Università degli Studi di Padova nell'ambito del Corso di Laurea in Astronomia. Ha tenuto dal 2006 al 2008 il Corso "Strumenti Ottici e loro evoluzione storica" presso la stessa Università nell'ambito del Corso di Laurea in Oftalmologia. È autore di oltre 300 pubblicazioni, di cui un centinaio su riviste internazionali con Referee.

**ALVIO RENZINI** Physics Degree, at the University of Pisa in 1963 and Physics Diploma, Scuola Normale Superiore of Pisa in 1963; in 1971 Libera Docenza (Venia Docendi) in Astrophysics, University of Bologna. 1964-65 Fellowship of the "Scuola Normale Superiore" of Pisa; 1966 Researcher of the National Institute of Nuclear Physics (INFN); 1967 Astronomer at the Astronomical Observatory of Turin (Italy); 1964-67 holding above positions, worked at the "Istitute of Space Astrophysics", Frascati; 1968-80 Astronomer at the Astronomical Osservatory of Bologna; 1970-80 Associate Professor of Theoretical Astrophysics, University of Bologna; 1979 Visiting Professor, University of California, Santa Cruz; 1980-95 Full Professor of Theoretical Astrophysics, University of Bologna; 1995-05 VLT Program Scientist, ESO, Garching; 2005- Associate Scientist, National Institute of Astrophysics (INAF), Astronomical Observatory of Padova. Visiting Scientist at the Yale University (1976), STScI (1985), ESO (1987, 1989, 1993, 2007), AAO (1991), Caltech (1993), Japan Society for the Promotion of Science (1994), National Astronomical Observatory of Japan (2004, 2007, 2008, 2011), Carnegie Observatories (2004), ETH-Zurich (2009, 2010, 2011), PUC, Santiago, Chile (2011). Awards and Honours: 1991 Prize "A. Feltrinelli", Accademia Nazionale dei Lincei; 1992- Member of the "Accademia Nazionale dei Lincei"; 1994 Grubb-Parsons Lecturer, University of Durham; since 2004 Member of the "Istituto Veneto di Scienze, Lettere e Arti". Formerly Member of the ESO Observational Program Committee, of the Space Telescope User Committee, of the HST Time Allocation Committee, and of the Scientific Council of the National Institute of Astrophysics (INAF). Over 250 publications on refereed journals, over 300 other scientific publications. Editor of 20 Conference Proceedings. According to ISI, one of the 200 most cited scientists in "Space Science".

**FILIPPO MARIA ZERBI** Laureato in Fisica nel 1993 presso la *Università degli studi di Pavia* (110/110 con lode), Dottore di Ricerca in Astronomia nel 1998. Dal 1999 è dipendente di INAF Osservatorio Astronomico di Brera e dal 2007 è Primo Ricercatore (Ricercatore di Seconda Fascia). Attivo nel campo della Astrofisica Stellare (Astrosismologia), della Astrofisica delle Alte Energie (GRBs) e dello studio e sviluppo di strumentazione astronomica, è stato Principal Investigator del progetto REM (2000-2005), responsabile tecnico Nazionale della partecipazione Italiana a MIRI per JWST (2000-2003), Project Manager Nazionale dello spettrografo X-shooter per VLT (2002-2009), Coordinatore di una attività integrata (nuovi materiali e processi) del progetto EU OPTICON (2004-oggi), componente dell' Instrument Project Office di E-ELT presso ESO (2006-2010), System Engineer del progetto CODEX per E-ELT (2008-2010), responsabile tecnico dello spettrografo NISP per la missione ESA-Euclid (2008-2011), System Engineer dello spettrografo ESPRESSO per VLT (2009-oggi). È attivo in seno ad INAF con incarichi di strategia e/o coordinamento. Membro del gruppo istruttorio strumentazione TNG (2001), membro del comitato tecnico-scientifico del Dipartimento 3 INAF (2002-2005), rappresentante Italiano presso l'LBT Tiger-Team (2003-2005), responsabile del "Servizio Infrastrutture e Laboratori Nazionali" del Dipartimento Progetti INAF (2005-2008). Membro del Nucleo Tecnico Scientifico del Distretto Aerospaziale Lombardo (2009-oggi). È relatore di 7 Tesi di Laurea presso Atenei dell'area milanese e di 9 tesi di dottorato presso Atenei Italiani, Europei e USA. È Autore o co-autore di 256 Pubblicazioni elencate in NASA-ADS.