

L'EVOLUZIONE DEI GRANDI TELESCOPI OTTICI: DAL TELESCOPIO DI MT. PALOMAR ALL'EUROPEAN EXTREMELY LARGE TELESCOPE (EELT)

BRUNO MARANO

Dipartimento di Astronomia, Università di Bologna, Bologna, Italia

1 Un poco di storia I: il 5 m di Monte Palomar come prototipo dei grandi telescopi classici

La scoperta, verso la fine degli anni '20, dell'espansione dell'Universo da parte di Edwin Hubble, e la possibilità di descriverla in maniera consistente attraverso la teoria della relatività generale formulata da Einstein pochi anni prima, generarono negli USA, sia nell'ambiente scientifico sia tra il pubblico attento, il clima adatto alla costruzione di un grande telescopio da 200 pollici (5 m). Una motivazione chiave si posava su una possibilità di enorme attrattiva non solo scientifica, ma anche psicologica, percepibile anche ai non specialisti. Accrescendo la potenza dei telescopi si potevano osservare galassie così lontane che la luce doveva aver impiegato un tempo comparabile all'età dell'universo per giungere fino a noi: si poteva osservare e studiare direttamente il passato dell'universo. Il progetto fu molto ambizioso, al limite delle capacità tecniche dell'epoca, e costoso, ma trovò ampio sostegno finanziario privato, tra cui quello, determinante, della fondazione Rockefeller. Consideriamo i numeri principali che caratterizzano il telescopio del Mt. Palomar:

- dimensioni della struttura meccanica ~ 30 m,
- massa ~ 500 t,
- diametro dello specchio primario 5 m,
- spessore dello specchio primario 60 cm,
- massa dello specchio primario 20 t,
- diametro della cupola 42 m.

Essi danno una chiara idea della grandiosità del telescopio. Che cosa li determina?

Il cuore del telescopio riflettore è lo specchio parabolico concavo, su cui uno strato di alluminio di un micron di spessore funziona da superficie riflettente la luce. Essa converge al "primo fuoco" o – dopo una seconda riflessione su un più piccolo specchio iperbolico concavo – può convergere, attraverso un foro al centro dello specchio primario, a un fuoco posto al di sotto di esso. Si tratta di uno schema ottico consolidato che prende il nome di telescopio di Cassegrain. L'asse dell'ottica, e quindi l'intera struttura del telescopio, deve poter essere diretto in qualsiasi direzione del cielo e seguirne poi, per diverse ore, il moto regolare. Lo specchio primario non deve deformarsi, malgrado assuma posizioni molto diverse, pena l'apparire di aberrazioni che abbattano sensibilmente risoluzione e profondità dell'immagine. È evidente che queste specifiche danno crescenti difficoltà al crescere delle dimensioni e della massa del telescopio.

Nel caso del 5 m, come di tutti i telescopi precedenti e quelli costruiti fino agli anni '80, queste prestazioni erano ottenute partendo da uno specchio monolitico di vetro, cui il grande spessore rendeva minime le deformazioni e assicurava quindi, al meglio possibile, la stabilità della superficie riflettente. Analogamente il contenimento delle aberrazioni richiedeva una grande rigidità del lungo treno ottico, sostenuto dalla struttura metallica. Da questo approccio,

Per molti decenni il telescopio da 5 m del Mt. Palomar ha rappresentato un limite nella costruzione dei grandi telescopi. L'evoluzione dell'ottica dei telescopi da passiva ad attiva, iniziata negli anni '80 con il *New Technology Telescope* dell'ESO, guida ora il progetto dell'*European Extremely Large Telescope*, di 42 m di diametro.

l'unico possibile all'epoca, nasceva un telescopio enorme e pesante, che pure si doveva muovere docilmente e con alta precisione. La protezione del telescopio comportava la costruzione di una cupola rotante e apribile, in grado di ospitarlo. Tutto questo portava al limite le capacità progettuali e costruttive dell'epoca.

La struttura del telescopio fu basata su un sistema di tubi incrociati (denominato struttura Serrurier) che minimizzava le masse e manteneva l'allineamento delle ottiche al mutare dell'assetto del telescopio rispetto alla gravità, compensando le conseguenti flessioni della struttura.

La sfida tecnologica più difficile restò tuttavia la realizzazione del grande specchio monolitico, che richiese la fusione, e successivo raffreddamento uniforme, di 20 tonnellate di vetro. La allora recente introduzione del vetro Pyrex, a bassa temperatura di fusione (1200 °C) e a basso coefficiente di espansione, consentì di superare la difficoltà. La corretta fusione del *blank*, realizzata dalla Corning, riuscì però solo al secondo tentativo, dopo il fallimento del primo. Altro vantaggio del Pyrex era il basso coefficiente di espansione, che riduceva le deformazioni di origine termica, e il conseguente alterarsi dalla superficie parabolica dello specchio primario al variare della temperatura esterna.

Dopo più di quindici anni dall'inizio del progetto, e una lunga interruzione dovuta alla seconda Guerra Mondiale, nel 1948 il telescopio cominciava ad operare [1], raggiungendo distanze nell'Universo e *look back time*, profondità nel passato, prima

irraggiungibili. Gli spettri rivelarono galassie che recedevano, nel moto di espansione cosmica, con velocità superiori a due terzi della velocità della luce: la loro radiazione era stata emessa quando l'età dell'Universo era un terzo di quella attuale.

Il grande specchio parabolico di 200 pollici funzionava, ma, come vedremo, il concetto costruttivo che lo guidava era stato portato al limite. Come esposto in una affascinante e documentata ricostruzione della storia dei telescopi riflettori di R. Wilson [2], una ipotesi iniziale di costruire il telescopio con uno specchio di 300 pollici di diametro (quasi 8 m) avrebbe portato sicuramente al fallimento del progetto. Sia la *risk evaluation*, come diremmo oggi, sia verosimili limiti finanziari fecero prevalere la scelta, ancora estrema, ma più realistica, di uno specchio di 5 m.

Nei decenni successivi, fino agli anni '80, i concetti costruttivi del 5 m guidarono la costruzione di diversi telescopi di classe 4 m, tra cui il 3,6 m dell'"European Southern Observatory" (ESO) in Cile. Lo sviluppo dei rivelatori elettronici offriva ampio spazio di progresso all'osservazione astronomica senza obbligarci alla strada costosa e complessa della realizzazione di telescopi ancora più grandi. La lastra fotografica, fino agli anni '50 praticamente unico sensore in uso nell'immagine diretta e nella spettrografia, aveva una efficienza quantica di 0.5–1%. Meno di uno su cento dei fotoni raccolti dall'obiettivo di un telescopio veniva rivelato dagli strumenti. Con fotocatodi, accoppiati a sistemi di amplificazione elettronica

e fuoco degli elettroni (i cosiddetti “tubi a immagine”), si potevano ottenere efficienze di rivelazione dei fotoni del 20%. I primi rivelatori CCD disponibili negli anni '80 giungevano al 40%. Lo sviluppo di nuovi concetti di grandi telescopi, diretti a superare i limiti strutturali intrinseci al telescopio di Mt. Palomar, per costruirne altri più grandi, restò “quiescente” per alcuni decenni, per riemergere quando l'efficienza quantica dei CCD giunse vicino al 100%. Praticamente tutti i fotoni raccolti dal telescopio venivano rivelati. Giunti a questo limite, aumentare le dimensioni del telescopio diveniva di nuovo un obiettivo strategico per lo sviluppo di astronomia e cosmologia osservative.

Come fare? Non solo non si poteva “scalare” la struttura meccanica dei telescopi di 4–5 m a dimensioni maggiori, ma emergeva progressivamente evidenza dell'impatto negativo che una struttura di grande massa aveva sulle condizioni di osservazione.

2 Un poco di storia II: il seeing e i telescopi di nuova tecnologia

Fin dal primo *perspicillum* di Galileo, il telescopio non solo permette di raccogliere più luce (*luminosità*), ma accresce la capacità di separare sorgenti di luce molto vicine (*risoluzione*).

In un sistema ottico ideale, per effetto della diffrazione, la luce di una sorgente puntiforme si distribuisce al piano focale su un'area che sottende un'angolo caratteristico θ (profilo di Airy), dato da

$$(1) \quad \theta = 1,22 \lambda / D,$$

con D diametro dell'ottica e λ lunghezza d'onda della luce in questione. L'angolo θ rappresenta il raggio della base del massimo centrale della curva, ovvero la dimensione caratteristica, prodotta dalle ottiche, di una sorgente “puntiforme”. Esso rappresenta la minima separazione angolare che consente di *risolvere* (distinguere) due sorgenti di luce, due stelle.

In luce visibile θ ha valore di un secondo d'arco per un telescopio con obiettivo di 10–12 cm. Applicando la stessa espressione, un telescopio con specchio di 1 m di diametro dovrebbe avere una risoluzione di circa 0,1 secondi d'arco. Telescopi di dimensioni crescenti dovrebbero dare immagini non solo più profonde, ma anche di risoluzione crescente. Il 5 m dovrebbe avere, secondo la (1), una risoluzione di ~0,02 secondi d'arco.

In realtà le variazioni termiche dell'aria attorno e sopra il telescopio producono una degradazione dell'immagine, sintetizzata nell'espressione intraducibile di *seeing*. Per molti decenni si è ritenuto che il *seeing* naturale, generato dalla turbolenza atmosferica, fosse dell'ordine di 1” nelle condizioni migliori. In altre parole, un grande telescopio non poteva

avere una risoluzione migliore di uno di soli 10–20 cm di apertura. Evitare la degradazione dell'immagine dovuta all'atmosfera fu il motivo principale che portò alla costruzione e alla messa in orbita del Telescopio Spaziale Hubble (HST). Si era consapevole che la massa del telescopio e dell'edificio creavano una sorta di effetto microclimatico locale, ma era convinzione corrente che alcune misure empiriche quali elevare il telescopio dal terreno e rivestire la cupola di materiale riflettente fossero sufficienti a contenere gli effetti locali “quanto bastava”.

Alla fine degli anni '70 cominciò ad emergere che il *seeing* naturale, in siti selezionati, poteva essere ben inferiore al canonico 1”: nei telescopi “classici” il contributo al *seeing* del telescopio, dell'edificio, del calore sviluppato da motori e impianti era significativo. Per esempio al telescopio di 4 m Franco-Canadese in vetta al Mauna Kea, nell'isola di Hawaii, a 4200 m di altezza si scoprì negli anni '80 che assicurare una condizione di equilibrio termico tra lo specchio e l'aria esterna consentiva di avere non di rado un *seeing* attorno a 0,5” (R. Racine).

Emerse in modo sempre più chiaro che ridurre la massa del telescopio, a parità di apertura dello specchio primario, poteva dare vantaggi significativi sulla qualità dell'immagine, almeno nei siti di maggior pregio astronomico, monti che si ergono nel deserto o in mezzo al mare nelle regioni subtropicali.

Sulla base di questi risultati si venne a sviluppare un nuovo concetto costruttivo dei telescopi.

Le esigenze primarie da soddisfare erano

- aumentare la luminosità (specchio primario più grande),
- ridurre i costi (ridurre l'edificio),
- ridurre il *seeing* locale.

La soluzione si basa sulla trasformazione del telescopio da uno strumento passivo, le cui prestazioni sono garantite da una estrema rigidità della struttura, in un sistema attivo, in cui la qualità ottica è ottenuta da un controllo elettronico di strutture relativamente deformabili. La leggerezza e deformabilità della meccanica e dell'ottica si trasforma da difetto in qualità, al prezzo di realizzare e far operare un complesso sistema di controllo in tempo reale. Diventa inoltre possibile contenere la lunghezza focale dello specchio primario.

È evidente che, a parità di diametro dello specchio primario, la sua lunghezza focale determina le dimensioni del telescopio e dell'edificio. Di fatto determina sia la “massa termica” che le dimensioni dell'intero edificio. Nei telescopi a specchio monolitico rigido la lunga focale conteneva le aberrazioni dovute a disallineamenti e deformazioni, pur sempre presenti. Con un sistema attivo di correzione si poteva superare questa difficoltà, accorciare la focale (tecnicamente: aumentare il *rapporto di apertura*) e ridurre le dimensioni dell'intera struttura.

Queste innovazioni furono condensate per la prima volta nel *New Technology Telescope* (NTT) di 3,5 m dell'“European Southern Observatory” (ESO). Il concetto, dovuto a Ray Wilson, introduceva queste principali novità:

Ottica

- specchio primario a forma di menisco sottile (e quindi leggero);
- sistema di attuatori in grado di correggere le deformazioni dello specchio;
- accorciamento della lunghezza focale dello specchio primario, da cui struttura ed edificio più compatti;
- sistema di posizionamento attivo dello specchio secondario e terziario.

Struttura ed edificio

- montatura alto-azimutale, assai più compatta e leggera;
- edificio compatto, co-rotante col telescopio (soluzione resa possibile dalla montatura altoazimutale);
- espulsione del calore prodotto da motori e elettronica a distanza dal telescopio.

La *fig. 1* mostra lo schema ottico del telescopio e i sistemi di attuatori che controllano le ottiche. Nella prima notte

“ufficiale” di osservazione, il NTT ottenne immagini con risoluzione di $0",35$, dimostrando l'efficacia delle soluzioni adottate nel ridurre l'impatto sul microclima locale. Le *fig. 2a* e *2b* mettono a confronto il telescopio da 3,6 m e il NTT (3,5 m) di ESO. Le ridotte dimensioni del primo rispetto al secondo, pur a parità di diametro dello specchio primario, sono evidenti.

A margine, va ricordato che il Telescopio Nazionale Galileo, installato sul Roque de los Muchachos nell'isola di La Palma (Canarie) e gestito dall'Istituto Nazionale di Astrofisica, è gemello del NTT.

La funzionalità di NTT, come di tutti i telescopi di nuova tecnologia, si affida a un complesso sistema di controllo. Il sistema ottico è uno solo dei tanti elementi “attivi”. La montatura alto-azimutale, per esempio, dà notevoli vantaggi costruttivi, ma richiede tre movimenti complessi, controllati da calcolatore, per seguire il moto del cielo durante le osservazioni. La convenzionale e massiccia montatura equatoriale dei telescopi tradizionali richiede un unico movimento costante di rotazione, ed era l'unica possibile in assenza dell'elettronica moderna.

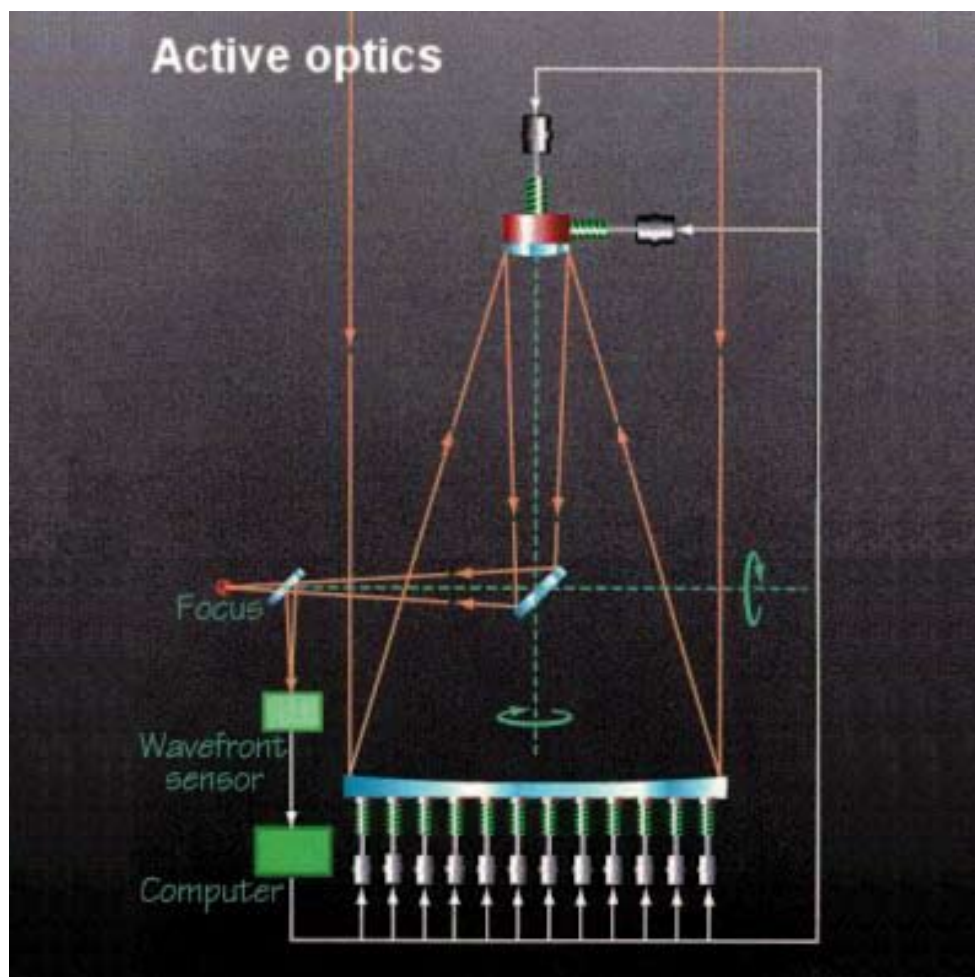


Fig.1 Lo schema ottico del *New Technology Telescope* (NTT) mostra gli elementi ottici principali, ciascuno dotato di attuatori che permettono di correggere la forma dello specchio primario e di assicurare il corretto allineamento delle ottiche (ESO).

3 Specchi leggeri per i nuovi grandi telescopi

La realizzazione e capacità di utilizzare grandi specchi leggeri, controllati attivamente, è alla base della nuova generazione di telescopi. Questa è stata ottenuta seguendo strade e tecnologie diverse.

3.1 I menischi sottili

È la soluzione adottata, come si è detto, da ESO prima per NTT e successivamente per i quattro specchi da 8,2 m del *Very Large Telescope*, evoluzione del NTT. La **fig. 3** mostra uno degli specchi, realizzati dalla Schott, durante una fase di lavorazione della loro superficie. È evidente il piccolo rapporto spessore/diametro in confronto a

quello del Mt. Palomar. Lo specchio si può deformare con relativa facilità. Questa proprietà, negativa nei telescopi convenzionali, viene utilizzata a vantaggio della qualità dell'immagine per mezzo il controllo attivo.

3.2 Specchi a mosaico

Il grande specchio primario è ottenuto con un mosaico di specchi di dimensioni relativamente piccole. Ogni "tassello" del mosaico è tenuto nella sua posizione, all'interno di una cella rigida, da un sistema di attuatori che consentono, anche in questo caso, di variare la posizione degli specchi, correggendo le aberrazioni.

Piace ricordare questa tecnica ha avuto un riconosciuto

2 a



2 b



precursore, negli anni '50, in Guido Horn D'Arturo, direttore dell'Osservatorio di Bologna. Il suo specchio a tasselli (fig.4) è tuttora visibile nella Torre della Specola dell'Università. Era concepito come prototipo in vista della realizzazione di un grande telescopio fisso verticale. Funzionò, ma il suo limite era che, in assenza di elettronica, ogni singolo tassello doveva essere posizionato a mano, agendo da sotto sui supporti. La vera svolta rispetto alle soluzioni tradizionali poteva venire solo con la disponibilità di sistemi di controllo di alta complessità e basso costo.

La tecnica del mosaico per realizzare grandi telescopi fu scelta per la realizzazione del Keck Telescope, operante sul Mauna Kea, Hawaii. Ogni suo tassello esagonale ha dimensione di

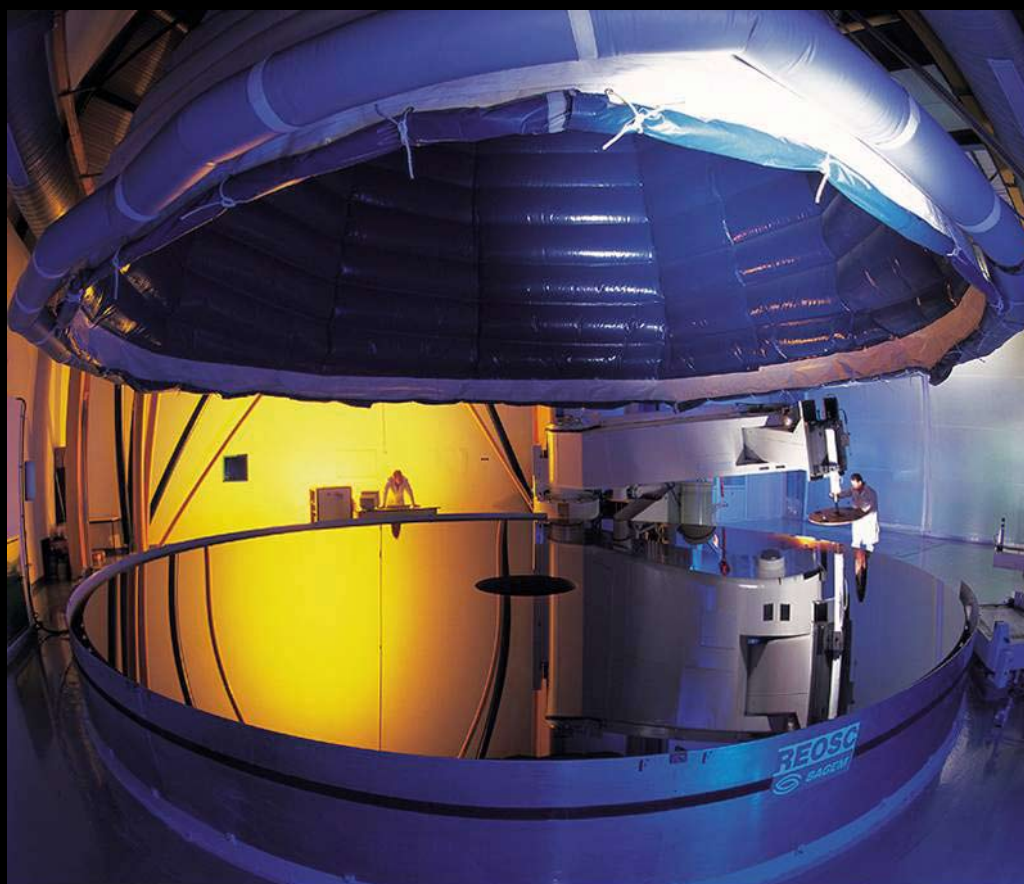
1,80 m, il mosaico equivale ad uno specchio monolitico di 10 m di diametro.

3.3 Gli specchi a nido d'ape

Questa tecnica è stata sviluppata dall'Università di Arizona, ed è stata applicata per costruire quelli che sono i più grandi specchi monolitici mai realizzati, i due specchi da 8,4 m. del *Large Binocular Telescope* su Mt. Graham (fig. 5), collaborazione tra Italia, Germania, e, in USA, Università di Arizona, Ohio e altre [3].

Il concetto (R. Angel, UoA) è quello di realizzare uno specchio spesso e rigido, ma leggero, dandogli la struttura di un alveare, con le cavità aperte nella faccia posteriore. Attraverso

3



The Polished Fourth VLT 8.2-m Mirror at REOSC

Photo: SAGEM



ESO PR Photo 44/99 (14 December 1999)

European Southern Observatory

Fig. 2 Il telescopio di 3,6 m (a) e il NTT (3,5 m) (b) a confronto: si noti la significativa riduzione della struttura in NTT (ESO).

Fig. 3 Lo specchio a forma di menisco sottile di uno dei telescopi di 8,2 m del Very Large Telescope (VLT) (ESO) durante le fasi finali di lavorazione. Il confronto con la fig. 2 rende evidente la differenza nel rapporto spessore/diametro (ESO).

4

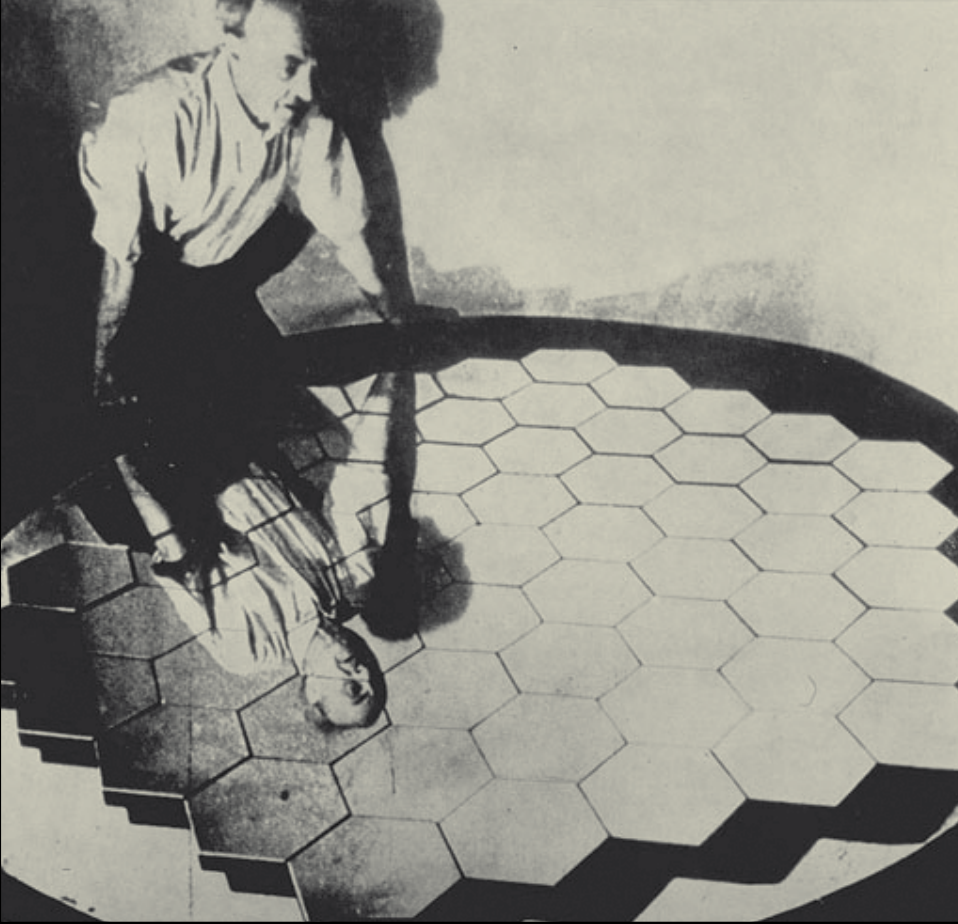


Fig.4 Guido Horn D'Arturo e lo specchio a mosaico realizzato negli anni '50 nella Torre della Specola dell'Università di Bologna.

Fig.5 *Large Binocular Telescope* (LBT).

Fig. 6 Il primo specchio a nido d'ape di 8,4 m di diametro per il LBT, fotografato con lo staff che lo ha realizzato (LBTO).

5



6





queste si può ventilare il vetro, assicurando l'equilibrio termico con l'aria circostante, problema chiave dei grandi telescopi. Per ottenere la superficie anteriore di forma parabolica, quando lo spessore del vetro è ridotto a pochi centimetri e non è possibile "scavare" in esso, è necessario usare un forno rotante. La rotazione produce in modo naturale la superficie desiderata, ma deve essere prolungata per diverse settimane, il tempo necessario allo specchio per raffreddarsi, senza indurre tensioni e rischi di rotture.

La fig. 6, mostra il primo specchio di 8,4 m prodotto, con tutto lo staff evidentemente felice e – finalmente – rilassato. La maggior rigidezza non elimina la necessità di un sistema di controllo attivo dell'assetto dello specchio, anche qui fondamentale per assicurare la qualità dell'immagine.

4 La correzione del seeing: le ottiche adattive

Con specchi monolitici di 8–9 metri di diametro si è probabilmente raggiunto il limite delle dimensioni di ciò che può essere costruito e trasportato.

L'evoluzione verso telescopi più grandi può avvenire solo combinando la capacità di costruire monoliti leggeri con quella di organizzarli in mosaico. Tecnicamente è possibile, ma prima occorre chiedersi come essi si confrontino con



soluzioni spaziali, come il Telescopio Hubble di 2,4 m di diametro e il pianificato James Webb Space Telescope, di 8 m di diametro. Infatti, se i telescopi orbitanti hanno limiti alle dimensioni dello specchio, dovute ai vincoli sui *payload*, il solo contenimento passivo del *seeing* locale non è sufficiente a rendere la risoluzione dei telescopi a terra comparabile ai primi. Una risoluzione di alcuni decimi di secondo d'arco, per un telescopio da 40 m, è un risultato modesto rispetto alla risoluzione nominalmente possibile, di qualche millesimo di secondo, o a quella di 0",05 che è raggiunta da HST. Semplificando un poco, si può affermare che la profondità che un telescopio può raggiungere aumenta nello stesso modo al crescere del diametro e al migliorare della risoluzione. La chiave della questione è data dalla possibilità di correggere il *seeing*, avvicinandosi alle condizioni descritte dalla (1) e ottenendo pieno vantaggio dalla grande apertura D dello specchio.

La distorsione dell'immagine da parte dell'atmosfera è prodotta da disuniformità rapidamente variabili della temperatura dell'aria, che inducono piccole variazioni erratiche locali dell'indice di rifrazione e quindi della velocità di propagazione della luce, che, ricordiamo, è c/n , con n è

indice di rifrazione. La distorsione che il fronte d'onda piano proveniente da una stella viene subisce è rapidamente variabile. L'effetto di questo fenomeno a chi guarda ad occhio nudo è il ben noto scintillio delle stelle. Già nel 1953 Horace Babcock ipotizzò che fosse possibile ridurre l'effetto del *seeing*, inserendo nel telescopio un elemento ottico che potesse compensare le distorsioni indotte dall'atmosfera. Anche in questo caso, l'idea è diventata realizzabile solo dopo un significativo progresso dell'elettronica. Le *ottiche adattive* sono ora largamente sperimentate e richiedono (fig. 7)

- un analizzatore del fronte d'onda, che intercetta una frazione della luce incidente da una stella di riferimento e analizza la struttura del fronte d'onda;
- un sistema di conversione della struttura del fronte d'onda in una matrice di correzione dello stesso, con cui si attiva...;
- uno specchio deformabile, su cui incide la luce, che viene rinviata al piano focale del telescopio;
- eventualmente, uno a più laser che generano "stelle artificiali" eccitando il sodio ionosferico a 90 km di altezza.

Il ciclo di funzionamento del sistema di correzione deve essere dell'ordine di 10 ms, il tempo caratteristico di

7

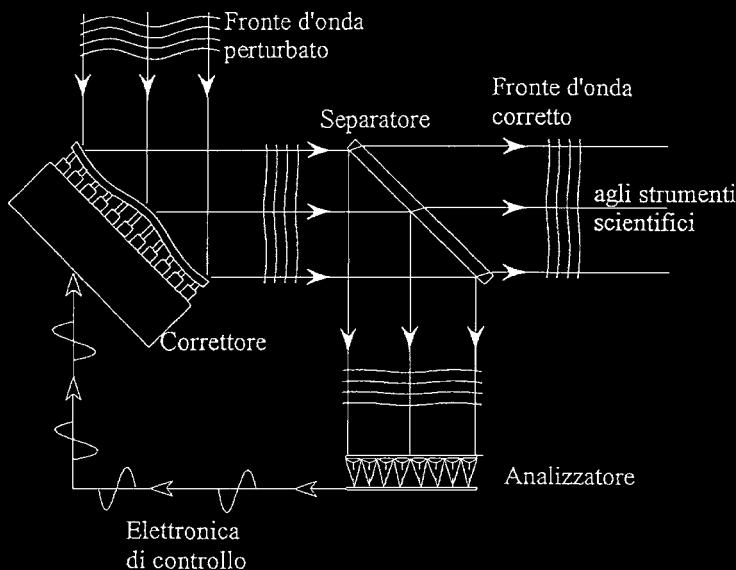
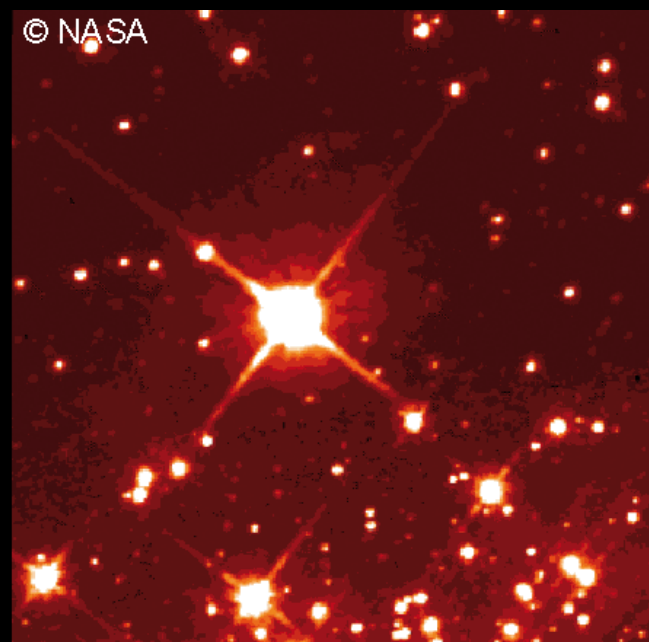


Fig.7 Schema di ottiche adattive. (Cortesia di R. Ragazzoni e A. Ghedina).

Fig. 8 Profondità e qualità delle immagini di HST e VLT con ottiche adattive a confronto nello stesso campo stellare.

Fig. 9 Orbite di alcune stelle soggette al campo gravitazionale del centro galattico, osservate con Ottiche Adattive al VLT dell'ESO (Genzel *et al.*, 1995-2002).



HST -WFP2 (I-band)

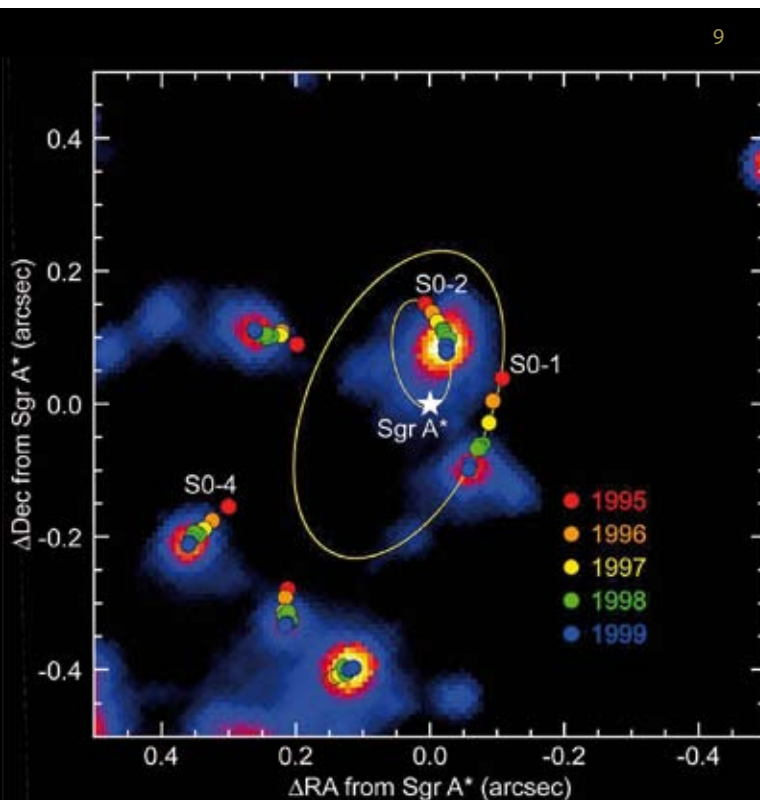
Telescopio spaziale HST 2.4 m

evoluzione della turbolenza atmosferica in fronte del telescopio. Questa caratteristica temporale distingue i sistemi *adattivi* dai quelli *attivi*. Questi agiscono, per l'allineamento delle ottiche e la correzione delle aberrazioni, con tempi dell'ordine dei minuti.

La tecnica richiede la presenza nel campo di una stella di luminosità sufficiente ad analizzare la struttura del fronte d'onda. Questo avviene solo in un'area ridotta dell'intero cielo. Per ovviare a ciò si è introdotto l'uso di laser di potenza, che eccitano il sodio presente nella ionosfera. Si genera così una stella artificiale nella direzione desiderata. L'analisi delle distorsioni alla propagazione della luce diviene quindi possibile in qualsiasi direzione, indipendentemente dalla presenza nelle vicinanze di una stella di adeguata luminosità. La correzione che si ottiene rende le immagini di qualità molto vicina a quella data dalla diffrazione, come quelle ottenibili da telescopi spaziali, ma senza le stesse limitazioni nelle dimensioni del telescopio e dello specchio primario in particolare. La *fig. 8* confronta immagini di HST e del VLT-ESO della stessa area di cielo. Si può notare che la risoluzione che la profondità ottenuta al VLT è maggiore, per effetto delle maggiori dimensioni dello specchio.

Non si tratta solo di "estetica" dell'immagine. Un esempio significativo di come l'alta risoluzione, associata alla profondità, porti a risultati scientifici di grande rilievo è mostrato nella *fig. 9*, che mostra le orbite di alcune stelle soggette al campo gravitazionale del centro galattico. Il lato dell'immagine è di circa un secondo d'arco, cioè vicino alle dimensioni che l'immagine di una singola stella assume in mancanza di ottiche adattive. Il VLT dell'ESO, dotato di uno dei primi sistemi di ottiche adattive, ha permesso di tracciare le traiettorie delle stelle per ormai due decenni (Genzel *et al.*, [4]) Una diretta applicazione della meccanica newtoniana, analoga a quella che consente di determinare la massa del Sole sulla base dell'orbita dei pianeti, consente di misurare la massa del nucleo della nostra Galassia, pari a circa 10^6 masse solari. Lo studio sta proseguendo. Se ne possono trovare gli sviluppi più recenti, inclusa una animazione dei moti, nel sito indicato nel rif. [4].

Prima di queste misure la dinamica newtoniana era verificata in modo diretto, studiando le orbite, fino a campi di gravità generati da oggetti di 10–20 masse solari. Le ottiche adattive hanno consentito un salto di cinque ordini di grandezza nella massa che origina il campo di gravità.



5 L'European Extremely Large Telescope: un telescopio adattivo con specchio di 42 m

Il successo delle tecniche adattive, accoppiate alle soluzioni che caratterizzano i telescopi di nuova tecnologia, rendono realistica la possibilità di ottenere un significativo progresso delle nostre conoscenze con telescopi ottici a terra di dimensioni maggiori di quelli ora esistenti.

Questa conclusione è alla base del progetto europeo di un telescopio di 42 m di diametro, lo *European Extremely Large Telescope* (E-ELT, rif. [5]). Oltre al grande diametro, la sua caratteristica è quella di essere strutturalmente adattivo.

I sistemi di ottiche adattive sono sorti come "appendici" strumentali di telescopi che, di per se, sono telescopi ancora convenzionali o, al più, attivi. In questo caso è previsto che le superfici deformabili siano parte integrante dell'ottica del telescopio, che forma al piano focale una immagine vicina quanto possibile al limite di diffrazione.

Questa scelta progettuale si fonda su una esperienza nata in Italia presso l'Osservatorio di Arcetri, e sviluppata in collaborazione con alcune imprese italiane, che ha portato a realizzare superfici deformabili di dimensioni dell'ordine del metro, dotate di centinaia di attuatori in grado di modificarne in modo controllato la forma in tempi di alcuni millisecondi, caratteristici della turbolenza atmosferica.

La superficie adattiva può quindi essere lo stesso specchio secondario del telescopio.

Dopo una sperimentazione su un primo prototipo, il *Large Binocular Telescope* sarà dotato di specchi secondari adattivi entro quest'anno. Uno dei quattro telescopi del VLT dell'ESO avrà tra tre anni un secondario adattivo, realizzato in Italia dalle imprese ADS e Microgate.

Sulla base di questa esperienza, dopo il passo che ha portato ai "telescopi attivi", ci si può muovere verso un grande "telescopio adattivo", l'*European Extremely Large Telescope*.

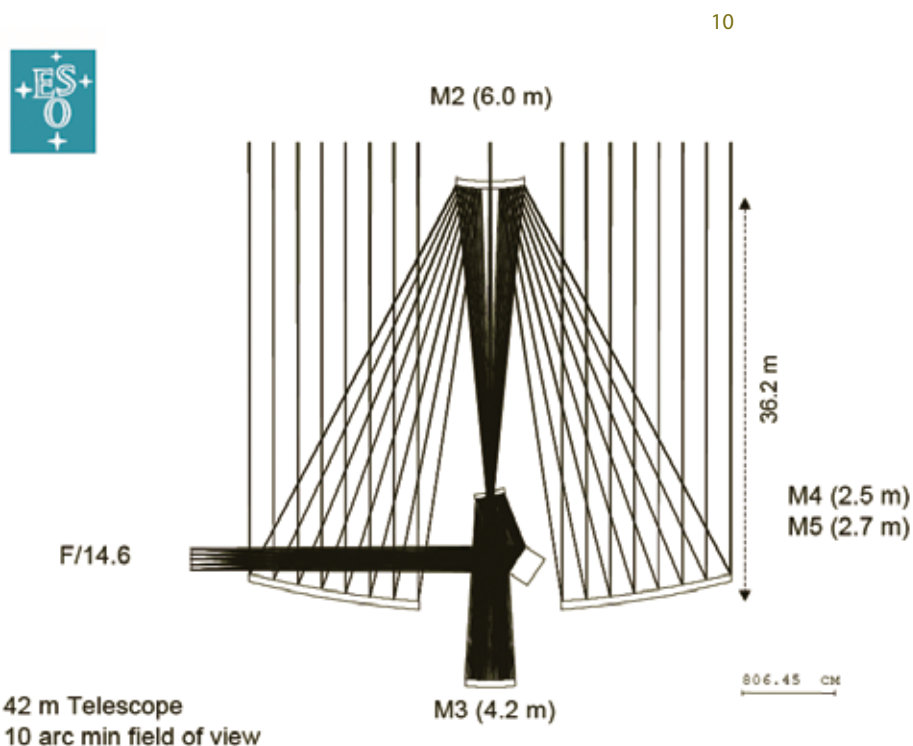


Fig.10 Lo schema ottico dell'*European Extremely Large Telescope* (EELT). La luce proveniente da una sorgente (alto), riflessa dagli specchi primario e secondario, passa attraverso gli elementi adattivi.

Fig.11 Una rappresentazione d'insieme del EELT.

Questa è la direzione che è stata adottata dopo un dibattito nella comunità scientifica europea, le cui conclusioni sono raccolte nella *roadmap* di Astronet [6], il primo sforzo organico dell'astronomia europea di darsi una strategia comune. Lo sviluppo del progetto, in fase avanzata, è coordinato dall'ESO e coinvolge 26 istituti europei.

Gli obiettivi scientifici principali, che richiedono sia grande apertura che alta risoluzione angolare e grande, sono

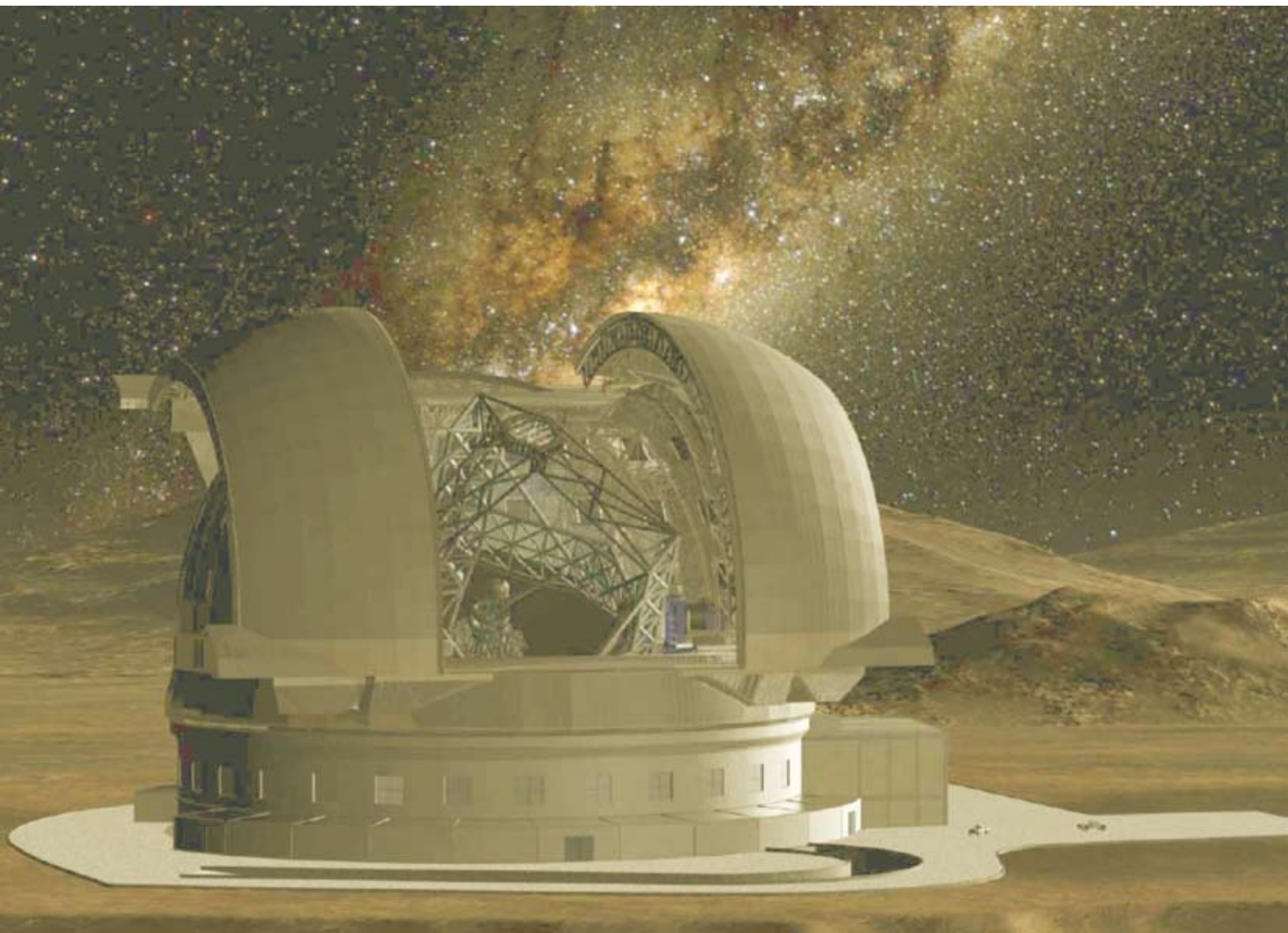
- l'osservazione diretta di pianeti extrasolari di tipo terrestre, ritenuta da tanti una delle frontiere più interessanti della ricerca futura;
- l'osservazione diretta della formazione di galassie e quasar, nelle fasi iniziali dell'evoluzione dell'Universo;
- l'evoluzione dei parametri dell'Universo, con le implicazioni relative a massa e energia oscure.

Una breve descrizione di un esempio più specifico relativo all'ultimo punto: si valuta che in venti anni l'EELT possa

misurare la differenza nella velocità di recessione di un campione di galassie, misurando così in modo diretto l'accelerazione – o decelerazione – nell'espansione attuale dell'Universo. La grande capacità di raccogliere luce di EELT andrà associata con uno strumento che garantisca una sensibilità dell'ordine di 10^{-9} , CODEX, anch'esso in fase di progetto.

La struttura del telescopio si basa su un sistema di cinque specchi (schema in [fig. 10](#)). Lo specchio primario è un mosaico di circa 900 segmenti esagonali di 1,45 m. Lo specchio secondario è un monolite di 8 m di diametro. Entrambe le unità sono attive, per mantenere l'allineamento degli elementi del primario e l'allineamento primario-secondario.

Gli specchi 3, 4, e 5 costituiscono il sistema adattivo, che corregge l'immagine e la rinvia ad una di sette posizioni focali, ciascuna delle quali alloggia uno strumento.



La **fig. 11** mostra infine un disegno d'insieme dell'edificio e del telescopio.

Se, nel 2010, a progetto completato, i quattordici stati europei membri dell'ESO approveranno la costruzione, e il suo completo finanziamento, lo EELT potrà "vedere la prima luce" nel 2017.

Si è detto sopra delle principali motivazioni scientifiche attuali che guidano il progetto.

L'esperienza passata, e non solo nell'astronomia, mostra tuttavia che un significativo progresso strumentale porta a scoprire fatti in precedenza ignoti e addirittura inaspettati: accade col telescopio di Galileo, accadde nel XIX secolo col grande riflettore di Lord Rosse, che scoprì la struttura spirale delle galassie, con la scoperta delle radiosorgenti, dei quasar, del fondo cosmico a microonde, delle sorgenti di radiazione X, dei *Gamma Ray Bursts*. È verosimile quindi che uno strumento come EELT, che incrementa la sensibilità di circa 40 volte rispetto ai massimi telescopi esistenti, porti la futura generazione di ricercatori a scoperte non previste.

Bibliografia:

- [1] La storia della costruzione del 5 m del Mt. Palomar è descritta, con abbondanza di immagini, in www.astro.caltech.edu/palomar/history
- [2] R. N. Wilson, *"Reflecting telescope optics: basic design theory and its historical development"*, 2 edizione (Springer, Berlin), 2004, cap XV, p. 567
- [3] Per una descrizione del *Large Binocular Telescope*: <http://lbtwww.arcetri.astro.it/>
- [4] S. Gillessen, F. Eisenhauer, S. Trippe, T. Alexander, R. Genzel, F. Martins, T. Ott, *"Monitoring stellar orbits around the Massive Black Hole in the Galactic Center"*, 2008, arXiv:0810.4674v1 [astro-ph] e riferimenti in esso contenuti.
- [5] R. Gilmozzi, J. Spyromilio, *The ESO Messenger*, n.127, March 2007 (<http://www.eso.org/sci/publications/messenger/archive/no.127-mar07/gilmozzi.pdf>)
- [6] *"Astronet Roadmap"*, per un riassunto: http://www.astronet-eu.org/IMG/pdf/Astronet-Brochure_light.pdf ; testo integrale (40Mby!): <http://www.astronet-eu.org/IMG/pdf/Astronet-Book.pdf>

Bruno Marano

Bruno Marano è professore ordinario di Astronomia e Astrofisica presso il Dipartimento di Astronomia dell'Università di Bologna. È stato direttore dell'Osservatorio Astronomico di Bologna, componente e presidente dello *Scientific Advisory Committee* del *Large Binocular Telescope*. È attualmente delegato italiano nel *Council* dell'"*European Southern Observatory*" (ESO) e presidente dello *Scientific Strategy Working Group* dello stesso organismo. I suoi interessi scientifici sono rivolti principalmente alla Cosmologia Osservativa, ed in specifico allo studio dei quasar e della struttura su grande scala dell'Universo, nonché allo sviluppo di grandi telescopi ottici da terra.