

ESO

Osservatorio
Europeo
del Sud

Un Universo di scoperte



Indice

L'ESO	3
ESO e l'astronomia	4
Comprendere il nostro mondo	7
Districare i segreti del cosmo	8
<i>Gente dell'ESO: Christophe Dumas</i>	8
Cercare altri mondi	9
Stelle molto vecchie	9
<i>Gente dell'ESO: Lucie Jílková</i>	10
Un buco nero al centro della nostra Galassia	10
Gamma Ray Bursts	12
Le migliori dieci scoperte astronomiche dell'ESO	13
A sostegno degli astronomi Europei	14
Paranal	16
<i>Gente dell'ESO: Karla Aubel</i>	17
Molti occhi ma un solo sguardo	18
Muovere i telescopi	19
Telescopi per survey	21
La Silla	22
<i>Gente dell'ESO: Françoise Delplancke</i>	25
A caccia di nuove tecnologie	25
Immagini dal VLT	26
L'esplorazione dell'Universo «freddo» — ALMA	28
<i>Gente dell'ESO: Stefano Stanghellini</i>	29
Un'impresa globale	32
APEX	33
<i>Gente dell'ESO: Petra Nass</i>	34
Alta efficienza — il sistema di flusso dei dati	34
Archivio scientifico	35
L'universo digitale	35
Progetti futuri — L'E-ELT	36
<i>Gente dell'ESO: Marc Sarazin</i>	36
Costruire collaborazioni	40
EIROforum	41
Incontrare la società	42
Trasferimento tecnologico	43
I programmi educativi e di comunicazione dell'ESO	44
Lavorare all'ESO	46
<i>Gente dell'ESO: Jean-Michel Bonneau</i>	46
ESO è ...	47



L'ESO

L'ESO, l'Osservatorio Europeo del Sud, è l'osservatorio più produttivo a livello scientifico che ci sia al mondo. Fondato nel 1962 ESO fornisce strutture di ricerca all'avanguardia ad astronomi e astrofisici ed è sostenuto da Austria, Belgio, Repubblica Ceca, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Italia, Olanda, Portogallo, Spagna, Svezia, Svizzera e Regno Unito. Vari altri paesi hanno espresso forte interesse a farne parte.

Il quartier generale dell'ESO (compreso il nucleo centrale scientifico, tecnico e amministrativo) si trova a Garching vicino a Monaco di Baviera, in Germania. In Cile ESO opera, oltre che con l'ufficio principale di Vitacura a Santiago, con tre siti di osservazione di livello mondiale nel Deserto di Atacama. A La Silla, 600 chilometri a nord di Santiago ad una altitudine di 2400 metri, l'ESO gestisce vari telescopi ottici di media grandezza. Il Very

Large Telescope (VLT) si trova sul Cerro Paranal, una montagna alta 2600 metri a sud di Antofagasta, che ospita anche l'interferometro del VLT e due telescopi a grande campo, VST e VISTA. Il terzo sito è il Llano de Chajnantor, a 5000 metri di altezza, vicino a San Pedro di Atacama. Qui è già attivo un nuovo telescopio submillimetrico (APEX) mentre una gigantesca rete di antenne submillimetriche di 12 metri ciascuna (ALMA) è in fase di costruzione, in collaborazione con l'Estremo Oriente, il Nord America e la Repubblica del Cile.

L'ESO sta attualmente lavorando alla progettazione dell'*Extremely Large Telescope* (E-ELT), un nuovo grande telescopio per l'osservazione nell'ottico e nel vicino infrarosso. Il contributo totale degli stati membri all'ESO è di circa 135 milioni di euro anno. In ESO lavorano circa 700 persone.

«All'ESO si raggiunge un livello di cooperazione internazionale quasi unico, tutto è fatto al meglio dai migliori specialisti, indipendentemente dal Paese o dall'Istituzione di provenienza. Questo spirito di eccellenza è un esempio per tutta Europa.»

Maria Van der Hoeven, Ministro dell'Educazione, della Cultura e della Ricerca Scientifica in Olanda

ESO e l'astronomia

L'astronomia è spesso definita come la scienza più antica e senza dubbio la maestosa Via Lattea — che solca il cielo nelle notti serene — è stata, per i popoli di ogni tempo e cultura, una visione letteralmente stupefacente. Oggi l'astronomia è una delle scienze più moderne e dinamiche, utilizza alcune tra le tecnologie più avanzate e le più sofisticate metodologie

a disposizione degli scienziati. Questi sono tempi entusiasmanti per l'astronomia: la tecnologia attuale ci permette di studiare oggetti al limite dell'Universo e di rilevare la presenza di pianeti intorno ad altre stelle. Possiamo iniziare a rispondere a una domanda fondamentale, che affascina ciascuno di noi: siamo soli nell'Universo?

L'ESO è la più importante organizzazione intergovernativa scientifica e tecnologica per l'astronomia. Porta avanti un programma ambizioso centrato sulla progettazione, la costruzione e l'esercizio di potenti strutture astronomiche da terra, che rendono possibili importanti scoperte scientifiche.



L'ESO gestisce l'Osservatorio di La Silla Paranal in due siti nel Deserto di Atacama in Cile. La Silla, una montagna di 2400 metri a 600 chilometri a nord di Santiago del Cile, è sede di vari telescopi con specchi di diametro fino a 3,6 metri dedicati a programmi a lungo termine e con caratteristiche di punta. Il fiore all'occhiello è il *Very Large Telescope* (VLT) sul monte Paranal, il cui progetto, basato su strumenti e principi operativi di avanguardia, ha fissato lo standard per l'astronomia ottica e infrarossa da terra. In assetto interferometrico (VLTI), il VLT raggiunge prestazioni ancora più estreme, così come VST (nell'ottico) e VISTA (nell'infrarosso), telescopi ad ampio campo.

Ogni anno ci sono circa 2000 richieste di utilizzo dei telescopi dell'ESO, da quattro a sei volte più delle notti disponibili. ESO è il più produttivo osservatorio da terra al mondo, i cui risultati appaiono annualmente in molte pubblicazioni scientifiche. Solo nel 2009 oltre 700 articoli scientifici sono stati pubblicati sulla base di dati forniti dall'ESO.

L'ESO è anche il punto focale della partecipazione europea al consorzio *Atacama Large Millimeter/submillimeter Array* (ALMA), una collaborazione intercontinentale con Nord America, Estremo Oriente e Repubblica del Cile. Il consorzio ALMA sta costruendo questo strumento unico nel suo genere in un sito a 5000 metri di altitudine, Chajnantor, sull'Altipiano Cileno. ALMA inizierà le osservazioni scientifiche nel 2011 e promette di trasformare la scienza astronomica come ha fatto a suo tempo il telescopio Hubble.

Il prossimo passo dopo il VLT è la costruzione dell'E-ELT, un telescopio estremamente grande, con uno specchio primario di 42 metri di diametro. L'E-ELT diventerà il più grande occhio del mondo rivolto al cielo, il più grande telescopio nell'ottico e nel vicino infrarosso. L'ESO ha sviluppato un progetto d'avanguardia e sta disegnando i piani dettagliati della costruzione. L'E-ELT fornirà immagini mai viste prima di pianeti di tipo terrestre intorno ad altre stelle, immagini che costituiranno una pietra miliare dell'astronomia.



Tim de Z

Tim de Zeeuw
Direttore Generale ESO



Comprendere il nostro mondo

Gli astronomi affrontano questioni fondamentali, che sfidano la nostra mente e la nostra immaginazione. Come si sono formati i pianeti? Come si è sviluppata la vita sulla Terra? La vita è diffusa in tutto l'Universo? Come si sono formate le galassie? Cosa sono la materia oscura e l'energia oscura?

L'astronomia è una scienza moderna e altamente tecnologica che esplora lo spazio attorno a noi e cerca di spiegare i processi che vi si svolgono. Essa studia le nostre origini e cerca di capire il possibile futuro del Sistema Solare, della Via Lattea e dell'intero Universo.

L'astronomia è anche la scienza delle condizioni estreme. Si occupa delle distanze più grandi, dei più lunghi periodi di tempo, dei corpi a più grande massa, delle temperature più alte, dei più forti campi elettrici e magnetici, delle densità più alte e più basse ed infine delle energie più estreme che conosciamo.

L'astronomia è una parte della fisica che si basa sull'osservazione. Infatti, a parte qualche corpo del Sistema Solare che abbiamo studiato tramite sonde interplanetarie, non possiamo «toccare» i corpi oggetto del nostro studio. Interpretiamo i fenomeni osservati applicando la nostra conoscenza attuale delle leggi naturali.

Per permettere queste osservazioni, l'astronomia impiega alcuni degli strumenti e dei metodi più sofisticati mai concepiti dall'uomo. L'alta tecnologia gioca un ruolo molto importante nell'astronomia.

L'astronomia fa parte integrante della nostra cultura ed è un ottimo esempio della nostra innata curiosità e del desiderio di conoscere meglio ciò che ci circonda. Ora che abbiamo esplorato la maggior parte della superficie terrestre, l'astronomia si occupa della ben più vasta *Terra Incognita* che ci circonda.

Contribuisce a farci capire meglio la fragilità del nostro ambiente e quanto straordinaria sia la presenza della vita sulla Terra. L'astronomia ci ha fatto anche capire quanto davvero sia precaria la nostra posizione nell'Universo.

Questa scienza ci fornisce anche il quadro necessario a future spedizioni nello spazio e alla possibile espansione in esso della specie umana. Studiando le condizioni «là fuori» prepariamo a questa impresa le generazioni future.

Osservare galassie lontane significa guardare indietro nel tempo, a volte quasi alle origini dello stesso Universo, quando il tempo ebbe inizio. Significa studiare come si è evoluto l'Universo, come si sono formati stelle e pianeti, compresa la Terra. L'astronomia è lo studio delle origini, ma è anche lo studio di eventi apocalittici e misteriosi. Ma è soprattutto il tentativo più audace dell'umanità di comprendere il mondo in cui vive.

Districare i segreti del cosmo



Gente dell'ESO: Christophe Dumas, Astronomo e Capo del Dipartimento Operazioni Scientifiche di Paranal

«Dopo essermi diplomato in ingegneria elettronica alla scuola francese *Supélec* ho deciso di seguire il mio principale interesse diventando astronomo. Prima di approdare all'ESO ho lavorato alle Hawaii, dove ho svolto il mio PhD in astrofisica e poi al JPL della NASA, in California. Il mio interesse scientifico verte sullo studio degli oggetti piccoli e primitivi del Sistema Solare (asteroidi, comete e trans Nettuniani) per indagare i processi alla base della formazione dei pianeti, l'origine dell'acqua sulla Terra e cosa rende capace i pianeti a sostenere la vita come noi la conosciamo. Per questo ho cominciato a usare le ottiche adattive, che ci permettono di studiare la geologia di oggetti così distanti. Questo mi ha condotto a lavorare nel campo della ricerca dei pianeti extrasolari e sono felice di essere stato uno dei componenti del team che catturò la prima immagine di un esopianeta con il VLT. Infatti, sono stato quello che ha preso l'immagine al telescopio e sono molto orgoglioso che questa immagine sia ora usata come illustrazione in molte riviste scientifiche e libri di testo. Mi fa capire veramente come noi, che stiamo lavorando al VLT, siamo al confine estremo della scienza. L'uso congiunto della stella-laser guida e delle ottiche adattive è molto potente. SPHERE, la nuova generazione di cacciatori di pianeti extrasolari al VLT aprirà la via a ulteriori progressi in questo settore, ma per me l'obiettivo finale è di poter usare l'E-ELT per trovare un pianeta simile alla Terra che orbiti intorno ad una stella simile al nostro sole.»

Cercare altri mondi

I telescopi dell'ESO forniscono i dati che conducono a molti dei progressi dell'astronomia contemporanea e generano ogni anno molte pubblicazioni scientifiche. Gli astronomi utilizzano questi osservatori all'avanguardia per studiare ogni genere di oggetti celesti, dal Sistema Solare fino agli estremi confini dell'Universo. Qui ci uniamo a loro in un viaggio attraverso il cosmo, descrivendo solo parte delle scoperte fatte all'ESO.

La ricerca di pianeti al di fuori dal Sistema Solare costituisce un elemento chiave di quella che è forse la domanda più profonda dell'umanità: c'è vita in qualche altra parte dell'Universo? Gli osservatori dell'ESO possiedono una dotazione unica di strumenti per trovare, studiare e monitorare i cosiddetti pianeti «extrasolari».

Utilizzando il VLT, gli astronomi hanno potuto per la prima volta identificare il fiavole barlume di un pianeta in orbita intorno ad un'altra stella, prendendo la prima immagine in assoluto di un pianeta extrasolare. Questo nuovo mondo è gigantesco, circa cinque volte più grande di Giove. Quest'osservazione segna un primo grande passo verso uno dei più importanti obiettivi della moderna astrofisica: caratterizzare in un primo tempo la struttura fisica e la composizione chimica di pianeti giganti, e successivamente di pianeti simili alla Terra.

Utilizzando una tecnica innovativa chiamata *microlensing*, uno dei telescopi di La Silla ha operato come parte di una rete di telescopi sparsi per il globo. Questa collaborazione ha scoperto un nuovo pianeta extrasolare che ha una massa solo circa cinque volte quella della Terra. Questo pianeta orbita la sua stella in circa 10 anni ed ha quasi certamente una superficie rocciosa/ghiacciata.

Con l'HARPS (*High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher*) gli astronomi hanno scoperto non meno di quattro pianeti orbitanti attorno ad una stella vicina, con massa inferiore a quella di Nettuno, tra cui un pianeta due volte la massa terrestre, il più piccolo mai scoperto, e un altro sette volte la massa della Terra, che è collocato nella «zona abitabile» della stella che lo ospita. Questo pianeta ha un'orbita di circa 66 giorni e



gli astronomi pensano che sia coperto d'acqua, un mondo d'acqua. La sua scoperta segna un risultato fondamentale nella ricerca di pianeti che potrebbero permettere la vita.

«I flebili segnali scoperti da HARPS non avrebbero potuto essere distinti dal «semplice rumore di fondo», dalla maggior parte degli spettrografi attualmente disponibili.»

Michel Mayor, Osservatorio di Ginevra, tra gli scopritori del primo pianeta extrasolare

«Gli spettri che abbiamo ottenuto da questa stella, relativamente debole, sono assolutamente magnifici, di una qualità che fino a poco tempo fa era riservata solo alle stelle visibili a occhio nudo. A dispetto della sua debolezza, la riga dell'Uranio può essere misurata con un'accuratezza molto buona.»

Roger Cayrel, Osservatorio di Parigi

Stelle molto vecchie

Squadre di astronomi hanno usato il VLT per svolgere misure d'importanza unica, che segnano la strada per una determinazione indipendente dell'età dell'Universo. Hanno misurato la concentrazione dell'isotopo radioattivo uranio-238 in una stella che si è originata quando la Via Lattea si stava ancora formando.

Come la datazione con il carbonio in archeologia, ma su scale temporali molte più ampie, quest'orologio all'uranio misura l'età delle stelle. Esso dimostra che la stella più vecchia ha 13,2 miliardi di anni. Poiché la stella non può essere più vecchia dell'Universo stesso, questo deve essere ancora più antico. Ciò concorda con quanto sappiamo dalla cosmologia, che attribuisce all'Universo l'età di 13,7 miliardi di anni. Sia quella stella che la nostra galassia devono quindi essersi formate appena dopo il *Big Bang*.

Un altro risultato spinge al limite le tecnologie usate in astronomia e getta nuova luce sulle prime fasi di evoluzione della Via Lattea. Gli astronomi hanno potuto fare le prime misure del contenuto di berillio in due stelle di un ammasso globulare e con queste hanno studiato le fasi più antiche della formazione delle stelle della Via Lattea e di quelle dell'ammasso. Hanno così scoperto che la prima generazione di stelle della Via Lattea deve essersi formata molto presto, dopo la fine dell'Era Oscura, circa 200 milioni di anni dopo il *Big Bang*.

Un buco nero al centro della nostra Galassia



Gente dell'ESO: Lucie Jílková, studente dell'ESO a Vitacura

«Ho trascorso il mio primo anno di dottorato di ricerca all'Università Masaryk di Brno nella Repubblica Ceca e voglio tornare lì per finire i miei studi, dopo aver trascorso due anni a ESO in Cile. Finora ho sempre preferito la teoria alle osservazioni, ma sono venuta qui per vedere se restava tale la preferenza in un ambiente di alto livello. Questo è uno dei motivi per cui ho scelto la borsa di studio ESO a Santiago: per un'esperienza in più e per imparare l'astronomia osservativa. Nella mia tesi sto analizzando in dettaglio la struttura ed i moti del nostro piccolo angolo di Via Lattea, studiando le orbite di giovani agglomerati aperti. Per questa ricerca ho intenzione di utilizzare, tra l'altro, i dati dallo strumento FLAMES al VLT. Poter ottenere ed elaborare questi dati sarà per me una grande sfida con cui non vedo l'ora di cimentarmi. Oltre al piacere di poter vivere un'esperienza unica di lavoro quale ESO rappresenta in un ambiente di collaborazione internazionale, sono anche lieta di studiare in Cile, un paese stupefacente, con paesaggi di montagna mozzafiato — così diverso dal mio paese nel cuore dell'Europa.»





Il centro della Via Lattea.

Cosa c'è al centro della Via Lattea? A lungo gli astronomi hanno sospettato che un buco nero fosse nascosto nel cuore della nostra galassia, senza poterne avere la certezza. Dopo 15 anni di assiduo monitoraggio del centro della Galassia con i telescopi dell'ESO all'Osservatorio di La Silla Paranal, gli scienziati hanno finalmente ottenuto le prove decisive della sua esistenza.

Le stelle nel centro della Via Lattea sono così densamente ammassate le une sulle altre che solo con tecniche d'immagine particolari come l'ottica adattativa (vedi pagina 25), utilizzata per incrementare la risoluzione del VLT, gli astronomi hanno potuto osservare, con un'accuratezza senza precedenti, stelle singole mentre si muovono attorno al centro della Galassia. Lo studio della loro orbita ha mostrato con certezza che queste sono soggette all'azione di un fortissimo campo gravitazionale dovuto a un buco nero gigante, almeno tre milioni di volte più massiccio del Sole.



Le parti centrali della galassia attiva NGC 1097.

Le osservazioni del VLT hanno anche rivelato lampi di luce infrarossa che provengono da quella regione a intervalli regolari. La natura di questo fenomeno non è ancora spiegata, ma è stato suggerito che ciò potrebbe indicare che il buco nero sia in rapida rotazione. Qualunque cosa stia accadendo, la vita del buco nero non è tutta pace e tranquillità!

Gli astronomi usano il VLT anche per osservare il centro di altre galassie, dove si trovano ugualmente chiare tracce di buchi neri giganti. Nella galassia attiva NGC 1097 hanno potuto vedere l'intricato dettaglio di una complessa rete di filamenti di materia che si avvolgono a spirale verso il centro di quella galassia. Questa potrebbe essere la prima immagine dettagliata del processo che conduce la materia dalla periferia della galassia fino al collasso nel nucleo.

«Avevamo bisogno di immagini ancora più precise per stabilire se fosse possibile una spiegazione alternativa ad un buco nero e contavamo sul VLT dell'ESO per fornircelo. Ora l'era della fisica osservativa dei buchi neri è davvero cominciata!»

Reinhard Genzel,
Direttore dell'Istituto Max-Planck
per la Fisica Extraterrestre

Gamma Ray Bursts

I *Gamma Ray Bursts* (GRB) sono lampi di raggi gamma altamente energetici che durano da meno di un secondo a vari minuti — un battito di ciglia rispetto alle età cosmiche. Si sa che avvengono a enorme distanza dalla Terra, verso i confini dell'Universo osservabile.


Il VLT ha osservato il «bagliore» della più lontana emissione di raggi gamma conosciuta. Con un valore di *redshift* stimato a 8,2 la luce di questa sorgente astronomica molto remota ha impiegato più di 13 miliardi di anni per giungere fino a noi. Un segnale che ci proviene quindi dall'epoca in cui l'Universo aveva circa 600 milioni di anni, cioè meno di 5% della sua età attuale. Con questo lampo in pochi secondi è stata rilasciata 300 volte l'energia che il nostro Sole emetterà nella sua intera esistenza di più di 10 miliardi di anni! I GRB sono le più potenti esplosioni nell'Universo dal tempo del *Big Bang*.

I ricercatori hanno a lungo cercato di scoprire la natura di queste esplosioni. Le osservazioni mostrano che i GRB sono di due tipi — di breve durata (meno di alcuni secondi) e di lunga durata — suggerendo che siano prodotti da due diversi tipi di eventi.

Nel 2003 gli astronomi che usavano i telescopi dell'ESO hanno avuto un ruolo chiave nel collegare i GRB di lunga durata con l'esplosione finale di stelle a grande massa giunte al termine della loro evoluzione, conosciute come ipernovae. Seguendo l'evoluzione del segnale per un mese intero, gli astronomi hanno dimostrato che questo fenomeno ha proprietà simili a quelle di una supernova, generata quando una stella gigante esplode al termine della sua evoluzione.

Nel 2005 i telescopi dell'ESO hanno intercettato per la prima volta la luce visibile susseguente a un'esplosione di breve durata. Seguendo l'andamento di questo segnale per tre settimane, gli astronomi hanno dimostrato che le esplosioni di breve durata — a differenza di quelle di lunga durata — non potevano essere causate da un'ipernova. Si pensa siano invece dovute alla fusione violenta di stelle di neutroni o da buchi neri.





Le migliori dieci scoperte astronomiche dell'ESO

1 L'Universo sta accelerando

Due ricerche indipendenti hanno mostrato che l'espansione dell'Universo sta accelerando — Tali ricerche sono basate sulle osservazioni di stelle in esplosione ottenute con i telescopi astronomici di La Silla.

2 La prima immagine di un pianeta extrasolare

Il VLT ha ottenuto la prima immagine di un pianeta al di fuori del Sistema Solare. Il pianeta ha cinque volte la massa di Giove e orbita intorno a una stella mancata — una nana bruna — a 55 volte la distanza massima tra Terra e Sole.

3 Le stelle che orbitano intorno al buco nero della Via Lattea

Diversi telescopi dell'ESO sono stati usati negli ultimi 16 anni per ottenere l'osservazione più dettagliata mai vista dei dintorni del mostro in agguato al centro della nostra galassia — un buco nero supermassiccio.

4 La connessione tra i *gamma ray burst* e le *supernovae*

I telescopi dell'ESO hanno fornito prove definitive che i *gamma ray burst* più lunghi sono collegati alle esplosioni finali di stelle massicce (ovvero *supernovae*), risolvendo un puzzle che persisteva da lungo tempo.

5 Il moto delle stelle nella Via Lattea

Dopo più di mille notti di osservazione a La Silla, condotte per oltre 15 anni, gli astronomi hanno determinato il moto di più di 14.000 stelle come il Sole residenti nelle vicinanze del Sole, mostrando che la nostra galassia ha condotto una vita caotica e turbolenta molto più di quanto si ipotizzasse precedentemente.

6 La stella più vecchia della nostra galassia

Usando il VLT dell'ESO, gli astronomi hanno misurato l'età della stella più vecchia conosciuta nella Via Lattea, la nostra galassia. La stella è nata 13,2 miliardi di anni fa, ai primissimi inizi dell'era di formazione delle stelle nell'Universo.

7 La connessione tra *gamma ray burst* e *merging* di stelle di neutroni

Un telescopio a La Silla è stato capace di osservare per la prima volta la luce visibile di un *gamma ray burst* breve, dimostrando che questa famiglia di fenomeni è originata dalla collisione di due stelle di neutroni.

8 La temperatura cosmica misurata in modo indipendente

Per la prima volta il VLT ha rilevato molecole di monossido di carbonio in una galassia distante quasi 11 miliardi di anni luce, un'impresa che si è cercato di compiere per 25 anni. Questo ha permesso agli astronomi di ottenere la misura più precisa della temperatura cosmica in epoca così remota.

9 Il più distante oggetto misurato

Il *Very Large Telescope* ha ottenuto lo spettro caratteristico del più lontano e antico oggetto conosciuto nell'Universo, visto solo 600 milioni di anni dopo il *Big Bang*.

10 Trovato l'esopianeta più leggero

Lo spettrografo HARPS ha aiutato gli astronomi nella scoperta di un sistema contenente il pianeta extrasolare più leggero — solo circa il doppio della massa della nostra Terra — nonché di un pianeta situato all'interno della cosiddetta fascia abitabile, dove potrebbero esistere oceani di acqua liquida.

A sostegno degli astronomi Europei





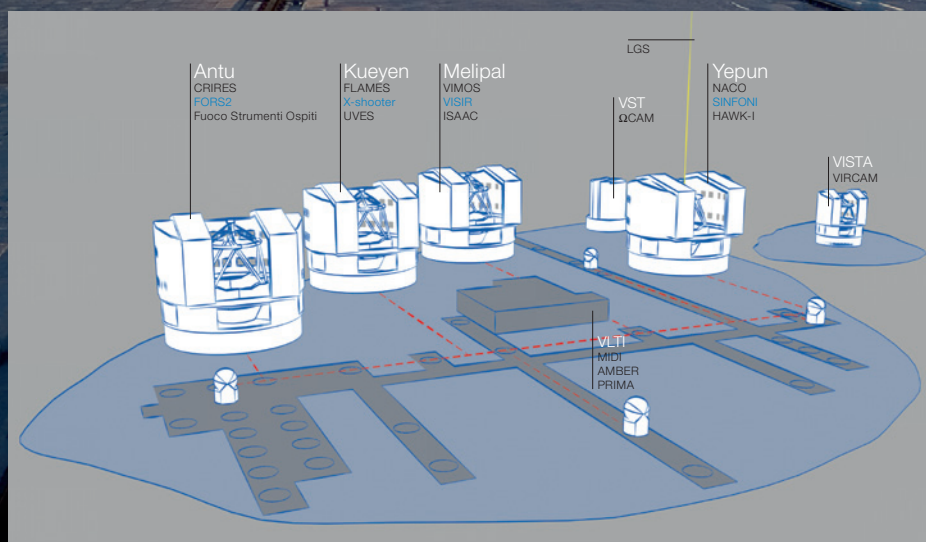
Come stabilito nel suo statuto, l'ESO fornisce strutture avanzate per gli astronomi europei e promuove e organizza la cooperazione internazionale nella ricerca astronomica. Oggi l'ESO gestisce alcune tra le più grandi e avanzate strutture d'osservazione del mondo in tre siti nel Cile settentrionale: La Silla, Paranal e Chajnantor. Questi sono i migliori siti conosciuti per osservazioni astronomiche nell'emisfero meridionale. Con altre attività come lo sviluppo tecnologico, convegni e progetti educativi, ESO gioca un ruolo decisivo nella creazione di un'Area Europea di Ricerca per l'astronomia e l'astrofisica.

«Questo è un tributo al genio umano. È un contributo straordinario allo sviluppo della conoscenza e come Commissario per la Ricerca sono orgoglioso che sia una conquista europea.»

Philippe Busquin, Commissario Europeo per la Ricerca (2000–2005)

Paranal

La serie dei *Very Large Telescope* è la struttura di punta dell'astronomia europea all'inizio del terzo millennio.



Strumenti sul
Very Large Telescope.

Il VLT è lo strumento ottico più avanzato al mondo, formato da quattro telescopi con specchi primari di 8,2 metri di diametro (UT) e quattro Telescopi Ausiliari mobili di 1,8 metri (AT) che possono combinarsi con gli UT, formando un interferometro.

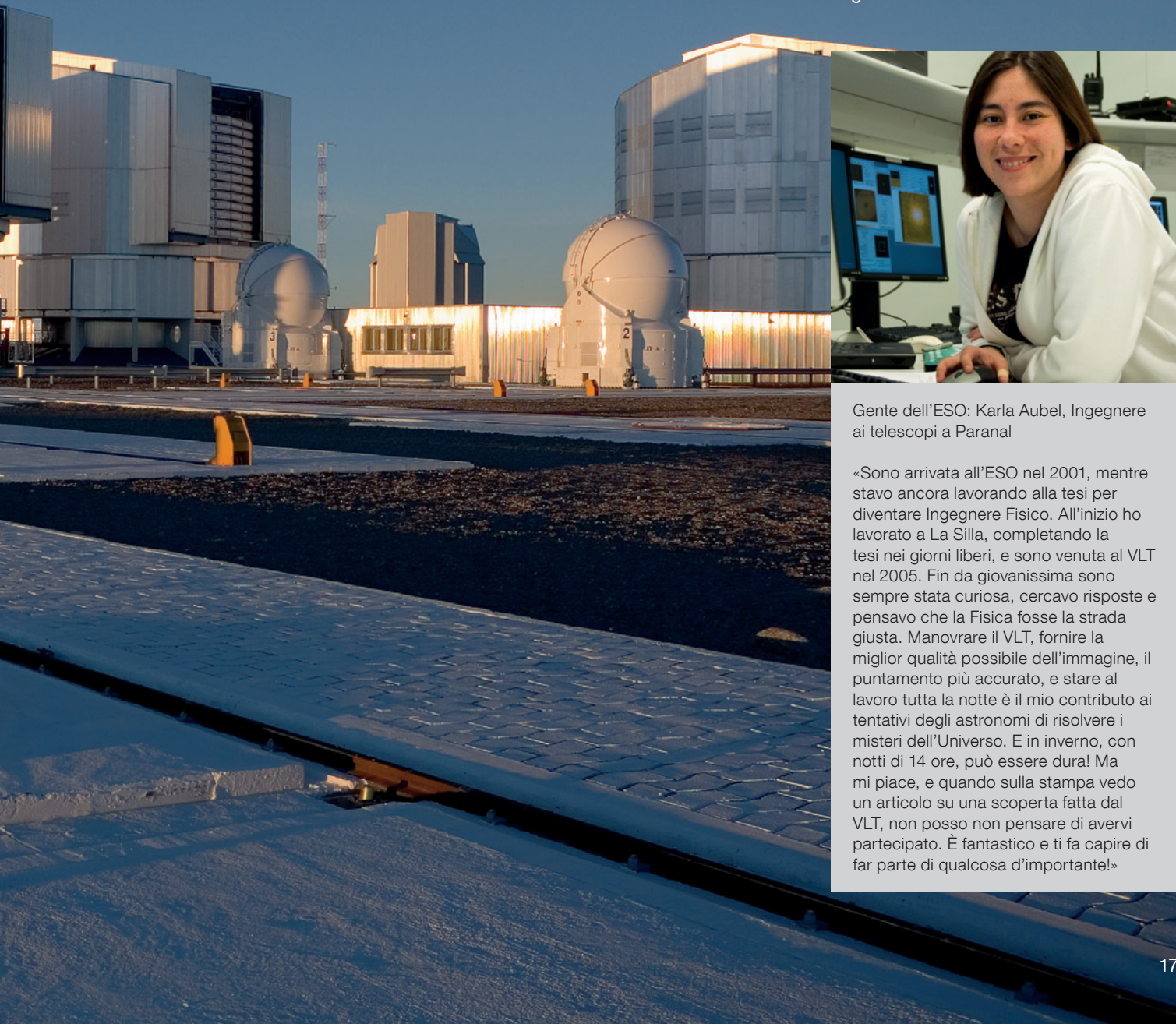
Gli UT con diametro di 8,2 metri sono anche usati individualmente. Con uno di tali telescopi si possono ottenere, con un'esposizione di un'ora, immagini di corpi celesti debolissimi, fino alla trentesima magnitudine apparente, corrispondente a una luce quattro miliardi di volte più debole di quella che possiamo vedere a occhio nudo.

Il programma per lo sviluppo di strumentazione per il VLT è il più ambizioso mai concepito in un singolo osservatorio. Include apparati per immagini a grande campo, camere e spettrografi corretti dall'ottica adattiva, così come spettrografi multi-oggetto ad alta risoluzione. È possibile osservare un'ampia regione spettrale, dalle lunghezze d'onda dell'ultravioletto lontano (300 nm) al medio infrarosso (20 μm).

Gli UT di 8,2 metri sono alloggiati in edifici compatti e controllati dal punto di vista termico, che ruotano in sincronia con i telescopi.

Questa soluzione contribuisce a rendere minimi alcuni effetti che deteriorano le condizioni di osservazione come, ad esempio, la turbolenza dell'aria a ridosso del telescopio, generata da variazioni anche minime di temperatura e dall'azione del vento.

Il primo degli UT, Antu, ha iniziato la sua attività il 1° aprile 1999. Oggi tutti e quattro gli UT e tutti e quattro i Telescopi Ausiliari sono operativi. Il VLT ha già avuto un indiscutibile impatto sull'astronomia osservativa. Questo sistema di telescopi operanti da terra è il più produttivo di dati scientifici e i risultati del VLT hanno prodotto una media di una pubblicazione scientifica al giorno.



Gente dell'ESO: Karla Aubel, Ingegnere ai telescopi a Paranal

«Sono arrivata all'ESO nel 2001, mentre stavo ancora lavorando alla tesi per diventare Ingegnere Fisico. All'inizio ho lavorato a La Silla, completando la tesi nei giorni liberi, e sono venuta al VLT nel 2005. Fin da giovanissima sono sempre stata curiosa, cercavo risposte e pensavo che la Fisica fosse la strada giusta. Manovrare il VLT, fornire la miglior qualità possibile dell'immagine, il puntamento più accurato, e stare al lavoro tutta la notte è il mio contributo ai tentativi degli astronomi di risolvere i misteri dell'Universo. E in inverno, con notti di 14 ore, può essere dura! Ma mi piace, e quando sulla stampa vedo un articolo su una scoperta fatta dal VLT, non posso non pensare di avervi partecipato. È fantastico e ti fa capire di far parte di qualcosa d'importante!»

Molti occhi ma un solo sguardo

I singoli telescopi dell'Osservatorio VLT possono essere combinati, in gruppi di due o tre, a formare un gigante interferometro VLT (VLTI), permettendo così agli astronomi di osservare dettagli fino a 25 volte più fini che con i telescopi usati individualmente, e studiare gli oggetti celesti con dettagli senza precedenti. È possibile vedere dettagli sulla superficie delle stelle e studiare anche l'ambiente vicino a un buco nero.

I fasci di luce sono combinati usando un sistema complesso di specchi in tunnel sotterranei, dove le differenze dei percorsi del segnale luminoso devono essere mantenute con una precisione di meno di 1/1000 di millimetro per oltre 100 metri.

Con questo grado di precisione il VLTI può ricostruire immagini con una risoluzione angolare del millesimo di secondo d'arco, tra cui una delle immagini più nitide di una stella, con una risoluzione spaziale di soli 4 millesimi di secondo d'arco, equivalente a distinguere da Terra la testa di una vite sulla Stazione Spaziale Internazionale, in orbita a 400 chilometri sopra di noi.

Strumenti per l'interferometro VLT

- VINCI: interferometro per la fase di messa a punto
- AMBER: lo strumento per studi fotometrici e spettroscopici nel vicino infrarosso
- MIDI: lo strumento per fotometria e spettroscopia nel medio infrarosso
- PRIMA: lo strumento per interferometria differenziale e astrometria al microarcosecondo. Di particolare interesse per lo studio delle sorgenti più deboli e la ricerca di esopianeti

Muovere i telescopi

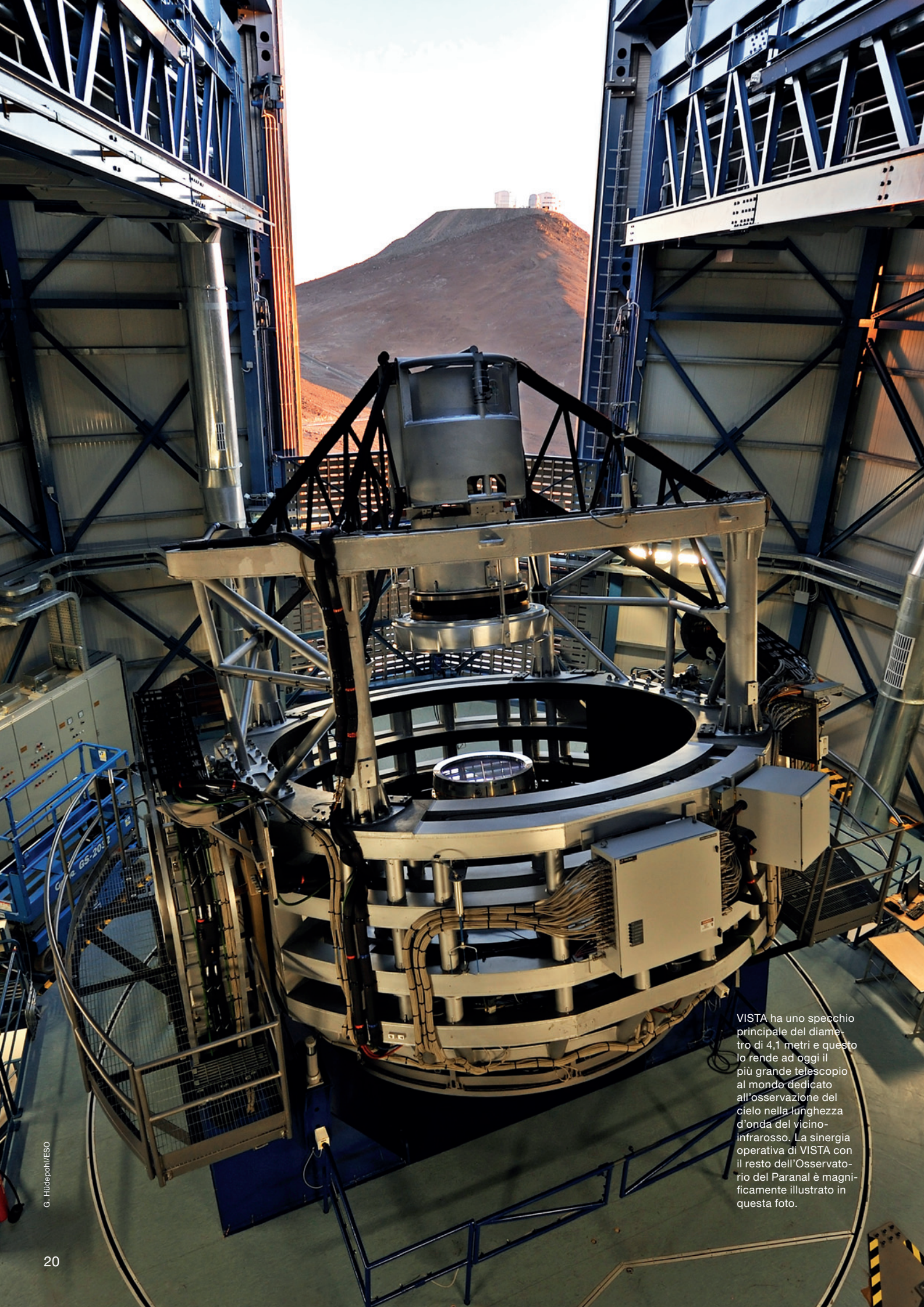
I quattro telescopi da 8,2 metri possono essere combinati nel VLTI, ma per la maggior parte del tempo essi sono usati per altri obiettivi e sono disponibili per osservazioni interferometriche solo per un limitato numero di notti all'anno.

Per sfruttare il potenziale del VLTI ogni notte sono disponibili quattro telescopi più piccoli, i «Telescopi Ausiliari» (AT). Gli AT sono montati su supporti mobili e possono essere mossi in posizioni di osservazione predefinite con grande

precisione. Da queste posizioni i fasci luminosi sono riflessi dagli specchi degli AT e combinati nel VLTI.

Gli AT sono telescopi molto particolari — sono autosufficienti. Infatti nelle loro cupole di protezione ultracompatte si trovano i sistemi elettronici e di ventilazione, i sistemi idraulici e quelli di raffreddamento. Inoltre hanno un loro sistema integrato di spostamento per sollevarsi e muoversi da una posizione all'altra.





VISTA ha uno specchio principale del diametro di 4,1 metri e questo lo rende ad oggi il più grande telescopio al mondo dedicato all'osservazione del cielo nella lunghezza d'onda del vicino-infrarosso. La sinergia operativa di VISTA con il resto dell'Osservatorio del Paranal è magnificamente illustrata in questa foto.

Telescopi per survey

Due nuovi e potenti telescopi — il *Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy* (VISTA) e il *VLT Survey Telescope* (VST) — si trovano all'Osservatorio dell'ESO del Paranal, nel Cile settentrionale. Sono senza dubbio i telescopi per *survey* d'immagini più potenti al mondo e aumenteranno enormemente il potenziale di scoperte scientifiche dell'Osservatorio del Paranal.

Molti degli oggetti astronomici più interessanti — dai piccoli, ma potenzialmente pericolosi, asteroidi vicino alla Terra, ai quasar più remoti — sono rari. Andarne alla ricerca è come cercare un ago in un pagliaio. I telescopi più grandi, come il *Very Large Telescope* (VLT) dell'ESO e l'*Hubble Space Telescope* della NASA/ESA, possono solo studiare una piccola parte del cielo alla volta, ma VISTA e VST sono progettati per fotografare grandi aree velocemente e in profondità

I due telescopi passeranno fino a cinque anni a fare un totale di nove osservazioni progettate attentamente e creeranno vasti archivi sia di immagini che di cataloghi di oggetti che saranno raccolti dagli astronomi nei prossimi decenni.

Oggetti interessanti, scoperti dai telescopi per *survey*, saranno i target di studi dettagliati sia del VLT che degli altri telescopi sulla Terra e nello spazio. Entrambi i telescopi per *survey* sono contenuti in cupole vicine al VLT e condividono le stesse eccezionali condizioni di osservazione, così come lo stesso modello operativo altamente efficiente.

VISTA ha uno specchio principale di 4,1 metri di diametro ed è di gran lunga il più grande telescopio al mondo dedicato all'osservazione del cielo a lunghezze d'onda vicino-infrarosse. VISTA è diventato operativo nel 2009.

Il VST è un telescopio modernissimo, di 2,4 metri, che ha in dotazione un'Omega-CAM, una gigantesca fotocamera con sensore CCD di 268 megapixel, con un campo visivo quattro volte più grande dell'area apparente della Luna. Funge da complemento a VISTA, e osserverà il cielo in luce visibile.

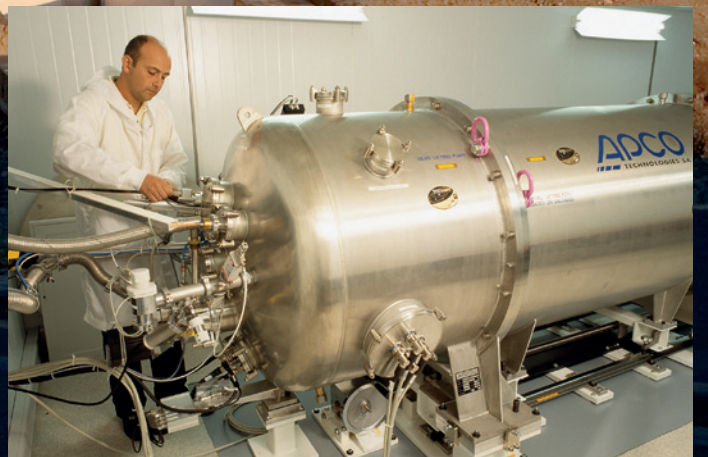
Il VST è il risultato di una joint venture fra l'ESO e l'Osservatorio Astronomico di Capodimonte (OAC) di Napoli, un centro di ricerca dell'Istituto Nazionale Italiano per l'Astrofisica (INAF). Il VST dovrebbe diventare operativo al Paranal nel 2011.



La Silla



Lo strumento HARPS.





L'osservatorio di La Silla, 600 chilometri a nord di Santiago del Cile e a un'altitudine di 2400 metri, è un caposaldo dell'ESO fin dagli anni '60. Qui l'ESO gestisce alcuni dei più efficienti telescopi della classe 4 metri al mondo.

Il *New Technology Telescope* da 3,5 metri (NTT) ha aperto nuove strade all'ingegneria e alla progettazione dei telescopi ed è stato il primo al mondo ad avere lo specchio principale controllato da un computer (ottica attiva), una tecnologia sviluppata all'ESO e ora applicata alla maggior parte degli attuali grandi telescopi nel mondo.

Sempre a La Silla, è operativo dal 1977 il telescopio da 3,6 metri dell'ESO che, grazie a importanti aggiornamenti tecnici rimane in prima fila tra i telescopi della classe 4 metri nell'emisfero meridionale.

Su questo telescopio è montato il più famoso cacciatore di pianeti extrasolari, HARPS (*High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*), uno spettrografo di precisione insuperata.

L'infrastruttura di La Silla è utilizzata da molti stati membri dell'ESO anche per progetti mirati come il telescopio svizzero di 1,2 metri Eulero,

il *Rapid-Eye Mount* (REM) e il cacciatore di *gamma ray burst* TAROT, così come le strutture più standard come i telescopi da 2,2 metri del Max Planck e il telescopio danese di 1,5 metri. I 67-milioni di pixel della *Wide Field Imager* sul telescopio da 2,2 metri ha preso molte splendide immagini di oggetti celesti, alcune delle quali sono ormai diventate vere e proprie icone.



A caccia di nuove tecnologie



Gente dell'ESO: Françoise Delplancke, Fisico addetto alla Strumentazione del VLT

«La mia prima impressione di Cerro Paranal, in mezzo al deserto di Atacama in Cile, dopo più di venti ore di viaggio da Monaco, è stata di essere atterrata su Marte. L'osservatorio costruito dall'ESO in quest'ambiente ostile è un'oasi confortevole fornita delle più avanzate tecnologie astronomiche e gestita da persone molto professionali e amichevoli. Qui il cielo è così limpido che perfino a occhio nudo si possono distinguere il blu e il rosso di alcune stelle della Via Lattea, un sogno per un astronomo dilettante che vive nelle città affette dall'inquinamento luminoso. Per lo stesso motivo dopo essere stata un'ora all'aperto di notte, puoi vedere il paesaggio circostante grazie alla sola luce delle stelle, anche senza la Luna! Una volta ho avuto la rara opportunità di guardare con i miei occhi la Luna attraverso uno dei telescopi del VLT di Paranal: ho avuto la sensazione di volare sopra la sua superficie con un'astronave.»

Fin dall'inizio il VLT è stato concepito come una formidabile macchina scientifica, basata sugli ultimi ritrovati tecnologici.

L'ottica adattativa (OA) è una tecnica che permette agli strumenti montati sui telescopi di rendere minimo il deterioramento delle immagini degli oggetti celesti causato dall'agitazione dell'atmosfera e di ottenerne invece di molto nitide, come se fossero ottenute nello spazio. Ciò permette di osservare oggetti più deboli e con dettagli più precisi. Con l'OA, in linea di principio, il telescopio può raggiungere il suo limite di diffrazione, cioè la massima risoluzione teoricamente possibile. Uno strumento del VLT potrebbe, grazie all'OA, leggere un titolo di giornale da più di 10 chilometri di distanza.

Per funzionare l'OA necessita di una stella guida di riferimento relativamente brillante vicina all'oggetto che si vuole osservare e ciò limita la parte di cielo che può essere osservata. Per superare questa limitazione uno dei telescopi VLT monta da poco un potente laser che può creare una stella guida artificiale in cielo quando e dove serve agli astronomi.

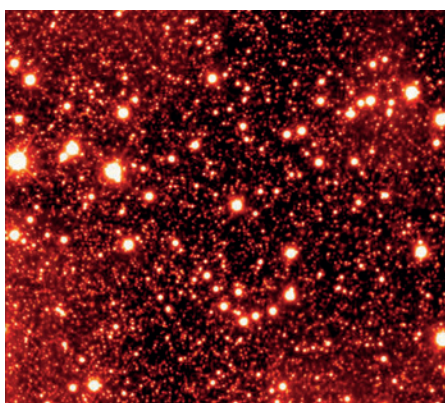
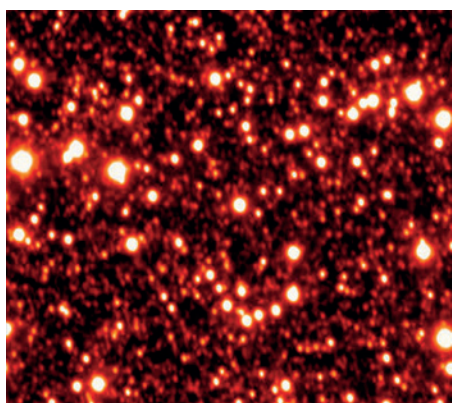
Per rendere il VLT più efficiente per l'interferometria, ogni UT è stato equipaggiato con uno strumento di OA appositamente progettato, MACAO, che focalizza la luce di oggetti lontani in immagini estremamente nitide. Con i sette sistemi di tipo OA installati finora, una stella guida al laser e l'opzione di combinare due o tre telescopi per l'interferometria, il VLT è l'osservatorio più avanzato al mondo.

Insieme a vari istituti europei, l'ESO sta ora sviluppando la nuova generazione di strumenti di ottica adattativa per il VLT, come lo strumento SPHERE. SPHERE ha una struttura di ottica adattativa estrema che sarà dedicata alle immagini dirette e alla caratterizzazione di pianeti gassosi giganti, con masse fino a quella di Giove, al di fuori del nostro Sistema Solare. Questo è un importante passo avanti verso la scoperta e la caratterizzazione di pianeti simili alla Terra, potenzialmente in grado di ospitare la vita, studio che diverrà possibile con il futuro *European Extremely Large Telescope*.

La strumentazione per la stella guida al laser del VLT

Attualmente si sta sperimentando la stella artificiale di guida da utilizzare con gli strumenti di Ottica Adattiva NACO e SINFONI al VLT. Con questo sistema un potente raggio laser è proiettato sullo strato di sodio dell'atmosfera terrestre, a circa 90 chilometri di altezza, creando una stella artificiale usata dai sistemi di ottica adattiva per misurare e compensare gli effetti della turbolenza atmosferica in qualunque parte del cielo.

La stella guida al laser è una collaborazione tra l'ESO, il *Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik* di Garching (MPE) e il *Max-Planck-Institut für Astronomie* di Heidelberg (MPIA).



Confronto tra un'immagine ottenuta da terra con l'ottica adattiva (sinistra) e una ottenuta dallo spazio (al centro).

Immagini dal VLT

Il VLT è una straordinaria «macchina scientifica» in prima linea nella ricerca astronomica. Produce però anche immagini belle e stupefacenti di corpi celesti, come si vede in queste pagine.

1 La maestosa galassia a spirale NGC 7424

La bella galassia a spirale a più braccia NGC 7424 — simile per grandezza alla nostra Via Lattea — è a circa 40 milioni di anni luce di distanza nella costellazione della Gru e si vede quasi di fronte. La galassia si estende per circa 100 000 anni luce.

2 La Nebulosa «Testa di Cavallo»

Questa immagine mostra la Nebulosa Testa di Cavallo, situata a circa 1400 anni luce nel complesso di nubi molecolari di Orione. È una protrusione di polvere nella regione meridionale della densa nube di polvere Lynds 1630, sull'orlo della regione HII-Region IC 434.

3 L'«asilo» Stellare NGC 3603

NGC 3603 è una regione di formazione stellare nella nostra Via Lattea: una fabbrica cosmica, dove le stelle si formano freneticamente da un'estesa nebulosa fatta di gas e polvere.

4 I Pilastrini della Creazione

Questa immagine a mosaico della Nebulosa dell'Aquila (Messier 16) è composta di 144 immagini distinte. Al centro si può vedere la zona di formazione di stelle denominata «I Pilastrini della Creazione».

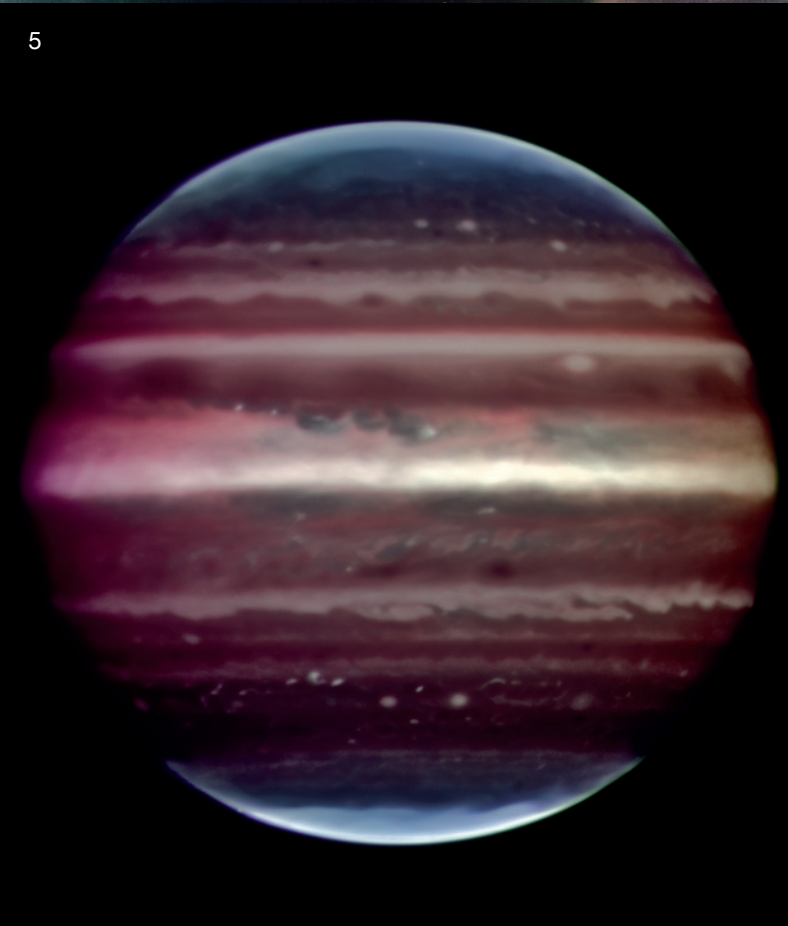
5 Il pianeta Giove

Questa è l'immagine dell'intero pianeta di Giove più nitida mai ottenuta da terra finora. È stata ottenuta con lo strumento prototipo *Multi-Conjugate Adaptive Optics Demonstrator* (MAD) montato sul *Very Large Telescope* (VLT) dell'ESO. Questa straordinaria immagine rileva cambiamenti nella foschia di Giove, probabilmente in risposta agli ampi sconvolgimenti del pianeta iniziati poco più di un anno fa.

6 La galassia irregolare NGC 1427A

NGC 1427A è un esempio di galassia nana irregolare. In questo caso particolare la forma della galassia è stata forgiata dal suo rapido moto verso l'alto attraverso l'agglomerato di galassie di cui fa parte: la galassia NGC 1427A si muove rispetto all'agglomerato a due milioni di chilometri all'ora e per questa ragione è lacerata ed è destinata a sfaldarsi completamente.





L'esplorazione dell'Universo «freddo» — ALMA

Sull'altopiano del Chajnantor, nelle Ande Cile, l'Osservatorio Europeo del Sud, insieme con le sue *partner* internazionali, sta costruendo la serie di antenne ALMA (*Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array*), un telescopio all'avanguardia per studiare la luce di alcuni degli oggetti più freddi dell'Universo. Questa luce ha una tipica lunghezza d'onda di circa un millimetro, compresa quindi tra la luce infrarossa e le onde radio, ed è conosciuta come radiazione millimetrica e submillimetrica.

La luce a queste lunghezze d'onda arriva da vaste nubi fredde nello spazio interstellare, a temperature di solo alcune decine di gradi sopra lo zero assoluto, e da alcune delle più antiche e distanti galassie dell'Universo. Attraverso di essa gli astronomi possono studiare le condizioni chimiche e fisiche nelle nubi molecolari — le dense regioni di gas e polvere, dove nascono nuove stelle. Spesso queste regioni dell'Universo non emettono altra radiazione e risultano quindi «buie» se guardate alla luce visibile, ma appaiono brillanti nella parte dello spettro millimetrico e submillimetrico.

La radiazione millimetrica e submillimetrica apre una finestra sull'enigmatico Universo freddo, ma è fortemente assorbita dal vapore acqueo presente nell'atmosfera terrestre. I telescopi per questo tipo di astronomia devono essere costruiti in siti molto elevati e secchi.

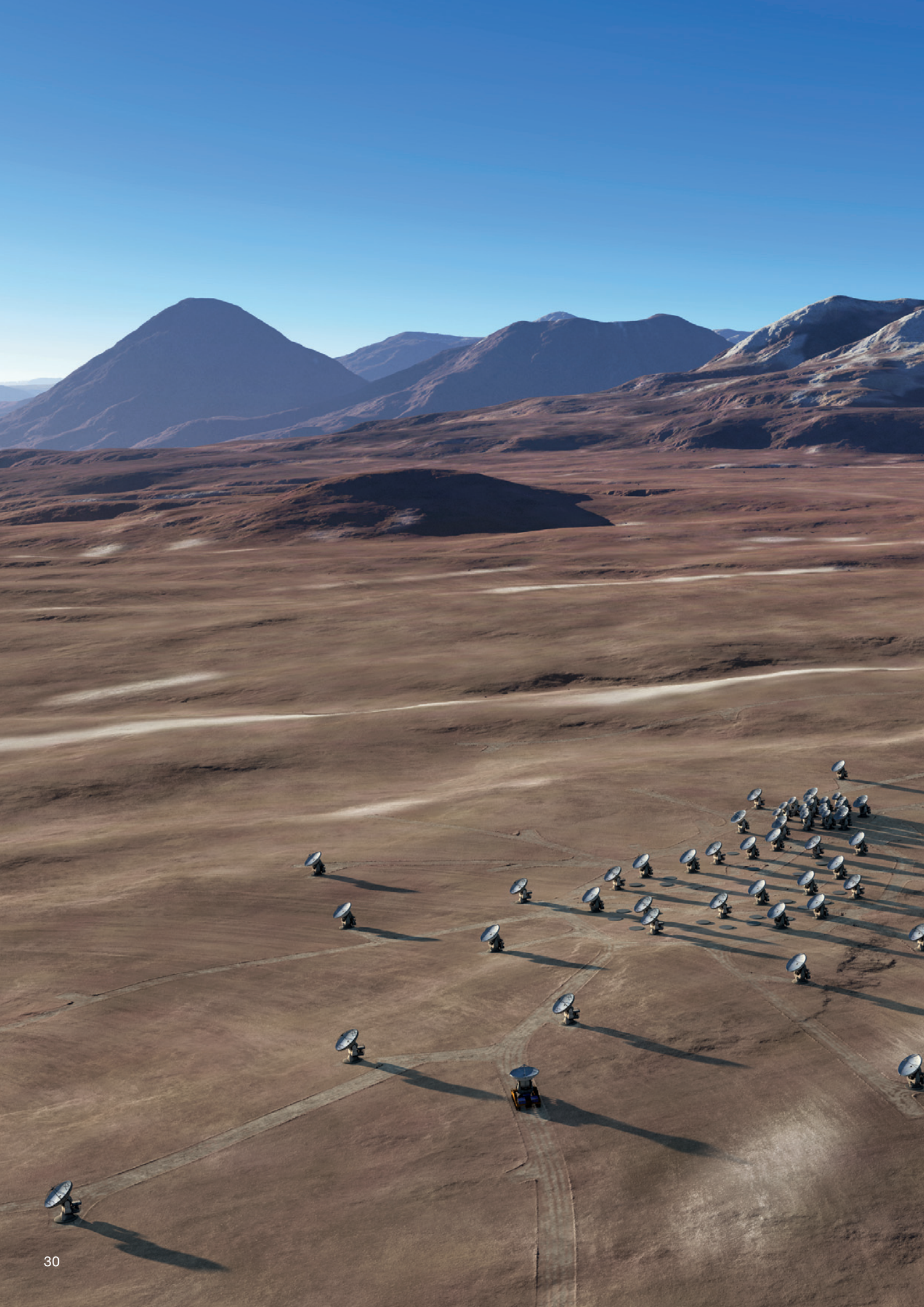
È per questo che ALMA, il più grande progetto astronomico esistente, è costruito, a 5000 metri di altezza sull'altipiano di Chajnantor, uno dei siti più alti per le osservazioni astronomiche sulla Terra. Il sito di ALMA, a circa 50 chilometri a est di San Pedro di Atacama nel Cile settentrionale, si trova in uno dei luoghi più aridi della Terra. Gli astronomi vi trovano condizioni ineguagliabili per l'osservazione ma devono gestire un osservatorio di frontiera in condizioni estreme. Chajnantor è 750 metri più alto degli osservatori di Mauna Kea e 2400 metri più in alto del VLT sul Cerro Paranal.



Gente dell'ESO: Stefano Stanghellini, Responsabile del Sottosistema Antenna di ALMA

«Vengo dalla Toscana, da una famiglia per la quale andare all'estero per realizzare i sogni legati alle aspettative professionali è sempre stata una tradizione. Prima dell'ESO ho lavorato per la *Westinghouse Nuclear International* di Bruxelles in centrali per l'energia nucleare e poi sono passato in Germania per lavorare alla progettazione dei motori a reazione. Leggendo del VLT, pubblicizzato come una sfida per l'Europa e per i suoi ingegneri, ho sentito che il mio posto era all'ESO. Se mi volto indietro, mi ritengo fortunato di aver lavorato per l'ESO negli anni incredibilmente esaltanti e di successo del VLT. C'era un fantastico spirito di squadra, poiché tutti all'ESO avevamo lo stesso obiettivo. Quanto siamo stati orgogliosi quando nel 1998 il VLT ha visto la prima luce con eccellenti risultati: ce l'avevamo fatta!

Adesso stiamo cercando di avere lo stesso successo, su scala ancora più larga e globale con il progetto ALMA.»

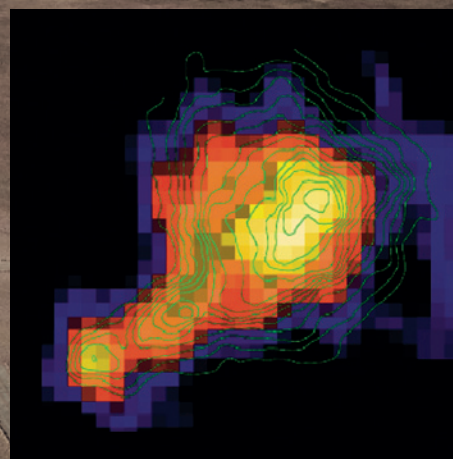
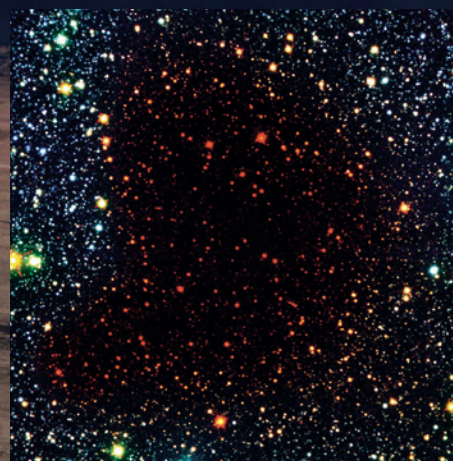


ALMA sarà un unico telescopio di concezione rivoluzionaria composto inizialmente da 66 antenne di alta precisione e operante a lunghezze d'onda da 0,3 a 9,6 millimetri.

La parte principale sarà costituita da cinquanta antenne con diametro di 12 metri, che agiranno insieme come un singolo telescopio — un interferometro. Una serie addizionale compatta composta di quattro antenne di 12 metri e dodici di 7 metri, sarà usata per osservazioni complementari. Le antenne potranno essere mosse nell'altopiano desertico per distanze dai 150 metri ai 16 chilometri, il che realizzerà per ALMA un potente zoom di lunghezza variabile. Potrà sondare l'Universo a lunghezze d'onda millimetriche e submillimetriche con sensibilità e risoluzione senza precedenti, con una visione fino a dieci volte più precisa del Telescopio Spaziale Hubble, e integrare le immagini ottenute dal VLT interferometrico.

ALMA è il più potente telescopio per l'osservazione dell'Universo freddo — gas molecolare e polveri, come anche le radiazioni residue del *Big Bang*. ALMA studierà i mattoni che costituiscono le stelle, i sistemi planetari, le galassie e la vita stessa. Fornirà agli scienziati immagini dettagliate di stelle e pianeti formati in nubi gassose vicine al Sistema Solare e rivelerà galassie al limite dell'Universo osservabile, che ci appaiono come erano circa dieci miliardi di anni fa. ALMA permetterà agli astronomi di affrontare alcuni dei più profondi quesiti relativi alle nostre origini cosmiche.

La costruzione di ALMA sarà completata intorno al 2012 ma osservazioni scientifiche con una parte della serie di antenne inizieranno già nel 2011.



Una nube oscura osservata nel visibile (in alto), infrarosso (al centro) e submillimetrico (in basso).

Un'impresa globale

Il progetto ALMA è una collaborazione tra Europa, Nord America ed Estremo Oriente in cooperazione con la Repubblica del Cile. In Europa ALMA è finanziata dall'ESO, in Nord America dalla *U.S. National Science Foundation* in cooperazione con il *National Research Council of Canada*, in Estremo Oriente dagli Istituti Nazionali di Scienze Naturali in cooperazione con l'Accademia Sinica e il Consiglio Nazionale di Scienze di Taiwan. La costruzione e la gestione di ALMA sono condotte dall'ESO per conto dell'Europa, per conto dell'Estremo Oriente dall'Osservatorio Astronomico Nazionale del Giappone e per conto del Nord America dall'Osservatorio Nazionale di Radio Astronomia gestito dalle *Associated Universities, Inc.* Il *Joint ALMA Observatory* fornisce una *leadership* e gestione unificata della costruzione, sviluppo, collaudo e operatività di ALMA stessa.

«Il progetto ALMA è una sfida tecnica davvero difficile poiché l'accuratezza delle superfici dell'antenna dev'essere contenuta entro i 25 micron, l'accuratezza di puntamento entro 0,6 arcosecondi e le antenne devono essere movibili fino a una distanza di oltre 10 chilometri e resistere senza danni a un eventuale puntamento del Sole. Vogliamo ringraziare l'ESO per aver avuto fiducia in noi in questa nuova sfida.»

Pascale Sourisse, Presidente e Amministratore Delegato di Alcatel Alenia Space

APEX

Mentre ALMA è in costruzione, gli astronomi stanno già facendo osservazioni millimetriche e submillimetriche a Chajnantor, con l'*Atacama Pathfinder Experiment* (APEX). Si tratta di un telescopio di 12 metri di nuova tecnologia, basato su un'antenna prototipo di ALMA, e gestita nel sito stesso di ALMA. Ha una grande accuratezza della superficie del riflettore, ed è concepita per lavorare con lunghezze d'onda da 0,2 a 1,5 millimetri.

Gli astronomi stanno utilizzando APEX per studiare le condizioni all'interno delle nubi molecolari, come quelle attorno alla Nebulosa di Orione, o i «Pilastri della Creazione» nella Nebulosa dell'Aquila. Hanno trovato monossido di carbonio e molecole organiche complesse, così come molecole cariche contenenti fluorina mai individuate prima. Queste scoperte ampliano la nostra conoscenza delle culle di gas, dove nascono le nuove stelle.

APEX è una collaborazione tra il *Max-Planck-Institut für Radioastronomie* (in collaborazione con l'*Astronomisches Institut Ruhr-Universität Bochum*), l'Osservatorio Spaziale di Onsala e l'ESO.

Il telescopio è gestito da ESO. Segue le orme del SEST (Telescopio Submillimetrico Svezia-ESO) che è stato attivo a La Silla dal 1987 al 2003 grazie alla collaborazione tra l'ESO e l'Osservatorio Spaziale di Onsala. Il SEST operava su lunghezze d'onda da 0,8 a 3 millimetri.



Osservazioni di
APEX della nebulosa
RCW 120.



Alta efficienza — il sistema di flusso dei dati



Gente dell'ESO: Petra Nass, Dipartimento per il Supporto all'Utenza

«Come scienziata addetta al Supporto Operativo, con sede di lavoro a Garching, sono il legame tra gli astronomi che chiedono periodi di osservazione in modalità di servizio e il team di astronomi dell'ESO che fanno materialmente le osservazioni in Cile, cosicché questi ultimi possano fornire i migliori dati possibili, ottenuti in condizioni ottimali. Penso proprio che stiamo fornendo un servizio utile. Durante i turni di osservazione che ho fatto per raccogliere dati per il mio dottorato sedevo sola nella sala comandi di un telescopio su una montagna, con diversi monitor davanti da scrutare e interpretare al volo, sempre con lo stress di sperare nelle migliori condizioni possibili di osservazione. Con la modalità di servizio non è più così. Adesso uso la mia esperienza per migliorare continuamente l'attuazione delle osservazioni in modalità di servizio e rendo così possibili studi scientifici che non sarebbero stati effettuabili con l'organizzazione tradizionale, ovvero con l'astronomo che ha ottenuto il tempo di osservazione fisicamente presente al telescopio. Questo è un metodo in continua evoluzione: ALMA opererà, infatti, in modalità di servizio e stiamo pensando a come adattarlo al futuro E-ELT.»

L'efficienza operativa dell'ESO è superiore a quella di qualunque altro telescopio da terra. Ciò è possibile grazie a una combinazione unica di concetti operativi innovativi, a un elaborato schema di mantenimento e a un complesso e ben pianificato sistema di raccolta, accesso e valutazione dei dati scientifici e ingegneristici.

Con gli osservatori astronomici terrestri tradizionali gli astronomi fanno richiesta per un periodo di osservazione, si recano ai telescopi, fanno le loro osservazioni e portano i dati ai loro Istituti per completare l'analisi scientifica finale. I dati, una volta analizzati, spesso non sono poi disponibili per essere riutilizzati da altri. Il periodo di osservazione è fissato con molto anticipo e, anche nei siti migliori, la variabilità delle condizioni meteorologiche può ovviamente avere effetti negativi sulla qualità dei dati scientifici raccolti. Con la sempre maggior complessità dei moderni osservatori e la loro costruzione in luoghi sempre più remoti questo metodo operativo diventa sempre meno efficace.

Il sistema di flusso di dati dell'ESO (DFS) è concepito per risolvere questi problemi. Esso permette sia l'osservazione «in situ» tradizionale sia quella in modalità di servizio in cui i dati sono raccolti dallo staff dell'osservatorio su richiesta della comunità di utenti dell'ESO. Tutti i dati sono salvati nell'archivio scientifico dell'ESO. Dopo un periodo di proprietà di un anno in cui i soli proponenti originari hanno accesso esclusivo ai dati, altri ricercatori possono accedervi e utilizzarli.

L'ESO è stato il primo osservatorio terrestre ad adottare questi nuovi concetti relativi all'osservazione come parte di un ciclo operativo completo. È stato anche il primo osservatorio a terra a costruire e mantenere un archivio scientifico di dimensioni così imponenti, contenente non solo le osservazioni ma anche tutte le informazioni ausiliarie che le descrivono. In entrambe queste aree l'ESO resta il leader mondiale.

I benefici sono evidenti. Le osservazioni possono essere pianificate ed effettuate dall'utente senza che debba recarsi fino all'osservatorio. Ciò riduce il rischio di errori e fornisce un'efficienza molto maggiore. I progetti sono realizzati nelle



«L'ESO ha rivoluzionato le operazioni delle osservazioni astronomiche da terra con un nuovo sistema end-to-end di flusso dati, ideato per migliorare la trasmissione e la gestione di osservazioni e dati astronomici su distanze transcontinentali.»

Citazione del premio Computer-World Honors 21st Century Achievement Award

condizioni meteorologiche più adatte, utilizzando al meglio ogni notte. I programmi scientifici più esigenti come condizioni possono beneficiare dell'utilizzo delle condizioni atmosferiche migliori e, quindi relativamente rare, riducendo nel contempo i costi. Gli utenti ricevono direttamente i dati elaborati, corrispondenti a criteri ben definiti di qualità e pronti per l'analisi scientifica. Infine gli utenti ricevono il supporto di un team di astronomi dell'ESO esperti in ogni aspetto delle operazioni del DFS.

La strategia del DFS ha prodotto un significativo aumento della produttività scientifica della comunità di utenti dell'ESO. Se si considera il numero di pubblicazioni in riviste sottoposte a revisione, l'ESO è oggi l'osservatorio astronomico principale al mondo.

L'ESO è stato riconosciuto per l'eccellenza in questo campo con l'attribuzione del *ComputerWorld Honors 21st Century Achievement Award*, premio ben noto alla comunità informatica internazionale.

Archivio scientifico

Tutti i dati provenienti dai telescopi dell'ESO e dal *Hubble Space Telescope* sono conservati nell'archivio scientifico, che attualmente contiene circa 65 000 gigabytes (GB) — l'equivalente di circa 15 000 DVD.

Più di 12 terabytes (TB) di dati sono distribuiti ogni anno, a seguito di circa 10 000 richieste via WEB. Poiché questo numero salirà drasticamente con l'arrivo di VST e VISTA, che produrranno in piena operatività circa 150 TB di dati l'anno, l'ESO ha allestito un archivio della classe dei petabyte (1 000 TB o 1 milione di GB!).

I server del database ESO sono coordinati tra Germania e Cile, la loro tecnologia e complessità rivaleggiano quelle delle maggiori imprese private, come quelle della struttura bancaria internazionale.

L'universo digitale

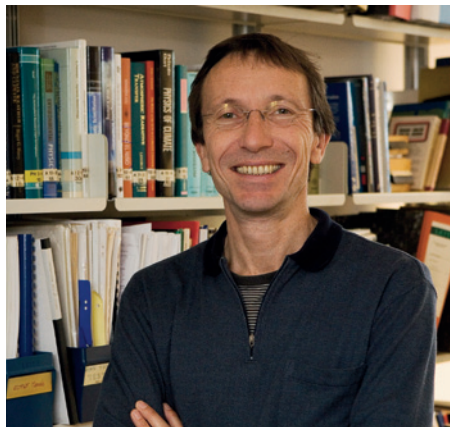
È l'esistenza di questi archivi che ha permesso lo sviluppo di un osservatorio astrofisico virtuale. L'osservatorio virtuale (VO) è un concetto nato dalla necessità dell'astronomia moderna di sfruttare la ricchezza di risorse messe a disposizione da strumenti presenti e futuri operanti a molteplici lunghezze d'onda, nella ricerca delle risposte a domande primarie come l'origine dell'Universo, l'evoluzione delle galassie e la formazione di stelle e pianeti. Questa esigenza genera il problema di incrementare l'accesso a una grande quantità di dati in combinazione con gli enormi volumi degli stessi accumulati negli anni, e il loro successivo sfruttamento.

In questo contesto l'osservatorio virtuale è uno spazio organizzato per offrire agli astronomi un accesso ai dati centralizzato e uniforme. Questa iniziativa globale si sviluppa sotto gli auspici della *International Virtual Observatory Alliance* (IVOA).

L'osservatorio virtuale sta dimostrando la sua efficienza con un crescente numero di scoperte scientifiche ottenute grazie ad esso, scoperte che coprono tutti gli aspetti dell'astronomia moderna, dalla fisica solare e stellare, all'astronomia extragalattica e cosmologia.

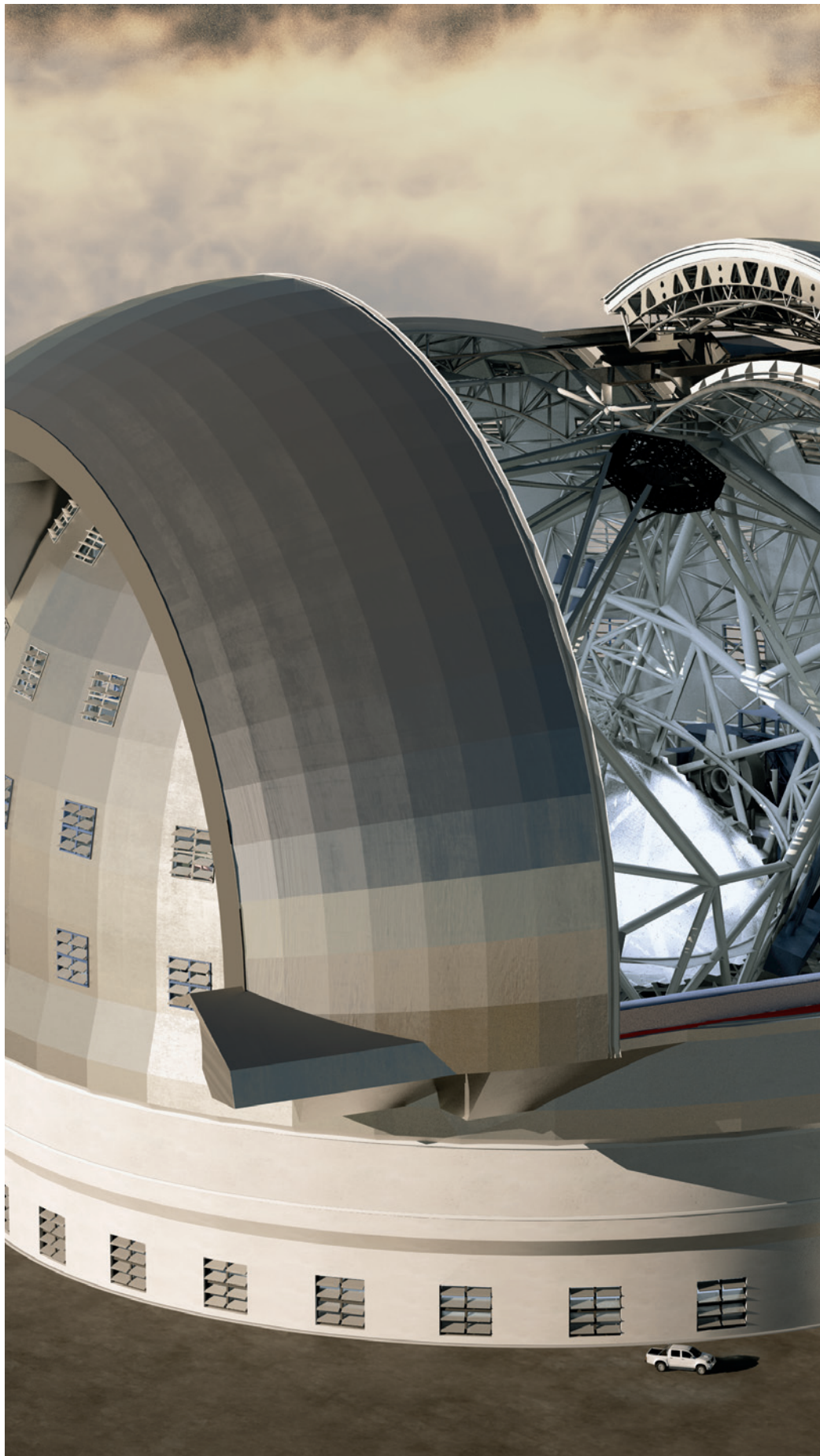


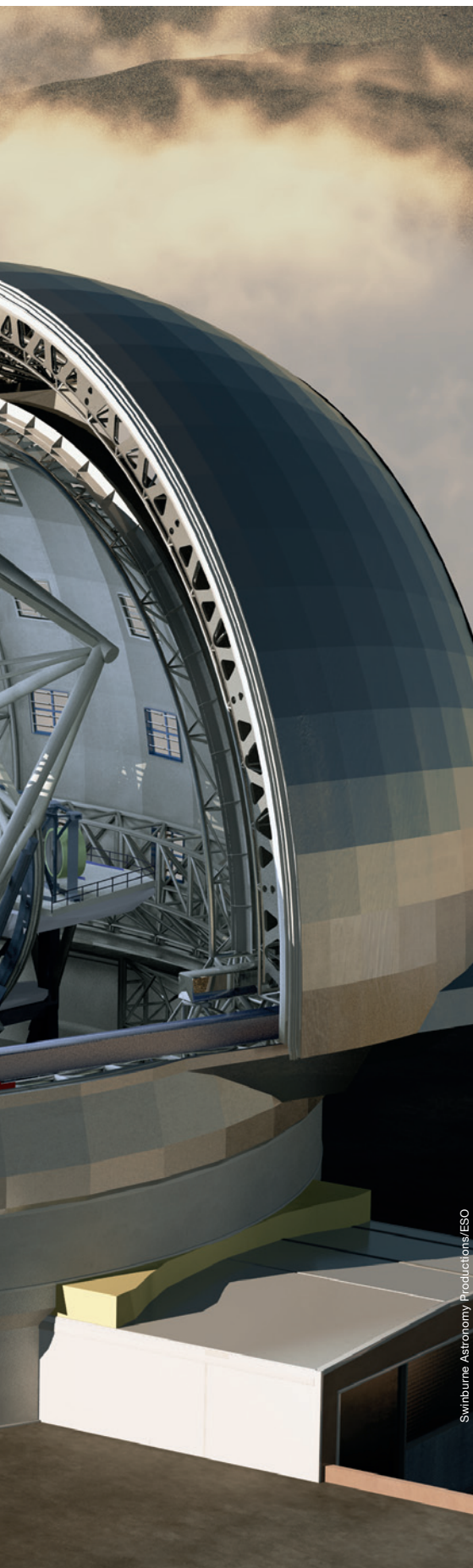
Progetti futuri — L'E-ELT



Gente dell'ESO: Marc Sarazin,
Revisore del sito E-ELT

«Venni all'ESO, come fisico-ingegnere, più di 20 anni fa, per collaborare alla ricerca del miglior sito per il VLT. Nell'astronomia stava accadendo qualcosa di rivoluzionario. In passato, non sempre si potevano sfruttare a fondo le qualità di un sito ma, grazie ai nuovi concetti di telescopio, la situazione stava cambiando. Grazie ad uno studio avanzato delle caratteristiche dell'atmosfera, noi potemmo scegliere il sito che consentisse di estrarre la miglior scienza possibile dal telescopio. Impieghammo circa dieci anni a verificare le caratteristiche appropriate e scegliere il sito ideale per il VLT, al Paranal. Fino a poco tempo fa siamo stati impegnati a cercare il miglior sito per l'E-ELT. Abbiamo studiato quattro differenti siti. Abbiamo condiviso anche informazioni con i nostri colleghi americani che stanno studiando altri siti per il loro progetto. Poiché le tecnologie di «remote sensing» hanno fatto grandi progressi, il lavoro sul campo si è ridotto ed è integrato dall'analisi remota d'immense quantità di dati disponibili. Alla fine siamo certi di avere identificato il sito più adatto per questo strumento straordinario.»





La presente generazione di telescopi di classe 8–10 metri, incluso il VLT dell'ESO, consente agli astronomi di studiare l'Universo con mezzi senza precedenti, e genera nuove sfide per la ricerca. Per affrontare queste nuove questioni scientifiche, stanno emergendo progetti per una nuova generazione di Telescopi Estremamente Grandi (ELT), con diametri di 30 o più metri. Tali telescopi rivoluzioneranno la nostra percezione dell'Universo tanto quanto fece il telescopio di Galileo.

Questi futuri giganti potranno entrare in operatività nel periodo 2016–2020. Essi affronteranno problemi quali l'osservazione della *Dark Age* del nostro Universo — le prime centinaia di milioni di anni — e l'individuazione di pianeti abitabili simili alla terra, attorno ad altre stelle.

L'ESO ha sviluppato notevole esperienza nello sviluppo e nella gestione di grandi telescopi astronomici in siti isolati. Inoltre l'ESO è stato impegnato, per molti anni, nello studio concettuale di un grande telescopio adattivo ottico e infrarosso.

Questa esperienza è un punto di forza per lo sforzo di sviluppare un grande telescopio di nuova generazione per l'astronomia europea, noto come E-ELT. Completato nel 2006 il progetto concettuale, è ora iniziata la fase di sviluppo del progetto esecutivo, con l'obiettivo di avere l'E-ELT in operatività attorno al 2018. In parallelo, tecnologie cruciali per il progetto sono sviluppate da un grande consorzio d'istituti europei e industrie di tecnologia avanzata, con l'ESO e la Commissione Europea come principali finanziatori.

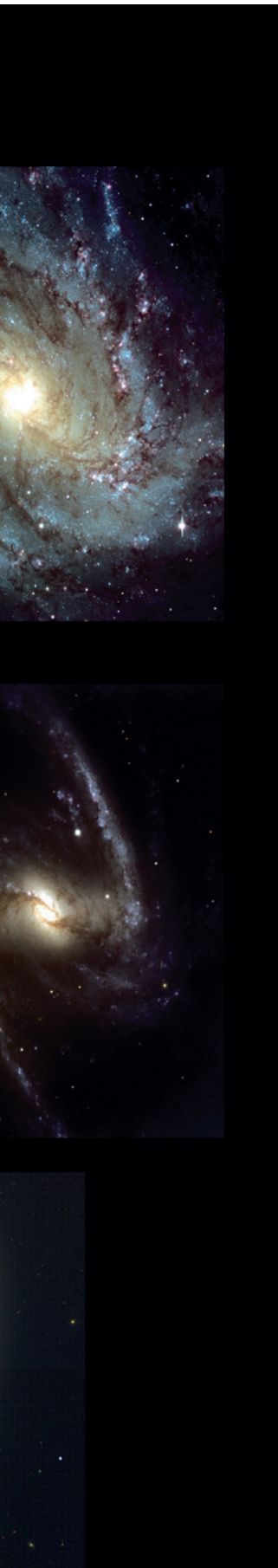
Con un diametro di 42 metri e l'ottica adattativa, l'E-ELT diventerà il più grande occhio del mondo rivolto al cielo, il più grande telescopio nell'ottico e nel vicino infrarosso mai concepito. L'«occhio» del telescopio avrà un diametro quasi la metà della lunghezza di un campo da calcio e accumulerà 15 volte più luce che i più grandi telescopi ottici oggi operativi.

Il telescopio avrà un innovativo design a cinque specchi con ottiche adattive avanzate per correggere le turbolenze dell'atmosfera e fornire immagini 15 volte più precise di quelle di Hubble.

«I Telescopi Estremamente Grandi sono visti in tutto il mondo come una delle più alte priorità nell'astronomia da terra. Essi faranno avanzare la conoscenza astrofisica. Scegliendo tra molti casi, permetteranno studi dettagliati di pianeti attorno ad altre stelle, dei primi oggetti nell'Universo, di buchi neri supermassivi, sulla natura e distribuzione della materia ed energia oscure che dominano l'Universo. Il progetto dell'E-ELT manterrà e rinforzerà la posizione dell'Europa alla frontiera della ricerca astrofisica.»

The European Roadmap for Research Infrastructures, ESFRI Report 2005





Galassie lontane appariranno come se fossero nel nostro giardino dietro casa, offrendo una chiara visione della storia della formazione stellare durante quasi tutta la vita dell'Universo.

Nel Dicembre 2004 il *Council* dell'ESO definì quale massima priorità strategica dell'ESO «il mantenimento del primato di eccellenza dell'astronomia Europea nell'era degli ELT», richiedendo che «la costruzione di un ELT su una scala temporale competitiva fosse pianificata con una strategia radicale.

Dopo una dettagliata analisi di un primo studio concettuale — il progetto OWL — fatta da un comitato internazionale nell'Ottobre 2005, l'ufficio progetti dell'ESO ha sviluppato nel 2006 un nuovo studio, forte dell'aiuto di più di 100 astronomi, valutando prestazioni, rischi, tempi e costi. Nel Novembre 2006 i risultati sono stati discussi in un convegno a Marsiglia da più di 250 astronomi europei. La reazione entusiasta durante il convegno ha aperto la strada alla decisione del *Council* di iniziare la nuova fase cruciale di progetto dettagliato. Lo studio dovrebbe concludersi in tre anni, dopo i quali la costruzione potrebbe iniziare. La stima presente dei costi è di circa 950 Milioni di Euro, inclusa la prima generazione di strumenti.

La sfida posta dal progettare, costruire e far funzionare un telescopio di 30–60 metri è notevole. La semplice estrapolazione delle soluzioni tecniche adottate per telescopi da 10 metri a telescopi di 30 metri o più, per ottenere alta qualità dell'immagine su un campo di vista adeguato, pone molti problemi. L'ESO sta lavorando con più di trenta istituti scientifici e industrie di punta europee per sviluppare tecnologie necessarie a rendere

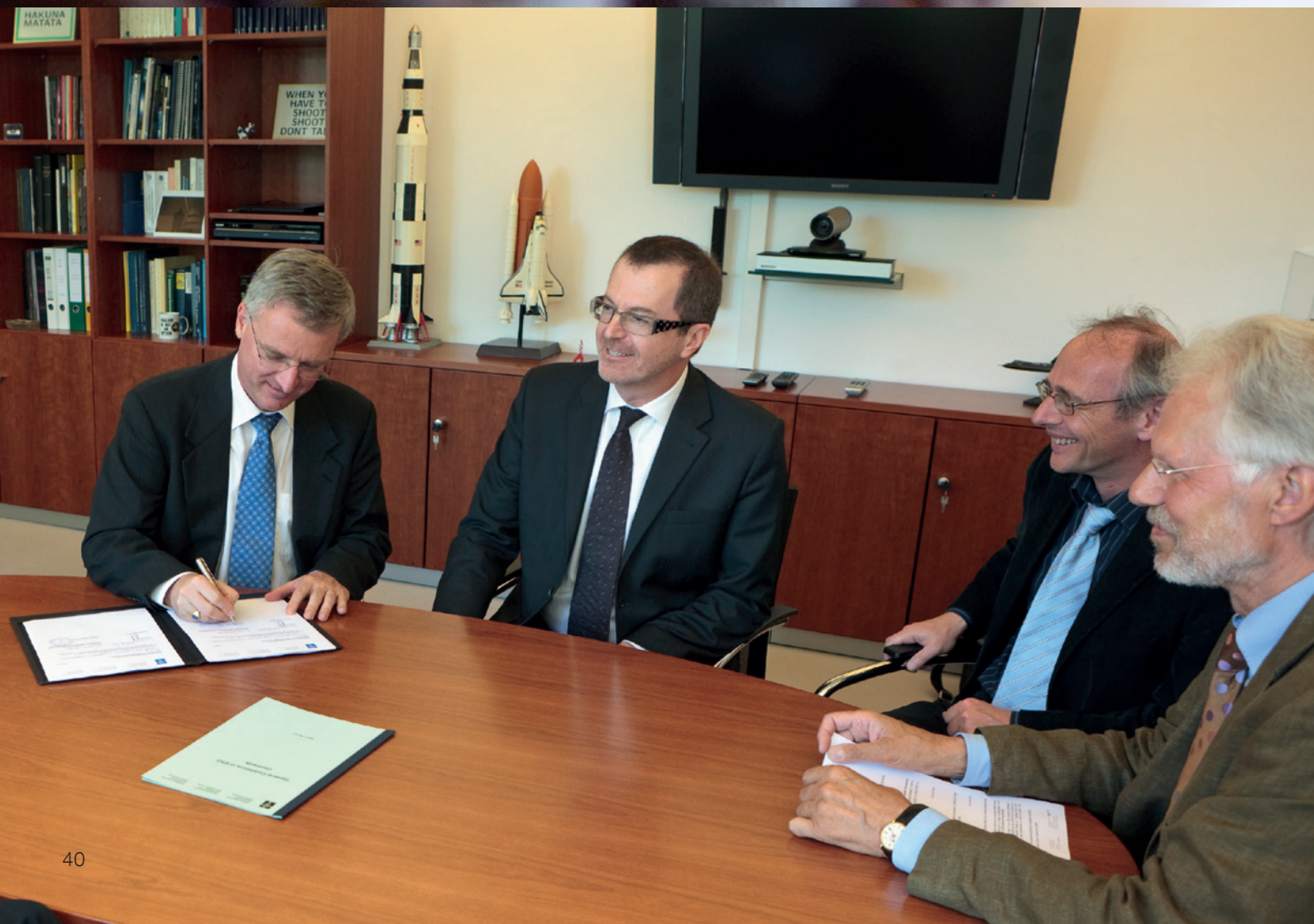
fattibile l'ELT a un costo accessibile entro i prossimi 5–10 anni. Due punti importanti dello sviluppo dell'E-ELT sono il controllo di ottiche di alta precisione nonostante le enormi dimensioni del telescopio, e il progetto degli strumenti focali che consentano di raggiungere gli ambiziosi obiettivi scientifici fissati.

Per quanto riguarda la strumentazione, l'obiettivo è di creare una dotazione di strumenti in grado di affrontare la ampia varietà di domande scientifiche che gli astronomi vorrebbero vedere risolte nelle prossime decadi. La capacità di osservare un'ampia regione dello spettro, dall'ottico all'infrarosso, permetterà di sfruttare a fondo le potenzialità date dall'ampia dimensione del telescopio. L'integrazione degli strumenti col sistema di controllo attivo e adattativo delle ottiche potrebbe essere un punto critico. L'ESO coordinerà lo sviluppo di circa cinque strumenti. Per questo sarà richiesto un enorme investimento di esperienza e capacità, ottenuto attraverso una collaborazione di molti istituti, il cui coordinamento sarà di per sé una sfida. L'impresa potrà aver successo solo utilizzando le risorse intellettuali presenti in tutta Europa, come già accadde per il VLT.

Un concetto rivoluzionario

L'attuale concetto del telescopio con specchio di diametro 42 metri è rivoluzionario. Lo specchio primario è composto di quasi mille segmenti, ciascuno ampio 1,45 metri, mentre lo specchio secondario misura 6 metri in diametro. Per evitare il deterioramento delle immagini stellari dovuto alla turbolenza atmosferica, il telescopio incorpora nella sua ottica degli specchi adattativi. Uno specchio terziario, di diametro 4,2 metri invia la luce al sistema di ottica adattativa, composto di due specchi: uno di 2,5 metri di diametro, sostenuto da più di 5000 attuatori, in grado di deformarlo 1000 volte al secondo, e uno di 2,7 metri che consente la correzione finale dell'immagine. Questo sistema di cinque specchi produce immagini di eccezionale qualità, essendo praticamente privo di aberrazioni nell'intero campo di vista.

Costruire collaborazioni



Sviluppare la collaborazione nell'astronomia europea è al centro della missione dell'ESO. L'ESO ha avuto un ruolo decisivo nel creare un'area europea di ricerca (*European Research Area*) in astronomia e astrofisica.

Ogni anno migliaia di astronomi degli stati membri, e anche di altre nazionalità, sviluppano ricerche basate sui dati ottenuti dagli osservatori dell'ESO. Spesso gli astronomi si organizzano in team internazionali, in cui sono rappresentati diversi paesi. I loro risultati sono pubblicati in diverse centinaia di articoli scientifici ogni anno.

L'ESO ha un esteso programma di borse di ricerca per giovani che hanno ottenuto il dottorato di ricerca e studenti, contribuendo così alla mobilità degli scienziati europei. Scienziati degli stati membri e di altri paesi trascorrono periodi di studio presso le diverse sedi ESO. Inoltre l'ESO ha un intenso programma di conferenze internazionali su temi di avanguardia nell'astronomia e nelle tecnologie collegate.

Fornisce inoltre supporto logistico alla rivista internazionale *Astronomy & Astrophysics*.

Per poter fornire agli astronomi telescopi astronomici e strumenti scientifici sempre migliori, l'ESO coopera strettamente con molte imprese europee di tecnologia avanzata. Di fatto, l'industria europea gioca un ruolo vitale nella realizzazione dei progetti dell'ESO. Senza un'attiva ed entusiastica partecipazione di *partner* commerciali europei e cileni, tali progetti non sarebbero possibili. Nel campo degli sviluppi tecnologici, l'ESO mantiene anche stretti legami con molti gruppi di ricerca nelle università e negli istituti di ricerca. In questo modo gli astronomi dei paesi membri sono strettamente coinvolti nella pianificazione e realizzazione degli strumenti per il VLT/VLTI e per ALMA, così come per altri telescopi esistenti. Lo sviluppo di strumenti offre importanti opportunità per i centri di eccellenza nazionali, attraendo molti giovani ricercatori e ingegneri.

L'ESO è membro di EIROforum, la *partnership* delle sette organizzazioni di ricerca intergovernative che gestiscono grandi infrastrutture di ricerca. Sia direttamente che attraverso EIROforum l'ESO mantiene stretti e fruttuosi collegamenti con la Commissione Europea. Questo ha portato al finanziamento comune di progetti di sviluppo tecnologico, di *training* di giovani studenti e di educazione scientifica nelle scuole primarie e secondarie europee, oltre ad altre attività di coordinamento.

«L'Europa deve unire le forze per raggiungere la necessaria massa critica di risorse, competenze ed eccellenza scientifica. L'impegno di EIROforum verso i nostri obiettivi comuni è benvenuto.»

Janez Potočnik, Commissario Europeo per la Scienza e la Ricerca



Janez Potočnik, Commissario Europeo per la Scienza e la Ricerca, al lancio del documento di EIROforum sulla politica scientifica.



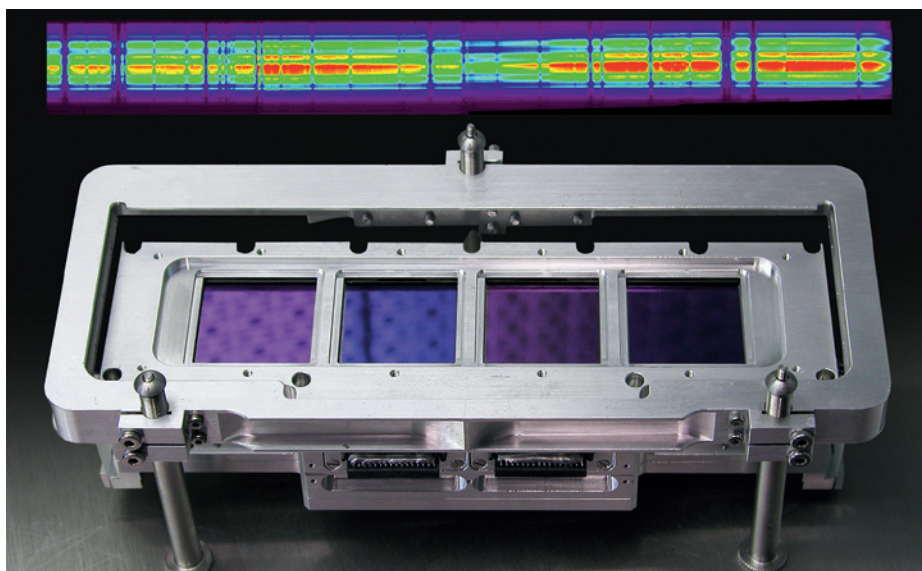
Trasferimento tecnologico

L'astronomia ha una lunga tradizione d'impatto sullo sviluppo di nuove tecnologie, molte delle quali trovano applicazioni più generali solo in fasi successive.

Astronomi e ingegneri dell'ESO lavorano attivamente con i colleghi d'industrie e istituti di ricerca europei per sviluppare nuove tecnologie. Il trasferimento tecnologico di ESO dà valore ulteriore alla sua attività di sviluppo e ricerca (R&D) verso la società in generale e verso i paesi membri in particolare.

Alcune di queste attività di R&D riguardano nuovi sistemi optomeccanici e optoelettronici, e controllo di movimenti di altissima precisione di apparecchiature di grande peso e dimensioni. Altre attività riguardano lo sviluppo di hardware e software per strumenti complessi, sofisticate tecniche di analisi di immagini e procedure ottimali di gestione e archivio di grandi quantità di dati. L'ESO ha sviluppato il rivoluzionario sistema delle ottiche attive e ha giocato un ruolo importante nello sviluppo delle ottiche adattive,

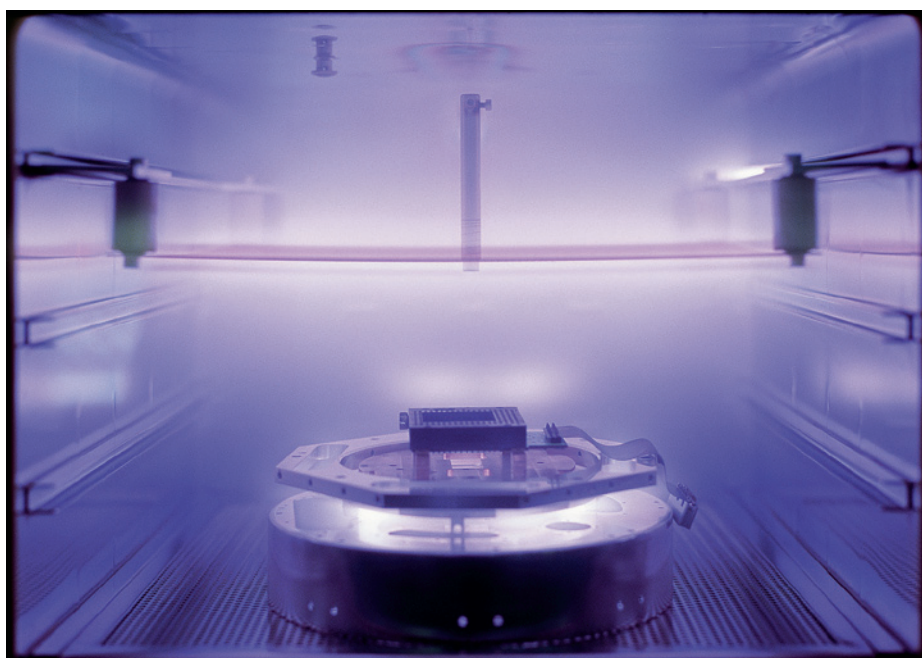
utilizzabili per applicazioni civili. I sistemi ottici attivi e adattivi non solo sono di cruciale importanza per i telescopi del futuro, ma stanno diventando elemento comune dell'ingegneria ottica. Per esempio, la tecnica di analisi del fronte d'onda è usata nella chirurgia oculistica per controllare le aberrazioni dell'occhio.



Alla frontiera della tecnologia

Tra le tante tecnologie innovative sviluppate dall'ESO, fatte avanzare oltre i limiti precedenti o combinate in nuovi modi, si possono segnalare:

- ottiche attive
- metallurgia di grandi dischi metallici per ottiche di grandi dimensioni
- sensori di fronte d'onda Shack-Hartmann
- processori in tempo reale
- laser in fibra ottica
- sistemi di riferimento temporali
- sistemi di archiviazione dati
- osservatori virtuali
- cuscinetti criogenici
- isolamento termico di impianti elettronici



Negli ultimi 20 anni, l'ESO ha acquisito una grande esperienza nella progettazione e uso di criostati ad azoto liquido per i rivelatori CCD. Nel corso di questi anni, l'ESO ha sviluppato un modello standard di criostato che è largamente usato nell'organizzazione. Grazie alle ampie e varie possibilità di applicazione, nel 1999 l'ESO ha concluso un accordo con la ditta francese SNLS per la costruzione e vendita sotto licenza del criostato ESO.

I programmi educativi e di comunicazione dell'ESO



L'astronomia ha una forte attrattiva per persone di tutte le età, in parte perché concerne le affascinanti, grandi questioni «della vita, dell'Universo e del tutto», in parte perché molti dei dati ottenuti con i telescopi possono essere presentati come oggetti di una bellezza sconvolgente. L'ESO ha intrapreso da molti anni un programma molto attivo di comunicazione scientifica, condividendo con il pubblico i molti risultati scientifici ottenuti grazie ai suoi telescopi. Questo è fatto, quando possibile, in tutte le principali lingue degli stati membri dell'ESO e con un approccio multimediale.

Come parte di questa missione, l'ESO partecipa a mostre, produce comunicati stampa, brochure e libri di alta qualità, immagini ricavate dai dati scientifici grezzi, materiali audiovisivi e fornisce servizi web.

Con il suo forte carattere multidisciplinare e la sua forte attrazione sul pubblico, l'astronomia può esercitare un forte ruolo nella moderna istruzione scientifica. I risultati scientifici dell'ESO forniscono tesori inestimabili ai docenti di scienza.

L'ESO è stato forza trainante in molti programmi pilota d'insegnamento, spesso svolti in collaborazione con altri *partner* tra cui la Commissione Europea. Questi sforzi sono rafforzati attraverso le attività comuni con EIROforum, con programmi dedicati alle scuole elementari come *Life in the Universe* e *Scitech — couldn't be without it!*, e altri diretti ai docenti di materie scientifiche: *Physics on Stage* e *Science on Stage*. Insieme ai suoi *partner* in EIROforum, l'ESO pubblica il primo giornale internazionale multidisciplinare per l'insegnamento della scienza, *Science in School*, e organizza una nuova scuola annuale per insegnanti di materie scientifiche.

L'ESO ha svolto un ruolo principale nell'organizzazione dell'Anno Internazionale per l'Astronomia (IYA2009). Sono stati coinvolti 148 Paesi, confermando che l'IYA2009 è il più grande network in campo scientifico. Più di 70 organizzazioni internazionali hanno partecipato alle attività dell'IYA2009, tra cui 12 progetti *Cornerstone* e 16 progetti Speciali. L'ESO ha ospitato il segretariato generale dell'IYA2009 e condotto parecchi dei progetti *Cornerstone*.



Lavorare all'ESO

Lavorare all'ESO significa affrontare la sfida di operare in un ambiente multi-culturale, inclusivo e realmente internazionale, che si occupa di tecnologie e scienza di avanguardia, aspetti che rendono ESO un posto veramente entusiasmante. Le persone all'ESO sono impiegate come *staff* internazionale, *staff* locale, borsisti, *fellows* e studenti.

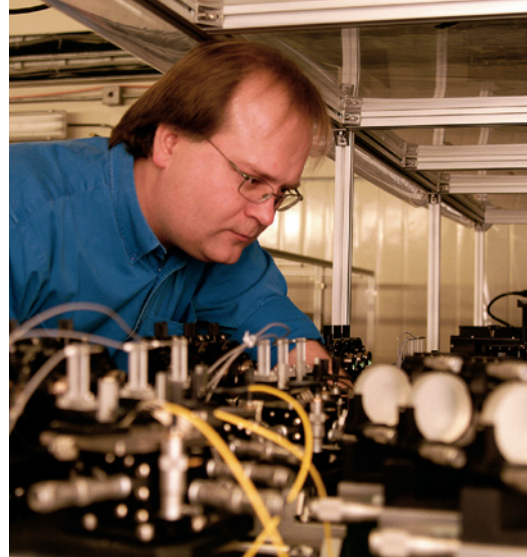
Lo staff internazionale rappresenta un ampio spettro di professioni, che vanno dagli scienziati agli ingegneri, ai tecnici, al personale amministrativo. Il personale associato lavora per brevi contratti con ESO, contratti a obiettivi definiti nel campo della ricerca scientifica, o per supporto tecnico o amministrativo.

Giovani scienziati che hanno da poco ottenuto il dottorato di ricerca sono reclutati per far crescere le loro capacità scientifiche. L'ESO fornisce strutture modernissime e la possibilità di sviluppare la propria esperienza con la partecipazione attiva a un progetto di ricerca. Ci sono opportunità per studenti impegnati in un programma di Dottorato in astronomia o campi affini. La durata del programma va da uno a due anni e mira a integrare, con nuove opportunità, i programmi di dottorato delle Università dei paesi membri. *Fellowships* e *Studentships* possono essere svolte presso il quartier generale dell'ESO a Garching o in Cile.



Gente dell'ESO: Jean-Michel Bonneau, Capo del Dipartimento Finanze dell'ESO

«Prima di venire all'ESO nel 1996, ho lavorato in settori diversi come Amministratore — dai Giochi Olimpici di Albertville nel 1992, a una casa discografica in Provenza. Sono contento di esser venuto all'ESO per lavorare in una struttura con progetti unici, con un budget di alcune centinaia di milioni di euro: tutto ciò necessita di uno *staff* specializzato nella gestione amministrativa e finanziaria. Nel Dipartimento Finanze verifichiamo che le risorse siano usate secondo le direttive e le regole definite dagli organi di governo dell'ESO. Teniamo sempre presente che il finanziamento assicurato dagli stati membri è ciò che ha permesso la realizzazione delle straordinarie infrastrutture che sono ora disponibili per la comunità scientifica.»





ESO è ...

- l'osservatorio astronomico più produttivo al mondo;
- un punto di incontro per gli scienziati degli stati membri e un catalizzatore di nuove iniziative scientifiche;
- un'organizzazione entusiasta, con grandi progetti destinati alla prossima generazione di scienziati;
- un *partner* attivo dell'industria;
- un *partner* attivo nella comunicazione e nella divulgazione scientifica;
- un ponte tra Europa e Cile;
- un esempio di efficace collaborazione europea.

Per saperne di più

ESO
education and
Public Outreach Department
Karl-Schwarzschild-Straße 2
85748 Garching bei München
Germany
Tel +49 89 320 06-291

information@eso.org
www.eso.org



www.eso.org