

INTRODUZIONE

I. 1 Breve storia del telescopio

Il telescopio è stato uno degli strumenti protagonisti della rivoluzione scientifica del XVII secolo. La sua invenzione non è tuttavia attribuita ad uno scienziato, bensì ad un artigiano del vetro; probabilmente si tratta di un olandese costruttore di lenti di nome Hans Lippershey (1570-1619).

Il potere diottrico delle lenti era noto da tempi molto antichi, e le lenti per occhiali si costruivano sin dal XIII secolo; Venezia e Firenze erano note a quell'epoca per la produzione di vetro per occhiali di buona qualità e di prezzo non elevato. Questi dischetti di vetro, sagomati a forma di lenticchia, furono noti da allora come "lenti" (dal latino *lenses*). Le persone che avevano problemi di vista si recavano da questi artigiani e provavano diversi tipi di lenti, trovando quelle che meglio risolvevano il difetto visivo posseduto. Pertanto verso il 1450 tutti gli ingredienti per costruire il primo telescopio rifrattore erano già tutti sul mercato. L'effetto di ingrandimento del telescopio poteva infatti essere ottenuto da diverse combinazioni di lenti o specchi concavi e convessi. Il motivo per cui il telescopio non fu inventato nel XV secolo non è quindi chiaro, eccetto forse per il fatto che la qualità di queste lenti e specchi era piuttosto scadente.

Verso il 1609 la notizia dell'invenzione del telescopio si diffuse rapidamente in tutta l'Europa. Nella letteratura di questi anni il primo disegno di un telescopio è quello fatto da G. Della Porta (in Fig. I.1), il quale era interessato a tutto ciò che appariva magico e mirabolante, in perfetta sintonia con i costumi dell'epoca.

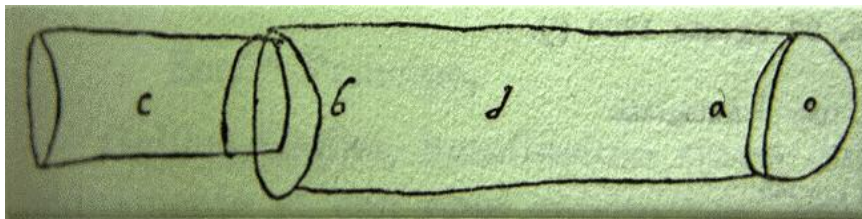


Fig. I.1. Il primo disegno di un telescopio di G. Della Porta (1609)

Sembra che Thomas Harriot osservò per primo la Luna con un telescopio nell'agosto del 1609, ma fu certamente Galileo Galilei che comprese appieno le potenzialità scientifiche del telescopio. Egli stesso ne costruì uno che presentò al Senato della Repubblica di Venezia e lo puntò verso il cielo. Le sue scoperte, pubblicate nel *Sidereus Nuncius* nel Marzo del 1610, sono note in tutto il mondo.



Fig. I.2. Il telescopio di Galileo (1609)

Il tipico telescopio Galileiano (in Fig. I.2) possiede un obiettivo piano-convesso con una lunghezza focale di circa 75-100 cm, e un oculare piano-concavo con una focale di circa 5 cm. L'oculare è inserito in un piccolo tubo che può essere mosso per regolare il fuoco. L'apertura dell'obiettivo era di circa 2.5 cm ed il campo di vista di circa 15 arcmin. L'ingrandimento ottenibile era di 15-20. Pur essendo tra le migliori lenti per l'epoca, le aberrazioni erano notevoli e di conseguenza la qualità dell'immagine piuttosto scarsa. Ciò spiega perché il telescopio fece molta fatica ad affermarsi anche tra persone di elevata cultura.

La rapidità di diffusione dello strumento fu seguita da una rapida evoluzione delle conoscenze teoriche. Già nel 1611 Johannes Kepler mostrò di aver compreso i principi di base dell'ottica geometrica, ed indicò che il telescopio poteva realizzarsi anche con una combinazione di due lenti convesse. Egli fece vedere che l'immagine invertita che si otteneva con questo tipo di strumento poteva essere resa dritta con l'aggiunta di una terza lente.

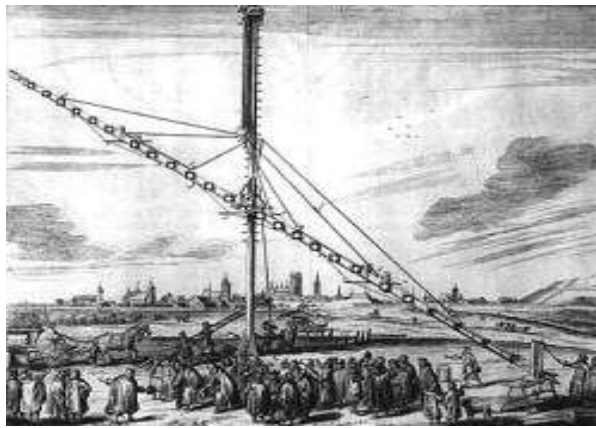


Fig. I.3. Uno dei telescopi di Hevelius (1670)

Ben presto ebbe inizio la corsa alla costruzione di telescopi rifrattori sempre di miglior qualità.

A causa dei difetti ottici la curvatura delle lenti doveva essere minimizzata, pertanto (poiché l'ingrandimento è dato dal rapporto delle focali dell'obiettivo e dell'oculare) per ottenere un elevato ingrandimento era necessario far crescere la focale dell'obiettivo. A partire dal 1640 si costruirono quindi telescopi sempre più lunghi: Christiaan Huygens nel 1656 ne costruì uno di 7 m con un'apertura di diversi centimetri, un ingrandimento di 100, e un campo di vista di 17 arcmin.

Dopo l'introduzione di una lente di campo che permetteva elevati ingrandimenti accoppiati ad un buon campo di vista, la corsa alla costruzione di telescopi sempre più grandi continuò: nel 1670 Johannes Hevelius costruì un telescopio di 42 m (Fig. I.3). Questi telescopi erano tuttavia poco adatti alle osservazioni astronomiche: era quasi impossibile mantenere le ottiche allineate, ed un po' di vento rendeva inutilizzabile lo strumento. Il telescopio rifrattore aveva raggiunto il suo limite per le tecnologie dell'epoca, e con gli inizi del XVIII secolo fu sostituito dal telescopio riflettore inventato alcuni anni prima da Isaac Newton. Già Galileo parlava tuttavia, nella sua corrispondenza con Sagredo, Caravaggi e Marsili intorno al 1610-1611, dei concetti di base del telescopio riflettore e descriveva i primi rudimentali tentativi di fabbricarne uno. Da quello che si sa i primi tentativi costruttivi che hanno portato alla costruzione di uno strumento a riflessione risalgono intorno alla seconda decade del secolo ad opera di Zucchi che si fece costruire uno specchio in bronzo, si presume sferico o tendenzialmente tale, da un mastro artigiano e lo collaudò usando una lente frontale negativa, come un telescopio galileiano.

Gli studi teorici di ottica geometrica nel frattempo proseguivano. Nel 1637 René Descartes, nella sua "Dioptrique" (in appendice all'opera "Discourse on Method"), studiò le proprietà delle coniche per la produzione di specchi privi di aberrazioni. Per la prima volta si parlava

scientificamente del fenomeno dell'aberrazione sferica dopo la scoperta da parte di Willebrord Snell delle leggi della riflessione e della rifrazione della luce. Purtroppo le capacità tecniche dell'epoca non consentirono subito la produzioni di specchi non sferici.

Già all'epoca di Descartes, nel 1636, il francese Marsenne propose due tipi di telescopi riflettori con superfici coniche che somigliano molto a quelle oggi noti come Gregoriano e Cassegrain, rispettivamente del 1663 e del 1672. L'unica differenza risiede nel fatto che le configurazioni ottiche proposte da Marsenne usavano lo specchio secondario come un oculare e producevano dei telescopi afocali (in cui il fascio di luce parallelo rimane parallelo ma è ridotto di dimensione). Senza saperlo Marsenne aveva posto le basi per la costruzione dei telescopi aplanatici (in cui l'aberrazione sferica e la coma sono nulle). Scoraggiato da Descartes che presentò diverse critiche (non tutte giuste) alle sue idee, Marsenne non tentò mai di costruire i suoi telescopi.

La concezione monocromatica della natura della luce da parte di Descartes e la sua insistenza sulla correzione dell'aberrazione sferica attraverso superfici asferiche (impossibili da realizzare all'epoca), rappresentò un ostacolo al progresso, in quanto gli artigiani dell'epoca si sforzarono inutilmente in questa direzione, che era inutile poiché gli altissimi rapporti focali utilizzati per attenuare il forte cromatismo dell'immagine rendevano sostanzialmente superfluo l'uso di asferici. Questa falsa impostazione fu comunque successivamente superata da Huygens che stabilì che le aberrazioni cromatiche potevano essere utilmente contenute se i rapporti focali fossero stati molto elevati.

Il successivo passo avanti fu fatto dall'inglese James Gregory, il quale studiò, con notevole dettaglio teorico, le varie forme di telescopi note o possibili all'epoca, e non essendo a conoscenza del lavoro precedente di Marsenne riscoprì la forma afocale del telescopio composito ed introdusse la forma oggi nota come "gregoriana". Questa è composta da un primario paraboloidale concavo avente il fuoco coincidente con uno dei fuochi di un secondario ellissoidale (concavo anche lui) che forma l'immagine reale dell'oggetto. Una lente piano-convessa posta all'esterno del primario serve da oculare (oculare di Kepler) e rende afocale il sistema risultante. Da notare che tale telescopio forma delle immagini erette dell'oggetto, il che era (ed è) un significativo vantaggio.

Non solo Gregory correttamente diede le equazioni corrette per le forme del primario e del secondario e capì l'influenza delle distanze reciproche sulla lunghezza finale del sistema ma, passando dal teorico al pratico, tentò (inutilmente) di realizzare concretamente un obiettivo con lo schema da lui ideato, con l'aiuto degli ottici londinesi Reeves e Cox. Le difficoltà inerenti alla costruzione del secondario ellissoidale erano presumibilmente troppo alte per le tecniche costruttive di allora, così come quella sulla forma paraboloidale del primario. Ciò non di meno quello di Gregory si qualifica come il primo vero tentativo di realizzare in pratica uno schema complesso come quello di un telescopio composito a due specchi.

Un ulteriore passo avanti nelle conoscenze di ottica venne nel 1672, quando Isaac Newton mostrò che la luce bianca era costituita da una mistura di colori e si iniziò a comprendere il fenomeno dell'aberrazione cromatica. Egli pubblicò i suoi studi molto tardi, ma già nel 1668 era riuscito a costruire il primo telescopio riflettore (Fig. I.4), con uno specchio (quasi) parabolico primario ed un secondario piano inclinato di 45 gradi. Conscio dei problemi di manifattura Newton costruì uno strumento di 3.4 cm di apertura e di 16 cm di focale. Con un oculare piano-convesso si riusciva ad ottenere un ingrandimento di 35 volte.

L'introduzione dello specchio piano deviatore a 45° può apparire banale oggi ma non dovette esserlo all'epoca (forse Zucchi stesso pensava ad una soluzione del genere ma non ci sono testimonianze sufficienti per attribuire a lui la primogenitura). Lo specchio primario parabolico era in speculum (una lega di rame e stagno utilizzata per realizzare specchi). Newton fu anche il primo ad utilizzare la pece greca per le operazioni di formatura finale e lucidatura dello specchio (o quantomeno il primo a darne una testimonianza scritta).

Questo risolveva i problemi di lunghezza dei telescopi (che potevano essere fino a 4 volte più corti) a spese però delle capacità di raccogliere luce per via delle piccole aperture. Purtroppo la qualità

degli specchi era molto scadente, non era possibile ottenere le curvature richieste, e le superfici riflettenti che erano metalliche si rovinavano rapidamente (si arrugginivano).



Fig. I.4. Il primo telescopio riflettore di Newton (1668).

Nello stesso anno dalla Francia giunse la rivendicazione di Cassegrain, che aveva inventato un telescopio a riflessione. L'identità di questo personaggio è assai vaga, di lui si sa ben poco: forse era un professore di Fisica al *Collegio di Chartres*; o forse uno scultore e fonditore alle dipendenze di Luigi XIV. Il suo intermediario Henry de Bercè affermava, nella lettera di presentazione, che Cassegrain aveva inventato un telescopio a riflessione, la cui configurazione ottica differiva sensibilmente da quella dello strumento ideato da Newton. Lo schema di questa configurazione consiste, oltre al solito primario a sezione parabolica concava, di un secondario convesso a sezione iperbolica con un fuoco coincidente con il fuoco del primario. L'immagine finale si forma all'altro fuoco dell'iperboloide, in genere dietro il primario. Un oculare rifrattivo si prende cura di formare la pupilla d'uscita del telescopio.

De Bercè sostenne che l'invenzione di Cassegrain era stata fatta diverse settimane prima di quella dello scienziato inglese. Così de Bercè fece ricorso alla *Royal Society*. La risposta di Newton non si fece attendere a lungo. Oltre a rivendicare la costruzione del telescopio riflettore, egli indicò i principali difetti del telescopio di Cassegrain: 1) l'insufficiente luminosità (la quantità di luce che si perde nella riflessione dal piccolo specchio convesso secondario è certamente maggiore di quella perduta dallo specchio piano, ovale, del suo telescopio); 2) lo specchio convesso non rifletteva i raggi come quello piano, a meno che non fosse iperbolico, e quindi difficile da costruire.

A giudizio di Newton, in sostanza, il telescopio del Francese presentava svantaggi, piuttosto che vantaggi. In effetti la tecnologia dell'epoca non consentiva la realizzazione di specchi curvi tali da fornire immagini otticamente accettabili per le esigenze dell'osservazione astronomica.

Come abbiamo detto, lo strumento inventato da Newton riscosse un notevole consenso nell'ambiente scientifico; ma dopo gli entusiasmi iniziali giunsero le delusioni, dovute, oltre che alle difficoltà legate alla sua realizzazione pratica, anche alle prestazioni tutto sommato deludenti dei pochi strumenti che si era riusciti a realizzare. Le immagini che fornivano erano di qualità più scadente rispetto a quelle dei telescopi a rifrazione, anche se questi ultimi erano affetti da aberrazione cromatica ("*iridazione*" dei bordi delle immagini). Insomma, sebbene fossero evidenti le potenzialità del telescopio di Newton, c'era un problema di tecnologia: questa era ancora incapace

di fornire prodotti le cui qualità ottiche fossero accettabili per l'uso astronomico, e, caratteristica non meno importante nella pratica, che fossero anche di facile commercializzazione.

Il primo a produrre un telescopio riflettore di grandi dimensioni e comunque in grado di competere con i maggiori telescopi rifrattori di quei tempi fu John Hadley. Questi, nel 1721 presentò alla Royal Society un telescopio in configurazione newtoniana di 157 cm e 15.2 cm di apertura e con rapporto focale pari a $f/10.7$. Le immagini fornite da questo riflettore erano comparabili al migliore riflettore disponibile, ovvero quello di Huygens da 37.3 m di lunghezza focale ed analoga apertura. Naturalmente l'immagine nel rifrattore era più luminosa che nel telescopio di Hadley. Egli infatti utilizzava lo speculum che ha una riflettività piuttosto bassa (intorno a 63%-67% nei casi migliori). Con due riflessioni necessarie in un telescopio newtoniano, il valore finale delle trasmittanza è solo del 42.2%. La commissione della Royal Society fu anche notevolmente impressionata dalla maneggevolezza e dalle finiture meccaniche dello strumento il quale non sfigurerebbe affatto a fianco di strumenti simili fatti da costruttori moderni.

I maggiori contributi di Hadley alla tecnica costruttiva dei riflettori, oltre alla crescita in termini di apertura dal telescopio di Newton, riguardano le tecniche di controllo della qualità ottica durante la fase di produzione dello specchio. Egli inventò infatti il test di autocollimazione con "pinhole" per la verifica della figura complessiva dello specchio. Essendo la spiegazione sulla natura ondulatoria della luce di là da venire, questo test concerneva solo le problematiche di collimazione geometrica del fascio luminoso concentrato dallo specchio. Hadley tentò anche una parabolizzazione dello specchio, con incerti esiti, essendo la differenza tra una parabola ed un cerchio per quelle aperture e rapporti focali ($f/10.3$) del tutto trascurabile.

Il più grande costruttore di riflettori dell'epoca fu James Short, che dominò la scena durante tutto il periodo 1730-1760. Questi migliorò e raffinò le tecniche costruttive in maniera tale da poter mettere in ombra in maniera quasi definitiva i rifrattori a lunghissima focale del tempo. Egli produsse complessivamente, nei circa trent'anni di attività, la cifra record di circa mille esemplari, quasi tutti nella forma "gregoriana".

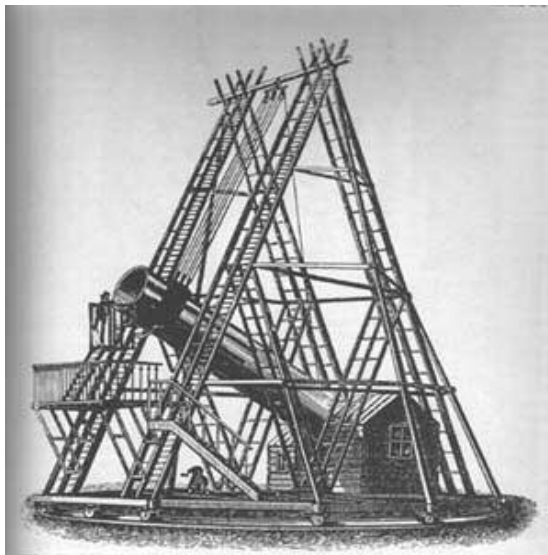


Fig. I.5 Il telescopio di W. Herschel del 1789. E' un riflettore di ~ 1m in montatura Newtoniana altazimutale.

Bisognò comunque attendere il 1773 e un astronomo come William Herschel per ottenere le prime scoperte astronomiche realizzate con un telescopio riflettore. Urano fu scoperto nel 1781 con un riflettore di 2.1 m di focale e di 15 cm di apertura.

Egli per primo fu in grado di realizzare specchi sferici di grande apertura (che non si arrugginivano in poco tempo) e grande lunghezza focale. Ben presto apparvero telescopi come quello in Fig. I.5 di

1 m di apertura e fino a 12 m di focale, e si raggiunsero i limiti meccanici per la stabilità di tali gigantesche strutture.

Con questi telescopi di straordinaria fattura (soprattutto quelli più piccoli che erano limitati esclusivamente dalla diffrazione) si poterono raggiungere notevoli traguardi nella ricerca astronomica. Dalle testimonianze scritte e dagli esperimenti di Herschel per determinare la qualità delle sue ottiche (nonché dalle sue scoperte e osservazioni) si può arrivare alla conclusione che i suoi telescopi erano limitati solo dal "seeing" del suo sito osservativo, una situazione che non verrà di molto migliorata prima del ventesimo secolo. Alcuni dei più piccoli potrebbero giustamente essere definiti "diffraction limited".

Nello stesso periodo in cui il telescopio riflettore eliminava quasi totalmente il rifrattore a singola lente dal campo dell'indagine scientifica, se non altro per la sua molto maggiore maneggevolezza, i progressi nella costruzione di un efficace obiettivo acromatico (doppietto acromatico) si facevano sempre più vicini alla soluzione, che fu individuata da Chester Moore Hall in maniera empirica (e che comunque non fu compresa nelle sue potenzialità) e poi finalmente realizzata in maniera definitiva da John e Peter Dollond, che realizzarono dei doppietti acromatici in cui non solo l'aberrazione cromatica primaria (o longitudinale) veniva corretta ma anche l'aberrazione sferica.

Il principale problema dell'epoca nella realizzazione dei telescopi rifrattori era quello di ottenere dei "grezzi" di qualità sufficiente, specialmente per i vetri "crown", alla costruzione di obiettivi astronomici di media grandezza. A quel tempo un grezzo di 10 cm di diametro era considerato già di largo diametro ed uno di 15 cm del tutto eccezionale. Bisognerà attendere i lavori di Fraunhofer e di Guinand nei primi decenni del secolo diciannovesimo perché i processi chimico-fisici di fabbricazione dei vetri vengano pienamente compresi. Nel diciannovesimo secolo il pendolo della rivalità tra riflettori e rifrattori volse decisamente a favore di quest'ultimi, soprattutto grazie al lavoro teorico-pratico di Fraunhofer. In Fig. I.6 vediamo il suo rifrattore acromatico del 1824.

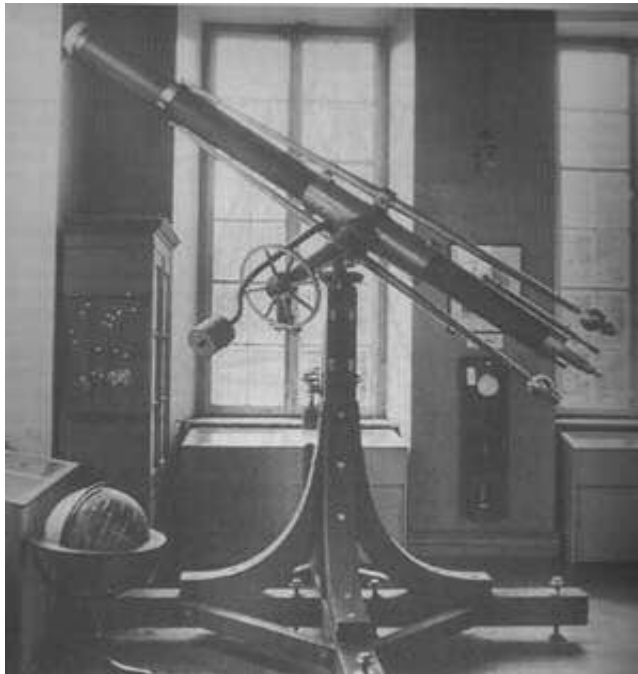


Fig. I.6. L'acromatico di Fraunhofer (1824)

Non di meno i telescopi riflettori raggiunsero in quel periodo delle dimensioni notevoli e si assistette all'introduzione di notevoli progressi tecnologici così come a notevoli fallimenti.

Lord Rosse (William Parson) fu uno dei più grandi esponenti di questo periodo. Egli intraprese un'estensiva campagna di indagine tecnologica per la costruzione del suo telescopio da 1.82 m di diametro (conosciuto come il Leviatano di Parsontown, Fig. I.7) e un rapporto focale $f/9$, che rimase

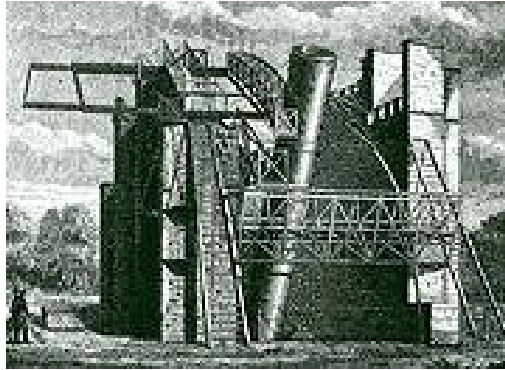


Fig. I.7. Il leviatano di Lord Rosse (1845).

fino ai primi anni del '900, il più grande telescopio mai costruito.

Rosse raffinò la tecnica di stabilizzazione della lega di speculum lasciando il grezzo a raffreddare a temperatura controllata ed utilizzando una lega ottimale (68.2% di rame e 31.8% di stagno) per lo speculum. Grazie alle nuove tecnologie, Lord Rosse poté ottenere degli specchi meno prone all'annerimento ed a più alta riflettività. Un'altra innovazione fu l'introduzione di grezzi assemblati da sezioni parziali, che permetteva di ottenere degli specchi molto rigidi e al contempo molto leggeri (se paragonati a quelli monolitici).

Per lo specchio da 1.82 m, così come per il precedente da 90 cm, Rosse adottò il sistema di supporto detto "wiffle tree" inventato da Thomas Grubb. Questo sistema permette di scaricare il peso dello specchio senza creare delle zone di tensione che possono deformare lo specchio e quindi introdurre aberrazioni astigmatiche nell'immagine. Questo sistema è largamente adottato nei telescopi riflettori amatoriali ed anche da alcuni di quelli professionali più piccoli. Il sistema utilizzato da Lord Rosse aveva 82 punti di supporto e non ebbe nessuno dei problemi di flessione che afflissero il 40 piedi di Herschel.

Dal punto di vista dei progressi nella tecnologia ottica, Rosse comprese perfettamente la necessità di parabolizzare il suo specchio primario data la dimensione ed il rapporto focale, cosa che fece asportando (in linea quindi con le esperienze precedenti) materia dal bordo del disco sferico e quindi producendo una sezione parabolica avente uguale raggio di curvatura della sezione circolare tangente nel vertice della parabola. Egli era altresì a conoscenza del fatto che le sezioni paraboliche non producono delle immagini perfette per posizioni assiali dell'oggetto vicine al fuoco teorico e quindi testò i suoi specchi con delle "maschere" di carta per verificare la qualità di finitura delle diverse zone radiali (che in buona approssimazione si possono assumere come sferiche) e calcolò per ciascuna di esse lo scostamento dal fuoco teorico. Da quanto si sa, egli fu il primo ad introdurre questo metodo ancora ampiamente usato. Egli fu inoltre il primo a realizzare efficacemente una macchina per la lavorazione degli specchi (per giunta azionata da una macchina a vapore), fondamentale nella riduzione del tempo necessario per le prime fasi di lavorazione degli specchi, altrimenti lunghissime dati i grandi diametri usati da Rosse.

Riconosciuti gli enormi problemi meccanici di manovra e puntamento di telescopi del peso di svariate decine di tonnellate (in un'epoca in cui le macchine erano ancora manovrate dalla forza muscolare) egli (saggiamente) rinunciò alla possibilità di esplorare a 360° il cielo notturno adottando una montatura altazimutale che permetteva la visione di un'arco di cielo di 160° sul meridiano e $\pm 12^\circ$ di larghezza in azimuth, permettendo quindi l'osservazione continua della stessa area per circa un'ora e mezza per un oggetto vicino all'equatore. L'enorme tubo scorreva su supporti

lateralmente per mezzo di cuscinetti a rotolamento e poteva essere inclinato per mezzo di un sistema di contrappesi e di cunei. Per proteggere il tubo ottico dalle folate di vento tutto il sistema era montato tra due mura che lo proteggevano sui due lati.

Avendo riconosciuto anche che il sistema di visione frontale adottato da Herschel avrebbe prodotto una quantità per lui inaccettabile di coma nell'immagine assiale, egli ritornò alla configurazione newtoniana, cosa resa indubbiamente più facile dalla più alta riflettività della sua lega di speculum. Il suo telescopio da 1.82 m fu completato nel 1845 e con esso Rosse fu il primo in grado di rivelare la struttura a spirale delle galassie esterne e riuscì anche a scorgere la presenza di stelle e ammassi globulari nei bracci di quest'ultime, avvalorando così in un certo modo l'idea degli "universi-isola" di Laplace e Kant.

Contemporaneo di Rosse, William Lassell fu un'altro grande costruttore dell'epoca. Come Rosse egli utilizzava una lega di speculum ricca in stagno consentendo quindi una più alta riflettività e, padroneggiando anch'egli le tecniche di raffreddamento controllato delle fusioni, riuscì a realizzare specchi di notevole grandezza, fino a 1.22 m di diametro. I suoi contributi alla tecnologia dei telescopi, come quelli di Rosse, sono stati anch'essi notevoli ed in particolar luogo egli introdusse:

- 1) Il sistema di leve astatiche per il supporto del primario;
- 2) Il sistema di tubi in traliccio per il tubo ottico, consentendo così la ventilazione del primario;
- 3) La prima montatura equatoriale a forcella;
- 4) Il tubo rotante per consentire un facile accesso all'oculare da parte dell'osservatore.

Il suo più grande telescopio, che incorporava tutte queste innovazioni, fu un newtoniano da 1.22 m di apertura e rapporto focale $f/9.2$ installato a Malta nel 1862 (Fig. I.8).

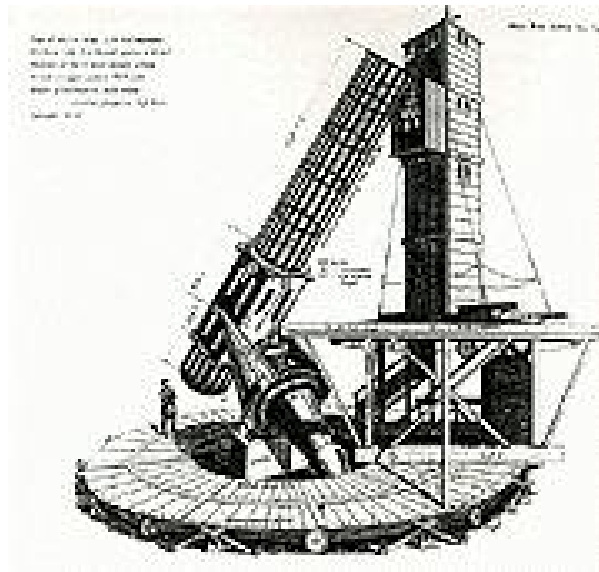


Fig. I.8. Il telescopio di 1.22 m di Lassell a Malta (1862).

Un altro importante contributo, se non altro per gli sviluppi futuri, fu da dato James Nasmyth il quale realizzò, duecento anni dopo la sua descrizione teorica, il primo telescopio riflettore composto in configurazione Cassegrain, ovvero con specchio secondario convesso. Egli inoltre introdusse poi quello che si chiama "fuoco Nasmyth". In questa configurazione il fascio ottico convergente del secondario viene prelevato con un specchio piano a 45° e inviato fuori dal tubo attraverso l'asse cavo di altitudine (Fig.I.9).



Fig. I.9. Il telescopio di 50 cm di James Nasmyth (1845).

Questo consente una posizione fissa dell'osservatore rispetto all'oculare se questi ruota insieme al tubo ottico. In nuce questo telescopio rappresenta l'antesignano di tutti i moderni telescopi dotati di fuoco "Nasmyth" come ad esempio il telescopio NTT da 3.5 m dell'ESO.

L'ultimo, e potenzialmente il più innovativo, dei grandi riflettori del diciannovesimo secolo in speculum fu il riflettore da 1.22 m di apertura di Melbourne (Fig. I.10), il quale tuttavia si rivelò un clamoroso fallimento.

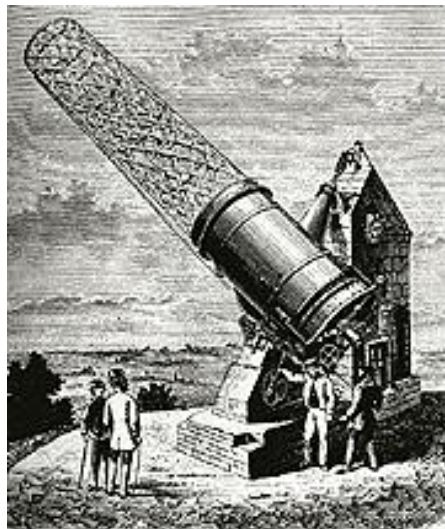


Fig. I.10. Il riflettore di 1.22 m di Melbourne (1869).

Le caratteristiche del riflettore di Melbourne erano innovative, specialmente per la configurazione ottica adottata. In breve queste possono essere riassunte come segue:

1) Configurazione Cassegrain con un primario da $f/7.9$, il più veloce costruito per quelle dimensioni fino ad allora. Il rapporto focale al fuoco Cassegrain era di $f/41.6$. Questo telescopio fu il primo a

sfruttare (nei limiti della qualità ottica ottenibile al tempo) fino in fondo l'effetto teleobiettivo della configurazione Cassegrain riducendo considerevolmente la lunghezza del tubo ottico.

2) Assenza di fuoco Newton, con conseguente semplificazione meccanica e più facile accesso all'oculare.

3) Tubo ottico costituito da struttura leggera aperta a traliccio, per ridurre sia il peso che la resistenza aerodinamica al vento e migliorare lo scambio termico del primario.

4) Montatura equatoriale "all'inglese" di notevole leggerezza e stabilità.

Il telescopio fu installato nei pressi di Melbourne nel 1869, nell'Australia meridionale, per condurre un'estesa campagna osservativa del profondo cielo australe, come seguito all'attività di catalogazione e osservazione condotta da John Herschel (figlio di William) nei cieli australi di Città del Capo. Per l'ottica il comitato di esperti che sovrintendeva al progetto, pur avendo considerato la allora nuovissima tecnologia dell'argentatura su specchi in vetro (introdotta da Foucault), optò per il più tradizionale speculum. Questa scelta si rivelò catastrofica essendo il clima di Melbourne umido, caldo e soggetto a notevoli sbalzi termici e quindi particolarmente favorevole all'ossidazione del rame contenuto nella lega. Per riportare la riflettività ai valori (già non alti) originali era allora necessario rilucidare gli specchi, operazione questa gravosa e richiedente notevole esperienza nei test ottici, esperienza questa interamente mancante sul luogo. Spesso, a causa delle frequenti rilucidature dello specchio in speculum, si usava costruire non già un solo primario ma almeno due (Lord Rosse ne costruì appunto due per il suo Leviatano) in modo da poter continuare l'attività osservativa nel lungo periodo di rilucidatura e conseguente rfigurazione dello specchio. Sebbene per il telescopio di Melbourne fossero stati costruiti due specchi primari, uno di essi fu danneggiato durante le operazioni di rimozione della ceralacca con cui erano stati "imballati" per la spedizione dall'Inghilterra, riducendo quindi notevolmente i gradi di libertà disponibili nella gestione del telescopio medesimo.

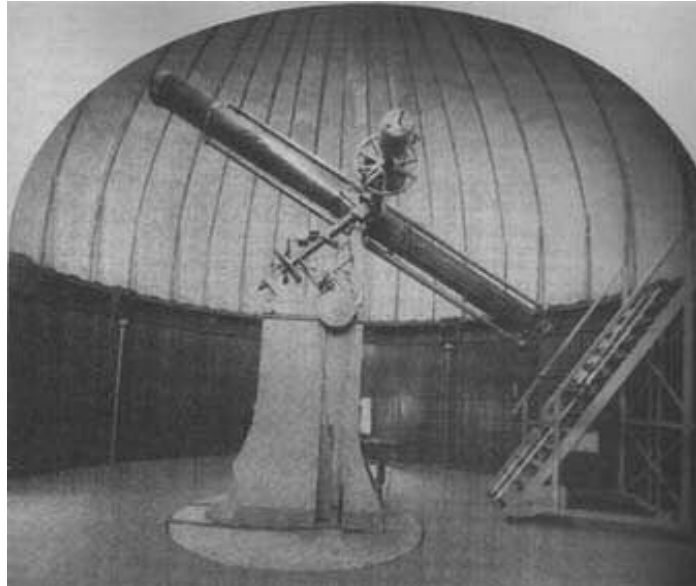


Fig. I.11. Un telescopio rifrattore di Alvan Clark (1866)

Questo, unito alla pessima scelta del sito osservativo (troppo ventoso per la lunghezza focale effettiva del sistema) e all'ancor peggiore gestione del progetto portò a ritardi, rotture e malfunzionamenti e produsse un periodo osservativo complessivo di non più di 15 anni. In breve, dopo l'esperienza di Melbourne, per molti anni i telescopi riflettori non vennero considerati degli strumenti sufficientemente affidabili per una seria ricerca scientifica ed il testimone passò, per l'ultima volta, ai grandi rifrattori.

I più famosi rifrattori dell'epoca sono sicuramente i rifrattori di 91 cm ed di 101 cm di Alvan Clark (vedi Fig. I.11 e I.12).



Fig. I.12. Il rifrattore da 36" del Lick Observatory del 1888.

Ben presto però la nuova tecnica di argentare specchi di vetro, inventata da Foucault nel 1859, sbaragliò completamente il campo a favore dei telescopi a riflessione.

All'inizio del novecento negli Stati Uniti d'America iniziò la costruzione dei primi grandi riflettori moderni. George Ritchey è una delle figure più rappresentative di questo periodo. E' del 1901 il riflettore di 60 cm con $f/3.9$ di Yerkes (Fig. I.13). In collaborazione con G.E. Hale, Ritchey costruì i più grandi riflettori dell'epoca.

Nel frattempo era nata la fotografia e Ritchey capì che occorreva costruire dei telescopi molto "rapidi" per poter fotografare i deboli oggetti celesti. Nel giro di 40 anni si costruirono telescopi riflettori con rapporto focale (f/no) sempre più piccoli (da 9.2 a 3.9). Il telescopio di Ritchey ha tutte le caratteristiche dei telescopi moderni:

- 1) specchio primario in vetro argentato;
- 2) primario rapido ($f/3.9$) adatto alla fotografia nel fuoco newtoniano;
- 3) un fuoco Cassegrain per la spettroscopia con spettrografo fisso;
- 4) un tubo aperto per permettere l'areazione;
- 5) una montatura equatoriale (tedesca).

Incoraggiati dai risultati ottenuti, soprattutto nel ridurre l'aberrazione di coma, Hale e Ritchey iniziarono a costruire il riflettore di 1.52 m di Mt. Wilson (Fig. I.14). Gli studi eseguiti per la realizzazione di questo telescopio rimangono nella storia della tecnologia. La sua tecnica di asferizzazione dello specchio primario prevede la rimozione di materiale dal centro dello specchio invece che dai bordi (come faceva Lord Rosse). Egli usò poi la tecnica di Foucault detta knife-edge (bordo della lama) per testare la qualità ottica delle superfici degli specchi.

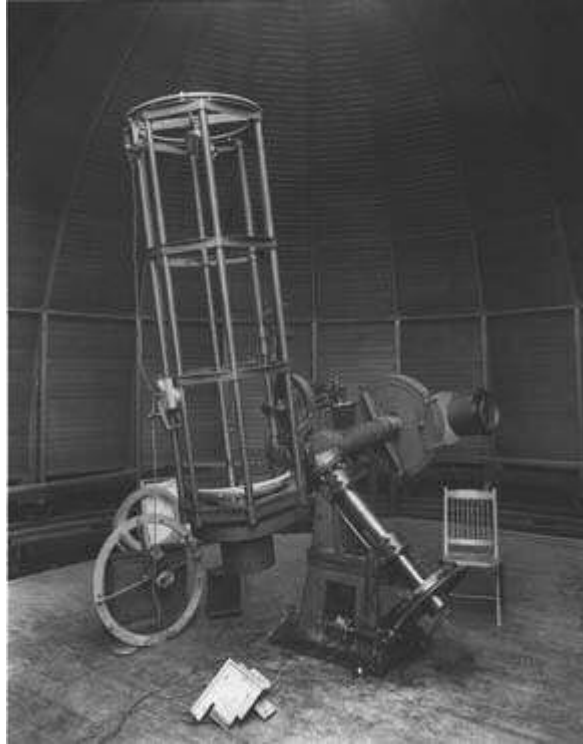


Fig. I.13. Il riflettore da 60 cm di Ritchey a Yerkes (1901).

Questa tecnica, nata nel 1856, è stata utilizzata da tutti i costruttori di lenti e di specchi per oltre cent'anni. Solo recentemente è stata sostituita da una tecnica interferometrica.

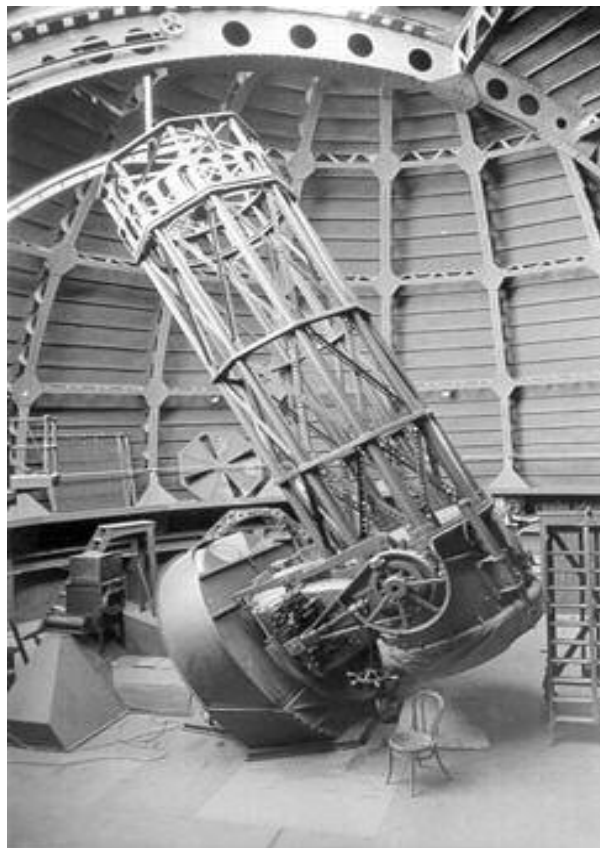


Fig. I.14. Il riflettore da 60" di Mt. Wilson del 1908.

Il riflettore da 60" fu anche il primo ad offrire un fuoco Coudé con una focale da circa 45 m. Notevole cura fu anche posta nel cercare di mantenere il telescopio ad una temperatura costante. Questo riflettore era superiore come prestazioni al grande rifrattore da 40" anche nell'osservazione dei pianeti e rappresenta tutt'oggi una tappa fondamentale nella storia della costruzione dei grandi telescopi.

Negli stessi anni Hale ordinò la lavorazione di un altro specchio di 100" (2.54 m). Il telescopio, che offre i fuochi newtoniano (f/5.1), Cassegrain (f/16) e Coudé (f/30), ebbe la sua prima luce nel 1917. Purtroppo, data l'inesperienza sull'inerzia termica del vetro di 4.5 ton., la qualità ottica non fu mai all'altezza di quella del 60".

A dispetto di ciò, questi due telescopi rivoluzionarono l'astrofisica e la cosmologia. Un esempio è la scoperta delle cefeidi in M31 ad opera di Hubble e Humason, che permise di comprendere la natura extragalattica delle galassie, la cui natura nebulosa rendeva incerta e dibattuta l'appartenenza alla Via Lattea. La legge di espansione dell'universo di Hubble del 1929 è un altro esempio.

Seguì un periodo di consolidamento, durante il quale vennero costruiti alcuni grandi telescopi, come il riflettore Dunlap da 1.88 m e quello di McDonald di 2.08 m. L'unico significativo progresso fu quello di usare del vetro Pirex a basso coefficiente di espansione termica.

Un'altra importante innovazione ottenuta da Ritchey, in collaborazione con il francese Chrétien nel 1927, fu la creazione del telescopio che porta ancora oggi il loro nome (RC), con due specchi iperbolici per evitare l'aberrazione di coma fuori asse. Questa innovazione non fu completamente capita se non molto più tardi.

Nel frattempo Hale iniziò a costruire quello che per molti anni è stato il telescopio più grande del mondo: il 5m di Mnt. Palomar (Fig. I.15).



Fig. I.15. Il riflettore di 200" (5 m) di Mnt. Palomar (1948).

Dopo numerosi studi e tentativi per produrre uno specchio di queste dimensioni, si riuscì a fabbricare un "blank" di sole 20 ton, con uno spessore di soli 12 cm.

Un altro importante progresso di quegli anni è stato quello di riuscire ad alluminare gli specchi attraverso l'evaporazione dell'alluminio in una campana a vuoto. Questo consentì una maggiore sensibilità nell'ultravioletto e una più robusta protezione verso l'ossidazione e conseguente opacizzazione.

Per avere un'idea della precisione che ci vuole nella lavorazione delle superficie riflettenti dei telescopi, è interessante sapere che lo specchio parabolico di 5 metri del telescopio Hale di Monte Palomar in California (inaugurato nel 1948) è stato ottenuto a partire da uno sferico di 34 m di curvatura dopo molti anni di rifinitura, visto che la differenza tra superficie sferica e parabolica era dell'ordine del decimo di millimetro e la precisione richiesta inferiore al decimillesimo di millimetro!

La costruzione di questo strumento portò anche altre migliorie, non solo nella fattura degli specchi, ma anche nella costruzione di cupole apposite per ospitare i telescopi.

Siamo così giunti ai telescopi del primo dopoguerra. Come spesso accade, dopo un periodo di grande progresso seguì un periodo di consolidamento e di analisi. Uno dei progetti più ambiziosi di questo periodo è rappresentato dal telescopio di 6m Sovietico nelle montagne del Caucaso. Il disegno ottico del telescopio risale a Maksutov nel 1952, che propose un 6m di apertura con rapporto focale $f/4$. Sebbene Maksutov propendesse per uno specchio completamente metallico di alluminio, acciaio inossidabile e berillio, si decise infine per uno specchio di vetro a basso coefficiente di espansione simile al Pirex. Il problema fu che il volume di vetro era almeno tre volte quella del Palomar e pesava 42.7 ton. I test di Hartmann e quelli interferometrici davano una concentrazione di energia del 62% entro 0.5 arcsec e del 91% entro 1 arcsec. Sebbene la qualità ottica fosse buona, l'inerzia termica era enorme. Unendo a questo problema quello di un cattivo condizionamento della cupola e il cattivo seeing del sito, si può dire che questo telescopio non abbia mai potuto lavorare nelle migliori condizioni. Le migliori immagini stellari hanno generalmente una FWHM di 1.5 arcsec. Un'importante innovazione fu invece quella di tornare alla montatura altazimutale che crea meno problemi di stabilità, anche se è necessario un controllo maggiore del tracking (l'inseguimento degli oggetti per effetto della rotazione terrestre).

Successivamente assistiamo alla costruzione di telescopi di minor diametro con configurazione ottica RC (o quasi RC), e soprattutto con specchi a bassissimo coefficiente di espansione quali il telescopio di 4m di Kitt Peak, l'Anglo-Australiano di 3.9 m (AAT), il 4m di Cerro Tololo, il 3.6m dell'ESO, e il 3.6m del CFHT.

Siamo quindi entrati in piena epoca moderna. In questi anni il più grande balzo in avanti è rappresentato dall'abbandono delle lastre fotografiche per i CCD (Charge Coupled Device), che hanno fatto crescere l'efficienza in modo impressionante. Si pensi che una lastra ottenuta dal 5m di Monte Palomar non è molto diversa da un'immagine CCD ottenuta da un telescopio di 50 cm.

La scelta dei siti astronomici è stato un altro importante progresso; per la prima volta si capisce la necessità di avere un buon seeing e un cielo notturno non disturbato da luci (come ad esempio nel deserto del Cile, Fig. I.16).

Oltre ai telescopi classici, anche un gran numero di telescopi Schmidt è stato costruito in questo periodo. Questo telescopio (inventato da Bernard Schmidt nel 1930) ha uno specchio sferico e una lastra correttiva posta nel centro di curvatura dello specchio che riduce l'aberrazione sferica. Essendo le aberrazioni fuori asse eliminate dall'introduzione del diaframma nel centro di curvatura, il telescopio consente di effettuare fotografie di vaste aree di cielo (fino a 6 gradi). Tra i più grandi esistenti citiamo il telescopio da 1.22 m (larghezza della lastra correttiva) di Mnt. Palomar, quello da 1m di Bjuran, e quello di La Silla. Molti di questi telescopi non sono più in uso oggi essendo stata abbandonata la lastra fotografica. Alcuni sono ancora in uso, come ad esempio il 67/92 di Asiago (Cima Ekar), grazie all'adattamento di una camera CCD realizzata in modo da consentire un campo corretto da aberrazioni di circa 30 arcmin.



Fig. I. 16. Il sito astronomico di La Silla in Cile.



Fig. I. 17. Il telescopio NTT di La Silla (1989).

Per quanto riguarda i grandi telescopi possiamo dire che negli ultimi vent'anni siamo entrati nell'era dell'ottica attiva ed adattiva. Il primo telescopio di questo tipo è stato il telescopio NTT di La Silla (Fig. I. 17).

Il telescopio NTT è un altazimutale posto in una cupola particolare che consente a tutto l'edificio di ruotare con il telescopio medesimo. Il telescopio lavora con due fuochi Nasmyth che possono essere anche usati simultaneamente. Lo specchio primario è controllato attivamente da un sistema di pistoni azionati da un computer che regolano la forma dello specchio in modo opportuno. La massa del primario è molto ridotta, per consentire ai pistoni di poter deformare la superficie. Un sistema di aria condizionata consente di avere sempre le migliori condizioni di seeing, e un sistema idraulico mantiene in temperatura la meccanica in modo da impedire l'insorgere di gradienti termici (soprattutto del riscaldamento diurno). Tutto è studiato per ottenere le migliori condizioni di seeing. Occorre ricordare però che stiamo parlando di ottica attiva e non adattiva: i difetti e le deformazioni dello specchio vengono corrette, ma non i problemi di turbolenza atmosferica. Con questi accorgimenti l'80% dell'energia cade in 0.15 arcsec.

Per terminare questa nostra carrellata sulla storia del telescopio occorre infine menzionare due importanti progetti che hanno dato un enorme impulso alla ricerca tecnologica in questo settore negli ultimi anni: il telescopio spaziale americano HST (Fig. I.18) ed il complesso di telescopi europeo VLT.



Fig. I. 18. Il telescopio spaziale Hubble.

Il telescopio spaziale Hubble nasce negli anni 70 e viene lanciato in orbita nel 1990. Il telescopio ha un diametro di 2.4 m, orbita a 600 km dalla Terra e compie un giro attorno ad essa ogni 97 min. Ogni giorno vengono archiviati da 3 a 5 Gby di dati.

Essendo al di fuori dell'atmosfera le immagini fornite da Hubble non sono affette dal problema del seeing e la qualità ottica dipende esclusivamente dalle aberrazioni. Dopo un primo sfortunato problema di aberrazione sferica del primario, oggi risolto, Hubble ha cominciato a fornire dati che hanno letteralmente rivoluzionato l'astrofisica di fine secolo.

Per quanto riguarda i telescopi terrestri, il più grande progetto degli ultimi anni è certamente la costruzione del complesso di telescopi del VLT. Si tratta di 4 telescopi da 8 m ciascuno (vedi Fig. I. 19) che possono lavorare indipendentemente o insieme, o in modo interferometrico.

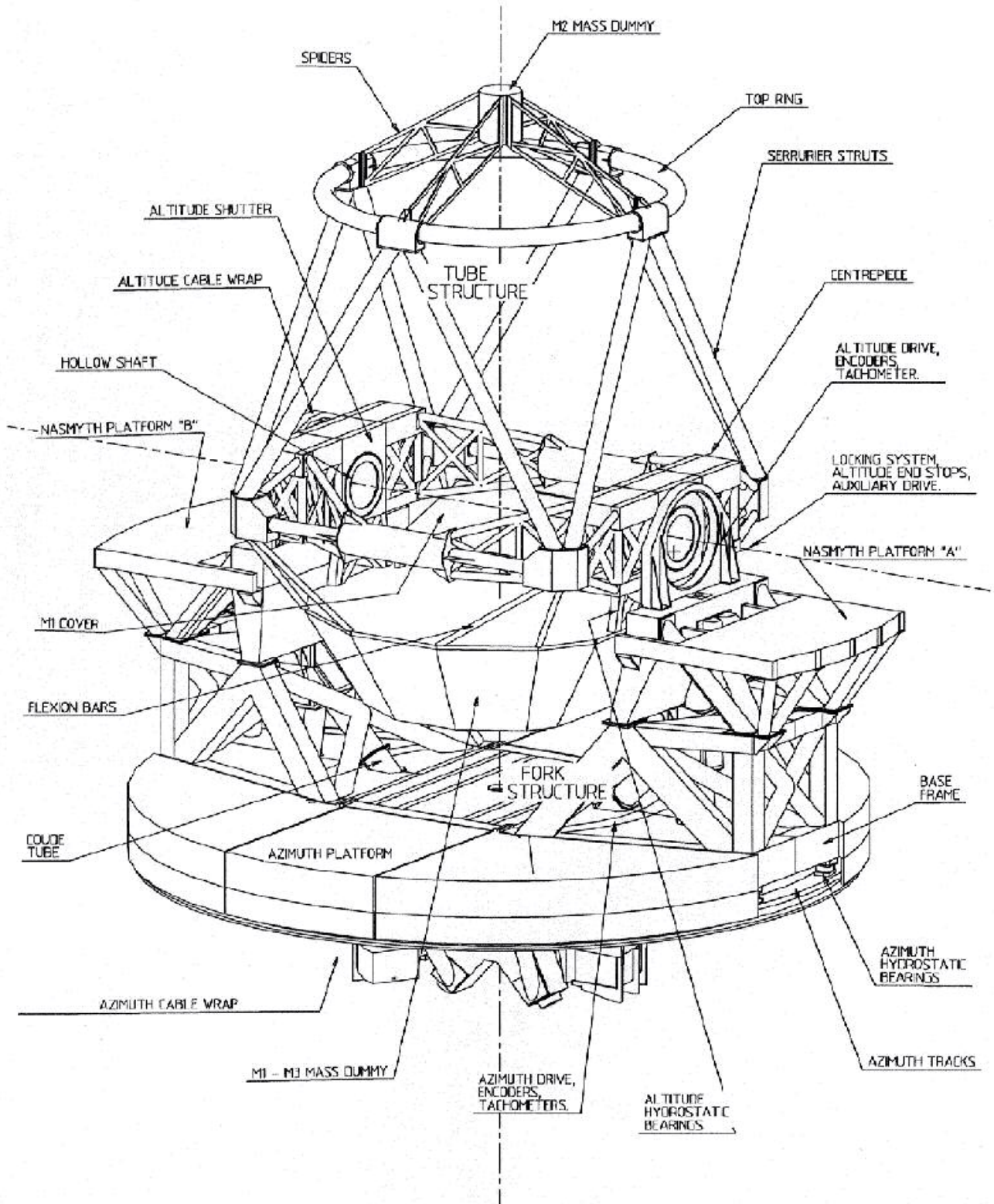


Fig. I. 19. Il telescopio VLT-1 (Monte Paranal, Cile).

I singoli telescopi sono del tipo RC. Essi possono operare sia al fuoco Cassegrain, che a quello Nasmyth e Coudé. Cambiando configurazione la curvatura di M1 è aggiustata via software (ottica adattiva) ed il secondario viene rifocato. La qualità delle immagini VLT è impressionante grazie anche al sistema di ottica adattiva: si possono ottenere immagini “diffraction limited” nel vicino infrarosso anche quando il seeing è di circa 0.5-1.0 arcsec. Si sono cioè raggiunte prestazioni molto vicine a quelle di un telescopio posto nello spazio.

Per comprendere qualitativamente come funziona la correzione per ottica adattiva (OA) occorre dire che per effetto della turbolenza atmosferica un fronte d'onda piano che attraversa l'atmosfera terrestre e raggiunge l'apertura di un grande telescopio accumula un ritardo di fase di pochi micron. Questi ritardi di fase devono essere corretti a circa 1/50 di micron ogni millisecondo circa. Un altro problema è quello che, per piccoli tempi di integrazione, il campo di vista entro cui le distorsioni del fronte d'onda sono correlate (l'angolo isoplanatico), è molto piccolo.

Un piccolo specchio deformabile è posto dietro il fuoco del telescopio presso l'immagine della pupilla. Un certo numero di attuatori piezoelettrici regolati da un computer permette di seguire e di correggere le deformazioni del fronte d'onda. Generalmente l'OA lavora nel vicino infrarosso, dove è più facile seguire le trasformazioni del fronte d'onda. Per ovviare alle limitazioni imposte dal piccolo angolo isoplanatico si è sviluppata la tecnica di produrre delle stelle laser artificiali che fungono da stella di guida e di riferimento. Un laser viene focalizzato ad un'altezza di 90 km (nell'alta mesosfera) o a circa 20-30 km (bassa stratosfera) dove si trovano degli atomi di sodio che “scatterano” e diffondono la luce del laser.

La ricerca in questo settore è tutt'oggi molto attiva. Per il futuro prossimo sono già in cantiere molti progetti che avranno certamente un grande impatto sulla scienza astronomica. Assai presto si potranno utilizzare gli strumenti interferometrici del VLTI, che consentiranno di osservare nel vicino infrarosso e nel visibile ad una risoluzione dell'ordine del millisecondo d'arco (le prime frange prodotte dal VLTI sono del 2001).

Per quanto riguarda i telescopi terrestri menzioniamo il grande progetto del telescopio da 100m di diametro che è attualmente allo studio, mentre si avvicina a grandi passi l'era dell'NGST, il nuovo telescopio spaziale da 8m di diametro.

Siamo dunque in un momento d'oro per l'astrofisica. Le osservazioni da Terra e dallo spazio (anche in bande diverse dal visuale) hanno aperto nuove porte alla ricerca del tutto insospettite fino ad oggi. Ci apprestiamo dunque, noi astronomi, a vivere degli anni veramente entusiasmanti.