

osservatorio astronomico Edificio che ospita strumentazione ottica, elettronica o radio-elettronica destinata all'osservazione e allo studio dei corpi celesti. In Italia la sede di un osservatorio astronomico, con riferimento ad una cupola, ad un tetto apribile od anche ad una finestra che consentisse osservazione astronomica, è stata a lungo indicata come → specola. Dalla seconda metà dell'Ottocento il nome è d'uso comune anche per edifici destinati ad osservazioni e studi non astronomici, come gli osservatori sismologici, geodetici, meteorologici, ecc. L'osservatorio astronomico, tranne che si tratti di strumenti privati, dipende sempre da un organismo di ricerca scientifica (professionale o amatoriale), ed è composto di vari caseggiati spesso distinti: edificio con la cupola, uffici, laboratori, locali per l'elaborazione dei dati, ... Gli osservatori destinati all'indagine delle radiosorgenti (radiotelescopi), date le dimensioni dell'antenna, sono privi in genere di copertura. Diversa struttura ancora, in relazione alla funzione chiamata a svolgere, presentano gli edifici che ospitano particolari strumenti come quelli dei passaggi ove la classica cupola emisferica tipica degli osservatori operanti in ottico è sostituita da una *casetta* in postazione fissa che presenta un solo lato apribile in direzione Sud, per determinare il momento del passaggio dell'oggetto; e gli osservatori solari nei quali l'eliostato e lo specchio sferico (non parabolico) sono racchiusi in una piccola cupola a diverse decine di metri d'altezza dal suolo e che operando durante il giorno non presentano i problemi tipici degli osservatori operativi di notte; in questi inoltre il fascio luminoso è condotto attraverso una tubatura verso il piano focale.

Le singole specifiche componenti di un osservatorio astronomico, secondo la particolare finalità, sono discusse ai relativi lemmi: → telescopio, montatura, radiotelescopio, eliostato, ...

- *La nascita dell'osservatorio moderno*
- *Parametri di struttura di un osservatorio*
 - ▶ *Sostentamento del telescopio*
 - ▶ *Comfort e ambiente climatico*
 - ▶ *La cupola*

■ *La nascita dell'osservatorio moderno.* Gli unici strumenti d'osservazione adottati prima dell'invenzione del telescopio furono quelli di cui è descrizione ai lemmi relativi, derivanti tutti da un medesimo capostipite, di cui non abbiamo il nome, costituito nella versione più semplice da due assicelle di legno incernierate ad una delle estremità, apribili della misura richiesta, che permettevano di misurare il valore dell'angolo al vertice; in sostanza un compasso con goniometro incorporato. Lo strumento usato orizzontalmente permetteva di misurare la distanza angolare fra due punti nel cielo, verticalmente, con un lato parallelo all'orizzonte, dava l'altezza dell'astro. Lo strumento originario conobbe numerose varianti come la → balestriglia, il bastone di Giacobbe, il radio latino, ... sino a raggiungere nel quadrante murale uno delle più notevoli evoluzioni fra gli strumenti di misura.

Dopo l'invenzione del cannocchiale le osservazioni astronomiche sino alla fine del Seicento si svolsero all'aperto, ed un primo riparo si ebbe soltanto quando vennero costruiti quadranti murali di notevoli dimensioni che esigevano uno stazionamento fisso; anche in questo caso tuttavia non si trattava mai di edifici costruiti *ad hoc* (ad eccezione dell'Uranienborg di Thyco), bensì di strutture preesistenti, torri o ultimi piani di università adattati al bisogno. Copernico stesso svolse le sue osservazioni all'aperto all'ultimo piano della sua abitazione e dal suo studio, e soltanto negli ultimi anni di vita G. Galilei osservò da una terrazza coperta. Quello che per quasi cent'anni dall'invenzione del telescopio mancò fu la consapevolezza dell'indispensabilità di affiancare

al nuovo strumento i progressi che si erano ottenuti nel campo della meccanica di precisione, la cui necessità applicativa all'astronomia Tycho aveva documentato sia con l'*Astronomiae instauratae mechanica* del 1598 sia con la costruzione dei suoi strumenti, e ci si limitò ancora, forse per tradizione, all'osservazione visuale e al disegno planetario, senza prendere nota delle distanze angolari. Quando le componenti ottiche raggiunsero un notevole (per i tempi) diametro d'apertura e gli strumenti che permettevano osservazioni dettagliate crebbero di conseguenza in dimensioni ed in peso, a motivo della conseguente intrasportabilità la costruzione di un riparo stabile divenne un rilevante fattore per l'osservazione. Abbandonata la montatura altazimutale in favore di quella equatoriale, s'iniziarono a costruire attorno all'asse orario e di declinazione i relativi cerchi, si applicò a questi un nonio e le prime misure ebbero inizio.

Il primo osservatorio stabilmente costruito secondo criteri scientifici fu quello di → Dorpat, dotato di una cupola girevole secondo una soluzione poi adottata con modifiche da tutti gli osservatori astronomici: le aperture erano però ancora a finestra. L'osservatorio fu pioniere nello sfruttare due principi che vennero applicati in seguito: a) la sopraelevazione dello strumento rispetto al suolo per eliminare il più possibile dense masse d'aria oltreché per una maggiore visibilità all'orizzonte; b) l'irrigidimento con strutture portanti del piano sui cui poggia lo strumento per una maggiore stabilità e per attutire le vibrazioni durante l'osservazione: immagini al lemma citato.

■ *Parametri di struttura di un osservatorio.* Le codifiche da rispettare nell'impostazione di un osservatorio astronomico sono varie, ed attengono tanto all'equazione personale standardizzata di chi deve operare in cupola muovendosi liberamente, sia a dati scientifici e tecnici di varia natura.

Esistono però parametri generali da rispettare quali la qualità del cielo, che riguarda tanto il seeing quanto la distanza da sorgenti di inquinamento luminoso, quanto ancora le notti serene a disposizione; se si sceglie di dedicarsi eventualmente alla sola osservazione planetaria la presenza di sorgenti luminose anche estese non costituisce un problema rilevante, mentre diventa un elemento ostativo nel caso di fotometria di oggetti deboli.

S'intende che queste condizioni ottimali possono essere rispettate *in toto* soltanto dagli osservatori professionali che hanno possibilità di trasferire le sedi in luoghi eccellenti come le Canarie o l'altopiano de La Silla; a livello amatoriale, essendo l'attività astronomica un ritaglio di tempo fra gli affari quotidiani, l'osservatorio è naturalmente costruito, compatibilmente con i parametri citati come essenziali, il più vicino a casa perché deve essere facilmente controllabile: pochi luoghi come questo sono oggetto di atti vandalici. Non è raro del resto il caso di associazioni amatoriali che in condizioni sfavorevoli svolgano con un 400 mm attività che strumenti di assai maggior diametro di organismi professionali non compiono affatto, per non nominare quelli che sono deprecabilmente inoperativi.

▶ *Sostentamento del telescopio.* Il piano su cui il telescopio, o direttamente o tramite un sostegno di una certa altezza, è posizionato, esige una solida struttura in cemento armato, meglio se costruita applicando la tecnica del cemento vibrato; deve essere di una maggiore superficie rispetto alla base della montatura, progettato in relazione al peso da sostenere, e – soprattutto – isolato dal piano di calpestio che deve trovarsi rialzato rispetto a questo almeno di una ventina di centimetri e possibilmente realizzato in legno. I movimenti di uno o più eventuali operatori in cupola si traducono infatti in vibrazioni trasmesse allo strumento, e se questo è impegnato in riprese a lunga posa le immagini sono degradate.

È questo il supporto di cui si è discusso *sub* → montatura.

Sulle modalità di trasmissione del calore

La trasmissione del calore fra due corpi è studiata dalla termocinetica, una branca della fisica che si occupa dei fenomeni termici con riguardo alla velocità con cui viene scambiato il calore. In ossequio a due principi della termodinamica si verifica che: a) il corpo a maggiore temperatura cede calore a quello a minore temperatura; b) il calore ceduto dal corpo a a maggiore temperatura è assorbito per intero da quello a minore temperatura.

Lo scambio di calore può verificarsi secondo tre modalità:

- *Per conduzione.* Quando due corpi entrano in contatto le loro molecole, come suggerisce il nome, iniziano a condurre, e quelle del corpo a maggiore energia termica iniziano a trasferire calore verso quelle del corpo a minore temperatura ed energia finché non viene raggiunto un equilibrio termico. Il trasferimento di calore è *zonale*, non è cioè necessario che i corpi siano in contatto fisico fra di loro, potendosi anche trovarsi l'uno nei pressi dell'altro.

Se si considera una spessa barra di metallo di una data lunghezza, ad una delle cui estremità sia applicata con una fiamma una notevole sorgente di calore mentre l'altra estremità sia tenuta a temperatura ambientale, trascorso un tempo t , a ragione dello scambio di calore non si presenteranno più variazioni di temperatura nel tempo, e lo stato sarà stazionario. Tuttavia, poiché continua il disequilibrio termico, non cesserà il flusso di calore direttamente proporzionale alla differenza di temperatura fra i due estremi della barra e la sua sezione, e chiamando T_1 la parte più calda, T_2 quella a temperatura ambiente, ΔQ la quantità di calore trasferita nel tempo Δt inversamente proporzionale alla lunghezza l della barra, si avrà:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k \frac{T_1 - T_2}{l}$$

dove k è un fattore di proporzionalità in funzione delle caratteristiche del materiale chiamato *conducibilità termica*. $\frac{T_1 - T_2}{l}$ rappresenta il gradiente medio di temperatura, ossia la caduta media di temperatura fra le due estremità della barra.

- *Per convezione.* Processo tipico di fluidi liquidi, gas, aria e acqua. Se il fluido entra in contatto con un corpo a temperatura elevata, in prossimità del corpo si verifica che il fluido freddo scende instaurando il processo; il calore si sposta quindi dal basso verso l'alto.
- *Per irraggiamento.* Il corpo caldo sprigiona radiazioni (calore) assorbite dal corpo più freddo, come avviene fra il Sole e la Terra.

► *Comfort e ambiente climatico.* La capacità di accogliere quanti debbono operare è forse il primo parametro da rispettare: una cupola di 3 m di diametro interno che ospiti un newtoniano con obiettivo da 300 mm a lunga focale su montatura tedesca è già inabitabile, e se per lo stesso diametro dell'obiettivo si ha un rifrattore, le dimensioni della cupola raddoppiano istantaneamente. Il comfort non si risolve infatti nella sola gestione dello spazio, ma nel considerare questo in funzione della strumentazione, della focale del telescopio, della sua montatura, dell'apparecchiatura meccanica ed elettronica usata; se lo strumento è dedicato esclusivamente all'osservazione visuale il comfort deve essere del massimo grado, ed anche in caso di un telescopio completamente automatizzato e controllato in remoto, la possibilità della presenza di un operatore va considerata per evitare che errori di programmazione o malfunzionamenti temporanei si traducano in danni gravi, come l'apertura della cupola quando piove o nevicata.

Un minimo di due locali contigui, uno dedicato allo strumento, l'altro all'elaborazione dei dati, costituisce il requisito minimo, considerando che quest'ultimo locale deve essere altrettanto confortevole, accogliere apparati elettronici ed anche

– quantomeno – un angolo per l'elaborazione dei dati, una piccola biblioteca e un archivio.

Poiché il telescopio opera all'interno di un riparo, le condizioni climatiche di questo devono essere il più possibile simili a quelle esterne; escursioni termiche di qualche grado possono già produrre effetti negativi nella ripresa di immagini; in sostanza il mutare delle condizioni climatiche incide profondamente sulle caratteristiche ottiche e meccaniche del telescopio e della strumentazione ausiliaria: sui non più in uso fotomoltiplicatori erano addirittura nocive. Le conseguenze di questi effetti sono ben conosciute, ma data la loro estrema tecnicità, si rinvia per approfondimenti ai testi che ne trattano.

Alcune precauzioni sono basilari. L'interno della cupola deve essere adeguatamente coibentato per evitare che in estate l'osservatorio, specie se di piccole dimensioni e costruito in lamiera, tenda ad assumere le caratteristiche di una fornace: il caldo è più dannoso del freddo. Bocche di aerazione, meglio se dotate di ventole, dovrebbero essere previste in numero sufficiente per evitare il surriscaldamento e una dilatazione eccessiva dei materiali; una batteria da 40 A/h ricaricata periodicamente da due piccoli pannelli solari assolve egregiamente al compito energetico. La situazione ideale sarebbe di poter disporre di termometri elettronici che regolino la potenza delle ventole diaframmando le aperture a seconda del calore creatosi all'interno della cupola; kit elettronici del genere si trovano a basso prezzo e la loro realizzazione è alla portata di chiunque.

Se questi sono gli effetti del caldo, altri sono gli effetti che un alto tasso di umidità può produrre. Spesso la tendenza è a sigillare ogni fessura per evitare, oltre l'acqua, l'ingresso di piccoli animali, ma ad impedire visite indesiderate sono sufficienti reti metalliche a maglia fitta poste adiacenti alle bocche d'aerazione. Può capitare (a chi scrive è successo) di recarsi in osservatorio in una di queste serate ad alto tasso d'umidità e veder letteralmente tutto bagnato, muri, porte, finestre, telescopio, come se piovesse da dentro mentre fuori era sereno perché l'osservatorio era stato reso privo di correnti d'aria appunto per sigillare tutti gli ingressi. La presenza di ventilatori riduce il problema, annullandolo se sono presenti deumidificatori di qualità, attivi anche solo per qualche ora al giorno.

Come ultima precauzione è buona cosa prendere periodicamente nota, nei vari mesi dell'anno a intervalli periodici, delle temperature interne, esterne e del tasso di umidità dell'aria, e volendo anche della velocità del vento. Queste tabelle, come si vedrà, sono utilissime per una pronta messa in stazione del telescopio in relazione ai suoi compiti.

- *La temperatura.* La temperatura muta di diversi gradi celsius ogni notte secondo parametri che variano dalla stagione a particolari condizioni ambientali, e il mutamento dal tramonto all'alba può raggiungere e superare i 12 °C in funzione della latitudine di operatività.

Tale escursione non produce effetti sulla collimazione dell'ottica, ma incide profondamente sulla focale: un tubo ottico in alluminio della lunghezza di 1 m, per escursione termica muta le sue dimensioni lineari di $\approx 240 \mu\text{m}$ ogni circa 10 °C di decrescita della temperatura. Per questo motivo è necessario predisporre tabelle di temperatura in modo che l'operatore in funzione di esse possa procedere agli aggiustamenti di focale (già registrati) che l'influenza sull'escursione termica richiede. Il problema riguarda specialmente i telescopi che presentano un tubo ottico a struttura metallica, in quanto in un tubo ottico realizzato in materiale plastico o addirittura in struttura al carbonio, il problema è quasi assente.

La necessità di disporre almeno di due stanze contigue cui si accennava, una per lo strumento ed una per l'operatore, sta tutta

▼ Ingombro in una cupola di una montatura tedesca a lunga focale



qui. L'operatore è una sorgente di calore che emana onde attorno a sé, e se il locale è piccolo e se l'operatore si serve di apparati elettronici fonti anch'essi di calore la dissipazione è più lenta, ed aumenta la turbolenza interna causata dalle ventole di raffreddamento degli strumenti. Queste onde di calore si traducono in una scintillazione continua delle immagini che si somma a quella propria presente attorno alla sorgente d'osservazione se l'aria è ancora calda.

L'effetto è particolarmente presente negli osservatori a cupola di piccole dimensioni che non in quelli a tetto scorrevole, ove è quasi del tutto assente; in questo caso però, se parte del tubo ottico fuoriesce notevolmente dall'alloggiamento, questo sarà attraversato, se si tratta di una struttura del tipo Serrurier (→ montatura), da correnti d'aria che producono turbolenze. Il fenomeno, nelle medesime condizioni (fuoriuscita del tubo ottico dalla cupola), sarà presente anche nel caso del tubo chiuso, catadiottrico o rifrattore, perché l'aria in circolazione davanti all'obiettivo o alla lastra correttrice produrrà turbolenza con conseguente deterioramento della qualità delle immagini. Il motivo per cui i telescopi vengono ospitati in cupole obbedienti a determinati requisiti risiede in sostanza nella necessità di evitare turbolenze e fonti di calore, rendendo le condizioni ambientali-climatiche della cupola il più possibile simili a quelle esterne, attivando le dovute procedure di climatizzazione qualche ora prima che l'osservazione abbia inizio. Senza ricorrere a sofisticati meccanismi ed elaborate procedure, un timer che attivi un'ora prima del tramonto alcuni ventilatori aerando la cupola pone già il telescopio in condizioni favorevoli di lavoro.

- **La rugiada.** La formazione di rugiada avviene quando il vapor acqueo contenuto nell'aria entra in contatto con superfici che perdono calore; se non si dispone di adeguati sensori collocati all'esterno che avvisino della formazione (all'interno della cupola, se il telescopio è ben riparato, il fenomeno si presenta con qualche ritardo) quando ce ne si accorge ormai è tardi: in brevi istanti l'obiettivo del rifrattore o lo lastra correttrice o lo specchio del riflettore si troveranno letteralmente bagnati. Anche in questo caso esistono kit elettronici disponibili a basso costo in

cui il sensore è composto da piastre argentate parallele fra loro: la presenza di vapor acqueo (rugiada) lungo le piste chiude il circuito e ne segnala la presenza; può essere utilmente utilizzato anche un sensore di pioggia.

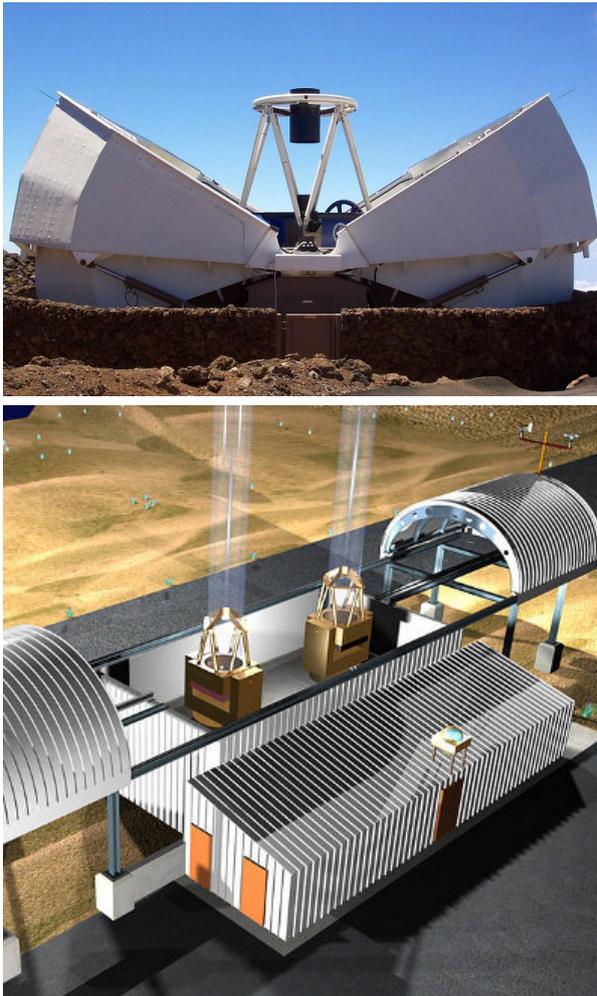
Le modalità del fenomeno sono riconducibili a meccanismi della termocinetica che si trovano sinteticamente descritti nel riquadro a fronte. Rinviano a quelli, ed integrando per la parte di competenza, nel caso di un telescopio in cupola, rispetto all'ambiente esterno, si ha: a) *trasferimento di calore per conduzione* ad opera soprattutto della strumentazione elettronica collegata al telescopio, della motorizzazione e della strumentazione ausiliaria connessa, come computer, stampanti, monitor, . . . b) *trasferimento di calore per convezione* quando telescopio ed ambiente circostante si trovano a temperature sfasate fra loro di diversi gradi celsius; c) *trasferimento di calore per irraggiamento* in funzione dalla radiazione emessa dal telescopio verso l'atmosfera circostante: un telescopio operante ad una temperatura ambientale di 10 °C guarda un cielo la cui temperatura media è circa -73 °C, irraggiando più calore di quanto possa riceverne e raggiungendo presto il punto di formazione della rugiada. Il fenomeno si verifica qualsiasi sia il materiale di cui il tubo ottico è costituito.

Il *punto di rugiada* è un fenomeno fisico il cui verificarsi è in diretta dipendenza del «kappa termico», cioè della caratteristica propria dei materiali di accumulare e cedere inerzie termiche calde o fredde. Il fenomeno è influenzato anche dall'umidità relativa dell'aria, dalla temperatura di questa, dalla temperatura superficiale dello strumento, dalla sua umidità intrinseca (residua ed eventuale).

Rimedi a queste situazioni, oltre a dotare l'osservatorio di adeguati sensori, non esistono. La formazione di rugiada, in diretta connessione con il tasso di umidità presente, può essere ritardata dotando il telescopio di un appropriato paraluce che in questo caso più che a proteggere dalle luci parassite serve a creare in prossimità dell'obiettivo un ambiente climatico più caldo che ritarda la formazione del fenomeno. La soluzione è comunque applicabile solo ai rifrattori ed alle camere Schmidt, non agli specchi dei riflettori. A livello amatoriale alcuni pongono tutt'intorno all'obiettivo una teoria di resistenze elettriche alimentate a basso voltaggio della potenza da 1/4 watt sino a 2 watt collegate in serie fra loro; altri ancora addirittura una cintura termoelettrica (*dew zapper* in inglese): secondo questi principi il calore generato paralizza la formazione della rugiada; si tratta naturalmente di soluzioni che alimentano istantaneamente, anche se in minima parte, proprio quelle onde termiche che si diceva sono assolutamente da evitare, e come tale adatte a telescopi trasportabili, non a quelli che hanno ambizione di ricerca scientifica. Questa tecnica è stata da taluni utilizzata anche sull'oculare per evitarne appannamento a ragione del calore prodotto dall'occhio.

► **La cupola.** Il parametro più rilevanti nella costruzione di una cupola è costituito dalle dimensioni del telescopio e della relativa montatura. Qualunque sia la configurazione geometrica spaziale della cupola, è chiaro che questa deve assolvere anzitutto alla condizione di porre lo strumento che ospita e protegge nelle condizioni di massima operatività, e quindi non solo le sue dimensioni ma altri parametri devono essere a questa funzionali. Rifrattori a lunga focale come quelli di Yerkes e di Meudon alloggiati su montature alla tedesca, le uniche idonee a gestirli, avevano necessità di cupole gigantesche con conseguente lievitazione del prezzo nella costruzione: l'immagine mostrata in questa pagina è esauriente circa l'ingombro imposto. Il centro dell'edificio che sostiene la cupola deve infatti coincidere con il centro dell'asse di declinazione strumentale della montatura,

- ▼ In alto cupola del telescopio Liverpool; in basso grafica 3D della sede dei telescopi Stella I e II, entrambi gli strumenti sono alle Canarie; dai siti ufficiali



e quindi la struttura portante occupa gran parte del lato Sud dell'edificio; nel caso di una montatura equatoriale alla tedesca o inglese fuori-asse occorre poi lasciare libertà di movimento non solo al telescopio ma anche ai contrappesi collocati all'estremità opposta del tubo ottico. Date le dimensioni di questi strumenti molti osservatori iniziarono a dotarsi di una piattaforma rialzabile di diametro di poco inferiore a quello dell'edificio di sostentamento della cupola in modo che durante lo spostamento del moto orario si potesse seguire l'oggetto senza stare su scale altissime. Fu questo, ad esempio, il caso dell'osservatorio di Vienna e tanti altri; del resto l'osservazione all'oculare era tutt'altro che tramontata.

Quanto alla geometria spaziale della cupola emisferica, iniziata con l'osservatorio di Parigi, essa è proseguita sino a quasi la fine del secolo scorso, e tutte le grandi cupole, compresa quella del telescopio russo di Zelunčukskaja da 6 m di diametro hanno seguito questa costruzione. Una diversa geometria costruttiva iniziò ad essere applicata sul finire degli anni settanta con il MMT, e da allora la nuova soluzione è stata applicata a tutti i telescopi dell'era moderna, come il TNG, il VLT, il LBT...

La nuova generazione di cupole non presenta più l'edificio come un elemento distinto dallo strumento, ma in molti casi è solida con esso, cioè ruota assieme ad esso applicando una configurazione costruttiva essenziale che salvaguarda comunque quella che è la caratteristica principale di una cupola, assicurare che la

circolazione d'aria all'interno sia il più possibile simile a quella esterna: in questo senso il telescopio di Zelunčukskaja è stato un precursore negli studi in materia, perché date le dimensioni della cupola si rischiavano sbalzi termici notevoli con pregiudizio delle immagini. La costruzione a cupola emisferica non è stata tuttavia abbandonata: grandi telescopi come il GranTeCan alle Canarie l'hanno recentemente adottata; essa è stata oggetto di studi all'inizio degli novanta ponendo nelle gallerie del vento modellini che hanno evidenziato le problematiche cui le cupole emisferiche vanno incontro quando vengono investite da correnti d'aria di varia angolazione ed intensità [2].

Esistono tuttavia diverse costruzioni recenti in configurazione cilindrica, poligonale, a tetto scorrevole, ... adottate per il notevole risparmio che offrono nei materiali, nella maggiore facilità costruttiva, nel tempo richiesto.

Notevole diffusione hanno avuto le cupole dette geodetiche, sviluppate negli ultimi decenni del secolo trascorso specie a livello amatoriale per la loro semplicità costruttiva ed in seguito adottate anche da osservatori professionali [3]. Questo tipo di cupola, adottato fra l'altro anche dal radiotelescopio submillimetrico del CalTech a Mauna Kea, presenta anch'essa una simmetria emisferica, ma non richiede, anche se di notevoli dimensioni, operazioni meccaniche particolarmente complesse. Al posto dei singoli spicchi che compongono la cupola emisferica di classica tradizione e che vanno lavorati secondo una geometria a triangolo sferico, tanto più laboriosa quanto più crescono le dimensioni, in questo caso si ha a che fare con una serie di figure appartenenti alla geometria del piano (i triangoli) che vengono poi assemblati fra loro secondo rapporti variabili in funzione del tipo di costruzione che si desidera ottenere. Un software di calcolo è disponibile in linea al sito di T. Landry [6] e consente di progettare le dimensioni dei singoli triangoli in relazione al diametro della struttura richiesto; sono presenti anche formule di calcolo. Le modalità di giunzione dei singoli triangoli possono essere le più varie, dall'imbullonatura, alla chiodatura, alla saldatura, al semplice incollaggio se il materiale di base è il legno ed è studiato solo per essere di supporto a strati di vetroresina interni ed esterni che irrigidiscano la struttura tenendola unita. In quest'ultimo caso si costruisce prima una cupola chiusa, quindi in prossimità dei punti dove va posizionato il portellone apribile (*infra*) si posizionano dei rinforzi strutturali e quindi si taglia la cupola nella parte interna di questi dalla base sino alla sommità per lasciare l'accesso strumentale dall'orizzonte allo zenith.

Uno dei requisiti della cupola è la sua solidità, cioè la resistenza al vento. Questo riguarda la cupola vera e propria, che dovendo



▲ Cupola geodetica amatoriale (M. Vos)

ruotare deve essere solidamente ancorata al binario che si svolge lungo la circonferenza superiore del cilindro-edificio, problema tanto più rilevante quanto aumentano le dimensioni della cupola e conseguentemente il suo peso. I venti inoltre, specie nel caso di una cupola emisferica, tendono ad assumere attorno ad essa una distribuzione a semi-isofote provocando turbolenze residuali interne che vanno assolutamente evitate: oltre una certa velocità dei venti non si svolgono comunque osservazioni.

Parte essenziale è il *portellone* apribile, che nelle cupole emisferiche è realizzato, di norma, sovrapponendo parzialmente alla struttura mobile due spicchi di emisfera che si aprono allontanandosi l'uno dall'altro dando visibilità allo strumento. Nelle moderne cupole rotanti assieme al telescopio, il risultato è raggiunto posizionando dinanzi allo strumento una sorta di saracinesca.

Quanto alle forme della costruzione, la pratica ed economica costruzione a tetto scorrevole su binari è stata recentemente sempre più adottata dagli osservatori professionali come si vede nell'immagine a fronte; essa è tuttavia adatta a climi secchi, ove sia presente un bassissimo tasso di umidità.

Riguardo invece alle dimensioni, sino a misure di 5-6 m di diametro, se trattasi di cupola emisferica o geodetica, può essere realizzata a livello amatoriale come pure è stato spesso fatto. In questo caso le organizzazioni amatoriali, quando applicano il *faida-te*, ricorrono ad una struttura mista composta di multistrato e vetroresina irrobustita con nervature in legno massello affogate anch'esse nella resina. I singoli spicchi della cupola preparati a parte vengono poi cuciti fra loro ed impermeabilizzati con vetroresina e coibentati. Ovviamente facendo ricorso al multistrato è necessario adoperare quello marino caratterizzato da un tipo di colla fra i vari strati particolarmente resistente all'umido, altrimenti, anche se impermeabilizzata, nel giro di due anni la cupola si *accascia* su se stessa.

Per assicurare al telescopio condizioni climatiche ambientali il più possibile simili a quelle esterne e per proteggere lo strumento dagli sbalzi termici, un ruolo fondamentale svolge la coibentazione che serve ad impedire che un calore eccessivo si trasmetta durante il giorno all'interno dell'osservatorio, ed a conservare durante l'osservazione le condizioni climatiche programmate secondo i parametri stabiliti.

La coibentazione viene ottenuta costruendo all'interno della cupola una parete distanziata dalla prima di diversi centimetri (decine nel caso delle grandi cupole), e ponendo fra queste due pareti materiali assorbenti, cioè scarsamente conducenti calore. Una cupola non coibentata non assolve le funzioni cui è in teoria destinata, ed è soggetta alle problematiche di calore, di umidità, cui sopra si è fatto cenno.

Un'ottima documentazione specifica è reperibile al sito dell'osservatorio di Brayebrook [13], e l'osservatorio di Tradate ha al proprio sito [1] una documentazione fotografica delle fasi di costruzione della cupola di quell'osservatorio; infine un riepilogo delle principali tematiche in materia è a questo sito [12].

- *La rotazione della cupola.* Il moto di una cupola, sferica o geodetica che sia, o dello scorrimento di un eventuale tetto a spiovente, è uno dei passaggi più difficili da risolvere dal punto di vista meccanico per gli ancoraggi richiesti nell'ottenere mobilità in relazione ad una stabilità di base. Alle pagine web citate esistono soluzioni che vanno esaminate in relazione alla manualità posseduta ed alla disponibilità finanziaria. Tralasciando i problemi connessi agli edifici che ruotano assieme allo strumento, ci si occuperà qui della rotazione della sola cupola. La soluzione del ruotismo a cremagliera può essere – generalmente – seguita soltanto dagli osservatori professionali per via della spesa che comporta. La soluzione più confacente, specie

▼ Diverse modalità di movimentazione della cupola: in alto trascinamento a cinghia, da M. Harrison; in basso trascinamento a frizione, da J. Patterson: la lettura della posizione della cupola è effettuata tramite codici a barre disposti lungo tutto l'anello di base [11]



se l'osservatorio inizia ad avere un certo diametro, è quella di seguire nella costruzione dell'anello di sostentamento della cupola la via della calandratura usando profilati in ferro della lunghezza necessaria a generare l'anello di base, curvati secondo la geometria studiata, sui quali vengono posizionati nella parte inferiore e superiore cuscinetti a sfera uniti a due a due (uno sopra e l'altro sotto) che assicurino stabilmente la cupola al cerchio di sostegno. La calandratura può essere evitata usando lamiera piatta di un millimetro di spessore che si adatta facilmente alla posizione di lavoro, e ponendone strati sovrapposti imbullonati fra loro e sfalsati di metà delle rispettive lunghezze sino ad ottenere un anello solido tanto come base di ancoraggio al cilindro superiore dell'edificio, quanto alla parte inferiore della cupola. Il tutto può essere rinforzato tramite punti di saldatura ottenendo l'identico risultato come se si calandrassero più segmenti di adeguato profilo e dello stesso spessore. In questo caso occorre fare attenzioni che la saldatura *non tiri* come si

dice in gerco, facendo perdere al cerchio la sua geometria.

A parte dunque il sistema d'ingranaggio a cremagliera scartato *a priori* per i motivi appena detti, per il moto si può ricorrere alternativamente al sistema di rulli a frizione, ponendo una ruota a contatto con il cerchio di sostentamento secondo la configurazione scelta, avendo sempre cura che le vibrazioni del moto non si trasmettano allo strumento. Un efficace esempio di questa modalità di trasmissione del moto è mostrata nell'immagine in basso nella pagina precedente. Alla stessa pagina (immagine in alto) è mostrato il sistema *simil-cremagliera* ideato da M. Harrison. L'autore ha svolto la parte interna di una cinghia dentata lungo la circonferenza della cupola facendo ingranare su questa una ruota dentata, ottenendo così, dato l'alto rapporto di riduzione, la possibilità di ruotare la cupola con un piccolo motore [5]; chiaramente il sistema è adatto a cupole di piccolo diametro e leggere. I rapporti di riduzione sono notevoli in entrambi i casi dato il minor diametro della ruota di trascinamento (conduttrice) rispetto a quello della cupola che funge da ruota condotta: sul valore dei rapporti di riduzione vale l'equazione

$$\tau = \frac{D}{d} \quad (1)$$

intendendo per D il diametro della puleggia condotta e per d il diametro di quella conduttrice: *vedi* lemma montatura.

La trasmissione del moto può essere realizzata anche ponendo attorno alla circonferenza interna della cupola una catena e facendo ingranare su di questa una ruota dentata. La difficoltà di reperire una catena di adeguata lunghezza si supera agevolmente ricorrendo a spezzoni di catene uniti fra loro da false maglie: bisognerà comunque avere cura che i denti della ruota conduttrice restino sempre all'interno della maglia.

In qualsiasi modalità avvenga la trasmissione del moto, è necessario sempre evitare di far utilizzo di motori in corrente alternata per le scintillazioni prodotte che possono negativamente influire sugli strumenti accessori come i CCD. Anche i motori in corrente continua è bene siano evitati; l'ideale sarebbe poter ricorrere a motori brushless (senza spazzole: → montatura *sub* «La motorizzazione»), ma motori passo-passo di adeguata potenza per una cupola di 3-4 m di diametro vanno bene dato l'alto rapporto di riduzione.

Quanto alla rotazione della cupola la naturale tendenza è a pensare istantaneamente che sia sufficiente sincronizzarla con il moto orario del telescopio per avere assicurata tramite il portellone apribile la visibilità della zona del cielo. Questa sincronizzazione può valere per le montature altazimutali, ma non per tutte le equatoriali, in specie per quella tedesca o inglese fuori asse (*vedi* lemma citato). In questi due tipi di montatura il tubo ottico non solo non coincide col centro di gravità strumentale come in altri tipi di montatura, ma è posizionato anche ad una certa distanza dall'asse orario, e questo fa sì che si determini uno sfasamento delle posizioni (cupola e strumento) che va di continuo aggiustato. In sostanza, variando di continuo col moto orario la posizione strumentale, varia con essa l'inclinazione del telescopio che guarda l'apertura della cupola in una posizione obliqua, facendo sì che le due posizioni talvolta non risultano sincronizzate. Entrano in gioco anche diversi parametri come la distanza polare del telescopio, le dimensioni della cupola, la lunghezza del tubo ottico,...

Queste tematiche sono ampiamente discusse in due articoli di C. Lord dal titolo *Synchronised Dome Rotation* [9] e *Dome Slit Synchronization* [8] e data la completezza della trattazione a quelle si rinvia.

Gli algoritmi presenti nei due articoli citati hanno permesso lo sviluppo di software dedicato come *DomeSync* di J. Oliver [10],

▼ Sistemi di apertura della cupola in realizzazioni amatoriali



ma soluzioni ancora più semplici possono essere adottate, ad esempio effettuando uno spostamento della cupola secondo avanzamenti temporizzati servendosi di un fotocellula o di un qualsiasi altro sensore solidale al telescopio che faccia progredire la rotazione della cupola di una decina di gradi ogni volta che la cella ricevente perde il segnale.

- *La turbolenza.* Per la discussione dei fenomeni legati alla turbolenza si fa rinvio al relativo lemma ed agli articoli citati in bibliografia: [7], [4].

- *L'apertura.* L'apertura è un altro elemento che in una cupola emisferica o geodetica presenta difficoltà meccaniche di realizzazione; in un osservatorio a tetto scorrevole o con entrambi i lati apribili come nell'immagine in alto a pagina 4 le difficoltà sono molto ridotte e si spostano comunque al sistema meccanico o idraulico che deve aprire i portelloni.

Senza ricorrere alle aperture con portelloni scorrevoli meccanicamente complesse in uso presso gli osservatori sino alla seconda metà del secolo scorso, del tipo di quella adottata nel telescopio Hale di monte Palomar (immagine a pagina ??), si possono con eguale efficienza applicare soluzioni del tipo di quelle mostrate nelle immagini in questa pagina.

La prima soluzione consiste nel dotare la cupola di un'apertura a saracinesca, simile a quella adottata per il più volte citato osservatorio di Zelunčuskaja, la seconda più semplicemente si risolve nello scomporre uno spicchio dell'emisfera in due parti: una di dimensioni maggiori con apertura verso il basso, e l'altra più piccola con apertura verso l'alto.

Il sistema meccanico per l'apertura del portellone a saracinesca è realizzato a catena con l'eventuale uso di contrappesi che ne agevolano l'apertura, mentre nel caso del portellone apribile verso il basso una semplice fune di 10 mm di diametro, eventualmente anch'essa con contrappeso terminale, è più che sufficiente. Sino a cupole di 6-7 m di diametro l'apertura può essere manuale non richiedendo sforzi eccessivi; oltre queste misure occorre pensare ad un sistema azionato da motori elettrici.

Bibliografia

- [1] ROBERTO CRIPPA, PAOLO OSTINELLI. "Fondazione osservatorio astronomico di Tradate "M13"". <http://www.foam13.it/>.
- [2] FRED F. FORBES, *et al.* "Telescope enclosure flow visualization". In: *SPIE*, vol. 1532, (1991), pp. 146 – 160.
- [3] JOE GARLITZ. "Detail plans for a geodesic dome observatory", 1997. <http://eoni.com/~garlitzj/geodome.htm>.
- [4] S. HAGELIN, E. MASCIARDI, *et al.* "Comparision of the atmosphere above the South Pole, Dome C and Dome A; first attempt". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 387, (2008), pp. 1499–1510. SAO/NASA Astrophysical Data System.
- [5] MIKE HARRISON. "Building the Observatory (subdirectory Construction)". <http://www.skybadger.net/equipment/observatory.shtml>.
- [6] TARA LANDRY. "Desert Domes: dome calculator and formulas", 2002. <http://www.desertdomes.com/index.html>.
- [7] F. LASCAUX, E. MASCIARDI, *et al.* "Mesoscale optical turbulence simulations at Dome C". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 398, (2009), pp. 1093–1104. SAO/NASA Astrophysical Data System.
- [8] CHRIS LORD. "Dome Slit Synchronization". Brayerbrook observatory, 2002. http://www.brayebrookobservatory.org/BrayObsWebSite/HOMEPAGE/PageMill_Resources/PUBLICATIONS/domeslit.pdf.
- [9] CHRIS LORD. "Synchronised Dome Rotation (Rate of dome rotation)". Brayerbrook observatory, 2002. http://www.brayebrookobservatory.org/BrayObsWebSite/HOMEPAGE/PageMill_Resources/PUBLICATIONS/dome_synchronisation.pdf.
- [10] JOHN OLIVER. "DomeSync". <http://www.astro.ufl.edu/~oliver/DomeSync/>.
- [11] JACK PATTERSON, *et al.* "Dome automation". = 2011.04.23.
- [12] AUTORI VARI. "Cupole". Associazione Astronomica Ettore Majorana. http://www.astronomiainumbria.org/_Cupole.htm.
- [13] AUTORI VARI. "Description of the design and construction of an all-metal fabricated observatory". Brayerbrook observatory. <http://www.brayebrookobservatory.org>.

