

IL SEEING. La turbolenza atmosferica e le immagini al telescopio.

(Prof. Angelo Meduri)

*Ambite il meglio,
aspettatevi il peggio.*
(Giulio Verne)

La qualità del seeing è un elemento importantissimo nell'osservazione e nella fotografia ad alta risoluzione, sia nel lavoro sul deep-sky (profondo cielo), dove la risoluzione sembrerebbe essere meno critica, ed è considerevolmente più influente di quanto non creda la maggior parte degli appassionati. Noi abbiamo la dimestichezza con l'aspetto teorico della figura di diffrazione di una stella molto ingrandita, come si dovrebbe vedere al telescopio. Sfortunatamente per quasi tutti, questa familiarità deriva più dalle osservazioni delle illustrazioni pubblicate che dall'osservazione diretta al telescopio. Oltre che per le ottiche scadenti, la causa principale di questo deterioramento d'immagine è la condizione dell'atmosfera, che noi chiamiamo seeing. Seeing è il termine usato per descrivere le distorsioni irregolari ed i moti delle immagini telescopiche causati dalle variazioni casuali di densità delle porzioni di atmosfera terrestre. L'importanza di queste due componenti (distorsione e movimento) è legata strettamente all'apertura del telescopio e alla dimensione o alla densità delle celle dell'agitazione atmosferica della Terra.

Appena la luce di una stella passa attraverso un'atmosfera che si muove con densità non uniforme, il piano iniziale di un'onda di luce viene distorto. La figura stellare di diffrazione osservata al telescopio in queste condizioni diventa confusa, perde contrasto e spesso è sottoposta a cambiamenti repentini nella struttura interna. In queste condizioni, l'immagine stessa, quantunque possa essere ben definita, si muoverà senza regole, saltando e rimbalzando casualmente molte volte. In condizioni pessime questi movimenti possono arrivare pure a 5 secondi d'arco in una data direzione. Mentre la distorsione dell'immagine è frequente nei telescopi di qualsiasi diametro ed aumenta con l'apertura in maniera direttamente proporzionale, il moto dell'immagine si osserverà soltanto con piccole aperture e diminuisce con l'aumentare delle dimensioni del telescopio.

Nello sforzo di comprendere la relazione tra dimensione del telescopio ed effetti associati al seeing, sarà utile una breve descrizione dell'aspetto della figura di diffrazione formata da aperture differenti in varie condizioni di seeing. Con telescopi piccoli (aperture di 6 pollici o minori) si possono

osservare spesso figure di diffrazione pressoché perfette. Appena le condizioni di visibilità peggiorano, gli anelli di diffrazione iniziano a pulsare, ruotare, perdere contrasto e possono confondersi con il disco centrale (il disco di Airy), diventando virtualmente invisibili. In condizioni estremamente sfavorevoli, l'immagine stellare può allargarsi e diventare nebulosa, senza alcuna struttura discernibile. In aggiunta, l'immagine data da un telescopio piccolo può avere un movimento accentuato con o senza distorsione della figura di diffrazione. In realtà, ogni tanto, la figura di diffrazione può essere virtualmente indistinguibile, oppure può essere quasi perfetta, anche se si muove disordinatamente in un cerchio dal diametro di 8-10 secondi d'arco! Con strumenti di apertura moderata (fino a circa 60 pollici) il disco di Airy e gli anelli non si vedono quasi mai. Quando il seeing è buono, l'immagine stellare apparirà come un disco amorfo con una concentrazione centrale del diametro di diversi decimi di secondo d'arco. Il seeing pessimo può espandere il disco amorfo fino a 10-20 secondi d'arco e, in occasioni rare, il disco può crescere massimo fino a 1 minuto d'arco di diametro. In queste occasioni il disco può pulsare spesso e, a volte, si può suddividere in numerose parti con cambiamenti rapidi che hanno luogo nella struttura interna. Utilizzando strumenti di grande apertura, il disco di diffrazione manifesta un moto interno minore, ma l'aspetto pulsante del disco di diffrazione diventa sempre più evidente con l'aumentare dell'apertura.

Per stimare gli effetti del seeing in base all'apertura del telescopio è necessario cercare un modello semplificato di turbolenza ottica efficace. Affinché la qualità dell'immagine non sia alterata, la luce stellare deve passare attraverso un'atmosfera stratificata in modo omogeneo (ad esempio quando la temperatura, la pressione e la densità dell'aria sono funzioni dipendenti solo dall'altezza sul suolo, almeno nella troposfera). Questa è infatti quella che i meteorologi chiamano "atmosfera standard", una situazione ideale ed artificiale. La turbolenza dell'atmosfera scompiglia la stratificazione uniforme; comunque, la turbolenza per essere otticamente efficace (ad esempio può modificare il fronte d'onda incidente) deve provocare principalmente una variazione di densità nella atmosfera. In pratica, si adotta generalmente un modello semplificato, dove le variazioni della densità atmosferica esistono sotto forma di celle sferiche con densità interna uniforme, che differisce da quella dell'aria circostante. Siccome queste variazioni di densità si trasformano in variazioni dell'indice di rifrazione dell'aria, si può capire facilmente che le celle agiscono come lenti, le quali possono sfocare la luce e deformare il fronte d'onda che le attraversa.

Se l'apertura del telescopio è maggiore della dimensione delle celle, soltanto una parte della luce che entra nel telescopio viene sfocata. Perciò, mentre parte della luce forma un'immagine tranquilla, a questa si sovrappone un'immagine sfocata, che produce un'immagine integrata allargata, sbiadita e a basso contrasto.

Quando parecchie celle si introducono indebitamente nel fascio di luce, viene sfocata molta più luce, il che amplifica l'effetto ulteriormente. In realtà, la situazione è più complessa: le celle hanno praticamente dimensioni, forma e densità estremamente variabili. Quando la struttura della cella reale viene combinata con i moti rapidi del seeing, diventa abbastanza chiaro come si possono creare immagini fortemente allargate e pulsanti con il seeing pessimo in strumenti di grande apertura.

Quando l'apertura del telescopio è più piccola della dimensione delle celle, le celle si comportano come tanti prismi anziché come lenti. Come un prisma, la cella tende a deflettere l'intero fascio che entra nel telescopio, perciò l'immagine si sposta abbastanza qua e là invece di essere sfocata. Numerose celle con moti rapidi producono immagini relativamente nitide, che si muovono senza regole, osservate comunemente con piccole aperture. In modo simile, si osservano gli effetti combinati del movimento dell'immagine e dello sfocamento, allorché la dimensione media delle celle uguaglia l'apertura del telescopio.

Questo modello aggiuntivo del seeing per spiegare gli effetti differenti osservati utilizzando strumenti con aperture diverse dà inoltre qualche indicazione sulla dimensione delle strutture della turbolenza nell'atmosfera e fa conoscere un po' meglio il meccanismo del deterioramento del seeing con l'aumentare dell'angolo dallo zenit. Adottando questo modello e supponendo che sia un'approssimazione ragionevole della situazio-

ne reale, si può dedurre che la dimensione più grande otticamente efficace delle celle sia minore dell'apertura dei telescopi grandi, con apertura maggiore di 60 pollici, e similmente le celle più piccole devono essere prossime a circa 1 o 2 pollici di diametro, in modo da giustificare gli effetti del seeing sulle piccole aperture. Questo modello spiega altresì che appena si guarda attraverso una colonna d'aria sempre più lunga (ad esempio con l'aumentare dell'angolo dallo zenit) le celle con densità variabile in movimento casuale influiscono sul seeing in proporzione alla radice quadrata della lunghezza della massa d'aria totale che deve attraversare il fronte d'onda incidente.

La turbolenza atmosferica risultante dalla densità delle celle descritte in precedenza è causata soprattutto dal mescolamento di masse d'aria con temperature diverse. Le cause delle variazioni di temperatura nell'aria possono andare dal microclima momentaneo del telescopio ai movimenti globali su vasta scala che danno origine ai vari climi nel mondo. Tutti questi effetti sul seeing sono confinati nella troposfera (lo strato d'aria che va dal livello del mare fino a circa 1500 metri), poiché nell'aria sovrastante manca la densità otticamente efficace. Il fattore più importante è il clima locale e la condizione topografica, ma assai spesso il seeing viene influenzato pure dalle condizioni atmosferiche nelle immediate vicinanze della zona d'osservazione.

Cominceremo a considerare le sorgenti poste in prossimità del telescopio, le quali possono causare fluttuazioni di temperatura nell'aria e see-

ing pessimo. Le sorgenti di calore attorno al telescopio sono i dispositivi elettronici e persino il corpo caldo dell'osservatore. Quasi sempre, la sorgente principale è la riemissione notturna di calore, assorbito dalla strumentazione esposta al Sole durante il giorno. Finanche con strumenti chiusi, la radiazione che raffredda la cupola o la tettoia può deteriorare il seeing locale. Onde prevenire questi problemi, si dovrebbe fare di tutto per tenere il calore degli oggetti caldi lontano dal percorso ottico del telescopio. Si deve prestare una attenzione particolare con i telescopi che hanno uno schema a tubo aperto e gli strumenti portatili dovrebbero essere protetti dai raggi diretti del Sole, in modo da prevenire l'aumento del calore nelle parti metalliche ed in altre parti che conducono bene il calore. Gli alloggiamenti dei telescopi o gli osservatori dovrebbero essere rifiniti in alluminio o pittura bianca, giacché entrambi assorbono poco nella regione visibile dello spettro.

Dopo le considerazioni sulle zone nelle immediate vicinanze del telescopio, si deve esaminare la geografia locale, perché la vegetazione circostante e la topografia giocano spesso un ruolo importante o nel mantenere o nel deteriorare la qualità del seeing. Proprio come le parti del telescopio e le strutture, che vengono esposte ai raggi diretti del Sole, assorbono e poi irradiano calore, la terra circostante al sito osservativo tende ad assorbire le onde solari corte durante il giorno e ad emettere onde lunghe di notte. Per minimizzare gli effetti di questo problema, i posti dovrebbero essere scelti con abbastanza vegetazione cir-

costante, in modo da mantenere al minimo il calore del terreno. Per ragioni simili, le postazioni circondate dalle acque migliorano la turbolenza locale generata dalla radiazione di terra. Un altro aspetto importante dell'ambiente del luogo è l'effetto della topografia sul movimento dell'aria intorno al sito osservativo. Il mescolamento di masse d'aria di temperatura diversa è la causa principale della turbolenza e perciò degli effetti del seeing. Durante le ore del giorno questo mescolamento è accompagnato dalla convezione risultante dalla riemissione di calore dal terreno. Comunque, di notte, dopo che il suolo si è raffreddato fino alla temperatura dell'aria, o al di sotto, il movimento ed il mescolamento delle masse d'aria viene indotto in gran parte dalle inversioni locali di temperatura che sono fortemente influenzate dalla topografia. All'interno della troposfera, dove si generano quasi tutti gli effetti del seeing, la condizione normale si manifesta come una diminuzione regolare e prevedibile di temperatura dell'aria con l'aumentare dell'altezza. Comunque, quando avviene una inversione di temperatura, si forma al livello del terreno uno strato di aria fredda che inverte il divario di temperatura, perché l'aria calda giace sopra di esso. Quantunque inversioni tali non siano normali, esse tendono ad essere molto stabili, dato che l'aria più fredda e più pesante (nella parte inferiore dell'inversione) è molto resistente ai cambiamenti di distribuzione verticale. Nonostante questa stabilità locale, le inversioni relativamente secche sono la causa primaria di seeing pessimo perché c'è una turbolen-

za pronunciata all'interfase, fra la sommità dell'inversione e la zona ove l'aria locale ritorna al divario di temperatura normale.

Sebbene esistano numerosi meccanismi che possono causare inversioni di temperatura, il tipo più comune incontrato risulta indotto topograficamente dal movimento dell'aria e dal mescolamento. Sulle montagne fredde e secche della California meridionale, ad esempio, la temperatura del terreno scende rapidamente dopo il tramonto. La maggior parte del calore irraggiato, assorbito durante il giorno, si disperde facilmente nell'aria, perché l'aria limpida secca sopra il suolo assorbe pochissima energia che la attraversa. Di conseguenza la temperatura dell'aria continua a diminuire durante la notte. Alla fine, la temperatura del terreno scende al di sotto di quella dell'aria a contatto diretto. Con la formazione di questo strato di aria fredda sul terreno, si instaura un'inversione locale. L'aria raffreddata sulle montagne se ne va durante questo processo, essendo più pesante dell'aria circostante, e inizia a defluire dalle pendici meglio dell'acqua che forma un ruscello. Così, poi si formano fiumi e laghi di aria fredda nei canyons e nelle valli tra le cime delle montagne, amplificando enormemente gli effetti dell'inversione. Sovente questi flussi di aria fredda sono evidentissimi in prossimità della corrente dei canali e dei burroni, e danno una buona indicazione sui movimenti d'aria controllati topograficamente.

In luoghi lontani dalle regioni montuose, la formazione di inversioni locali dipende da svariati fattori, come

il tipo e la quantità di terreno percorso e, inoltre, dalla quantità di umidità nell'aria (le coperture dense e l'aria umida ritardano la formazione delle inversioni). Benché le inversioni locali formate in luoghi dalla topografia relativamente piatta siano solitamente secche, peggiorano ugualmente il seeing, allorché si formano sopra l'apertura del telescopio. Durante le notti ventilate le inversioni non si formano né sulle montagne né sulle pianure. Comunque, il vento virtualmente provoca sempre seeing pessimo. Mentre tutte le condizioni per la formazione dell'inversione possono ancora esistere, specialmente per quanto riguarda la formazione di aria fredda sulla superficie a contatto, il mescolamento che accompagna il vento preclude la formazione di qualsiasi massa d'aria stabile stratificata. Piuttosto, il vento tende a mescolare la superficie dell'aria fredda con l'aria più calda sovrastante e, nel processo, crea microcorrenti vorticosse che rovinano il seeing.

A questo punto si dovrebbero formare alcune idee su quali condizioni sono più convenienti per produrre un buon seeing locale. Innanzi tutto, ci dovrebbe essere abbastanza vegetazione da impedire che il terreno venga riscaldato durante il giorno (un corso d'acqua nelle vicinanze serve per lo stesso scopo). Le valli strette ed i bacini poco profondi dovrebbero essere evitati, poiché incanalano e mescolano l'aria fredda durante la notte. I piedi e le pendici delle montagne dovrebbero essere evitati, perché ci saranno i movimenti su vasta scala dell'aria fredda sul pendio. I posti buoni con seeing eccezionale si tro-

vano perciò sulla cima delle montagne di altezza moderata (1500-2000 metri) dalla schiena ampia, ricche di vegetazione, che scendono dolcemente. Le vette appuntite, con molta probabilità, avranno seeing pessimo a causa delle correnti d'aria che ascendono o discendono rapidamente lungo i pendii scoscesi. Scegliendo un posto a 1500 metri di quota si ha il vantaggio supplementare di essere al di sopra della maggior parte della foschia e della turbolenza convettiva caratteristiche della bassa atmosfera. Per quelli che abitano troppo lontani dai posti montuosi, le colline sono il compromesso migliore, però si dovrebbe evitare la vicinanza di correnti, letti di fiumi e depressioni poco profonde. Infine, un buon posto dovrebbe avere una bassa frequenza di condizioni meteorologiche ventose.

E' accettato quasi universalmente che il passaggio di una perturbazione produce condizioni di seeing pessimo. I fronti freddi e, sino a piccole dimensioni, i fronti caldi sono responsabili del mescolamento su vasta scala di masse d'aria con temperature diverse, che, subito dopo, danno luogo a zone di turbolenza atmosferica, cioè di seeing pessimo. Le aree del globo soggette più facilmente a queste perturbazioni sono quelle a latitudini medie e alte dell'emisfero settentrionale e meridionale. Le zone equatoriali e tropicali vengono influenzate raramente dalle perturbazioni, perché queste aree sono dominate principalmente dalla circolazione convettiva su vasta scala, originatasi dalle zone alte di bassa pressione subtropicali ed equatoriali.

Anche se ci rendiamo conto che la maggior parte dei nostri lettori non ha l'opportunità di scegliere il posto per una buona osservazione del cielo secondo i parametri qui esposti, speriamo almeno che queste informazioni diano un quadro completo dei fattori che influenzano il seeing. Benché la ricerca e l'osservazione astronomica si stia spostando nello spazio, i fattori esposti qui serviranno ai dilettanti ed ai professionisti che resteranno ancora qui sulla Terra, sotto l'atmosfera, per molti anni.