

## Introduzione all'osservazione del Sole

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

(ICRA/UPRA e ITIS G. Ferraris, Roma)

**Abstract** The observation of the Sun is possible, in white light, with a basic telescope; it opens to some astrophysical considerations about what we observe: 1. The photosphere and the granulation. 2. The sunspots and their cycles 3. The limb darkening and the faculae 4. The solar atmosphere, and the solar spectrum. Also a recap on 5. Atmospheric and Instrumental Optics is necessary to understand how we observe.

**Sommario** L'osservazione del Sole è possibile in luce bianca con un telescopio base, e apre a varie considerazioni astrofisiche su ciò che osserviamo: 1. Fotosfera e granulazione; 2 Macchie solari e loro cicli; 3. Oscuramento al bordo e facole; 4. Spettro e atmosfera solare; 5. Ottica atmosferica e strumentale, per capire come lo osserviamo.

**Keywords** Sun, white light, photosphere, solar atmosphere, solar spectrum, limb darkening, sunspots, faculae, plages, turbulence, atmospheric optics.

**Introduzione** L'osservazione del Sole ci apre una finestra su processi energetici che sono diretta conseguenza della fusione nucleare all'interno del nucleo. L'energia che il Sole rilascia nello spazio, quasi  $4 \cdot 10^{26}$  W, può venire solo dalla trasformazione in energia  $E$  di una massa  $m$  piccola relativamente alla massa solare,  $2 \cdot 10^{33}$  Kg, grazie alla famosa formula  $E=mc^2$ . A metà ottocento si riteneva che il Sole producesse questa energia per contrazione progressiva, ma questo processo termodinamico avrebbe implicato una "vita" di 100 milioni di anni. Le scoperte paleontologiche e geologiche di quel periodo portarono gradualmente a capire che la Terra era molto più vecchia e di conseguenza anche il Sole doveva esserlo. Allora la contrazione gravitazionale non poteva essere il modo con cui il Sole erogava la sua energia, e circa 3 decenni dopo che Einstein pubblicò la formula  $E=mc^2$  (1905) si cominciò a capire come, nel suo nucleo, l'Idrogeno si trasformava in Elio rilasciando lo 0.7% della massa iniziale sotto forma di energia (luce + neutrini). Verso la fine del secolo scorso si capì anche che i neutrini cambiavano sapore attraversando la sua massa, partendo come neutrini elettronici ed arrivando a Terra sia elettronici che muonici e tauonici.

Il Sole divenne quindi il laboratorio per scoprire nuova fisica.

Trattandosi della stella a noi più vicina, di cui riusciamo a vedere tanti dettagli superficiali, è naturale che sia l'oggetto su cui tutte le teorie fisiche sulle stelle possono essere provate con la migliore precisione possibile.

La teoria della Relatività, la Fusione nucleare e l'Oscillazione dei neutrini sono le tre grandi teorie a cui lo studio del Sole ha dato importanti e cruciali contributi, e tante altre vedono nel Sole il loro campo di prova. Non a caso in questi anni si stanno sviluppando strumenti sempre più sofisticati da Terra e da satellite per studiare il Sole. Alcuni esempi: il telescopio solare europeo EST in corso di sviluppo alle Canarie, il telescopio solare Americano da 4m Inohue alle Hawaii, la sonda NASA-ESA Solar Orbiter, e la sonda NASA Parker Solar Probe, che stanno entrambe avvicinandosi al Sole più di ogni altra. Dietro questi strumenti ci sono Europa e Stati Uniti, e ingenti investimenti, dai quali ci attendiamo tantissima nuova fisica da capire e scoprire e lavoro per le prossime generazioni di scienziati. Se i telescopi con cui oggi noi osserviamo il Sole non raggiungono la potenza degli strumenti di queste joint-ventures internazionali, abbiamo capitalizzato quattro secoli di conoscenze sul Sole e sul suo comportamento che, se sono niente rispetto ai suoi 5 miliardi di anni di età, ci permettono di capire molto meglio di un secolo e mezzo fa quello che vediamo. Di seguito cercheremo di dare delle indicazioni semplici senza trascurare il contenuto fisico e astrofisico che sta dietro le immagini che possiamo cogliere e anche fotografare ponendo direttamente all'oculare la fotocamera.

**1. La fotosfera e la granulazione** Fotosfera significa "sfera di luce" ed è effettivamente una sfera entro qualche parte su un milione. Significa che su un milione e mezzo di chilometri di diametro, muovendoci dal polo all'equatore solare, il diametro non cambia più di 8 km, ed è più largo all'equatore per effetto della rotazione del Sole su se stesso in circa 25 giorni. È molto difficile misurare variazioni del diametro solare che non siano quelle apparenti dovute all'avvicinamento e allontanamento orbitale della Terra, perché si tratta di una misura che richiede

una precisione elevatissima anche nella definizione dell'oggetto da misurare che, di fatto, è una sfera di plasma (elettroni e protoni liberi in equilibrio con atomi di idrogeno) e non un oggetto solido. Il tutto deve essere misurato meglio di 1 parte su 1 milione. Già conoscere la larghezza di un banco con la precisione di 1 micron costituirebbe un problema complesso in laboratorio, figuriamoci il Sole che viene osservato attraverso l'atmosfera turbolenta della Terra, che lo deforma anche per rifrazione. La superficie del Sole appare rugosa, come la buccia di un'arancia, e la struttura fine ci mostra la **granulazione** a varie scale: da 1", cioè circa un millesimo del raggio solare, fino a 10 volte questo valore. Si tratta delle teste delle **colonne convettive**, che trasportano continuamente materia calda dalle profondità del Sole fino in superficie, e ritorno. La convezione è un processo che avviene in una pentola d'acqua sul fuoco: l'acqua si scalda in basso e sale verso l'alto, trasportando il calore verso la superficie. Questo modo di trasporto del calore è molto efficiente, però non avviene sempre: se nell'acqua mettiamo la farina di mais per fare la polenta, questa inibisce la convezione. Allora il calore si accumula senza andare su e –se non si mischia– la polenta si brucia. La struttura del Sole non è tutta convettiva: sotto il 70% del raggio solare non si muove nulla, e il calore proveniente dal nucleo si propaga per radiazione. La densità all'interno del Sole è talmente elevata che un fotone, viaggiano sempre alla velocità della luce, impiega un milione di anni a fare un milione di chilometri a causa dei continui urti con gli elettroni e i protoni della materia dentro al Sole. Nel nucleo la temperatura è di 15 milioni di gradi e la densità tale che può avvenire la fusione nucleare di quattro protoni in un nucleo di Elio, con il rilascio dell'energia sotto forma di fotoni e neutrini. Mentre i fotoni impiegano un milione di anni ad uscire, i neutrini elettronici ci mettono 2.3 secondi e dopo 8 minuti arrivano sulla Terra, ma 2/3 di loro cambiano sapore. Per osservare i neutrini ci sono i Laboratori Nazionali del Gran Sasso, fiore all'occhiello della Fisica Italiana.

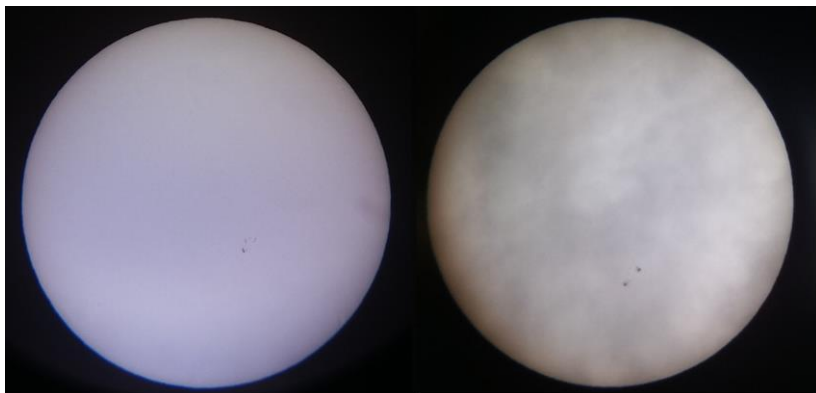


Fig. 1 Sole il 3 e 4 aprile 2023 ore 9 e 8 UT. Maksutov 70/1250  
Si nota l'effetto della rotazione solare sul gruppo di macchie, ma anche lo spostamento relativo tra di esse in 23 ore.

## 2. Le macchie solari e i loro cicli

Dopo lunghi periodi di Sole *blank* senza macchie (2009-2011 e 2020-2022), che hanno riportato alla memoria i grandi minimi passati, che prendono il nome dagli scienziati che li hanno scoperti o notati, come il minimo di Maunder (1645-1715) scoperto da Walter Maunder e Signora ai primi del novecento, il minimo di Dalton (1798-1833)<sup>1</sup> e altri cicli più antichi (Spörer 1450-1540; Oort 1010-1050)<sup>2</sup>, sono tornate le macchie sulla superficie del Sole e i numeri di Wolf sopra il 100.

L'attività solare dal 1750 viene monitorata contando i gruppi di macchie G ed il numero totale di macchie e macchioline N.

Il **numero di Wolf** è  $R=10G+N$  e lo possiamo facilmente calcolare osservando al telescopio. Equazioni personali e risoluzione del telescopio servono per produrre dati scientifici, che comunque sono pubblicati dalla Specola Solare di Locarno.<sup>3</sup> È bene imparare ad osservare bene l'attività solare.

---

<sup>1</sup> The Dalton Minimum is a period of relatively low solar activity from 1798 – 1833, which has been named after John Dalton, who noticed a significant reduction of the auroral frequency during this time (Silverman and Hayakawa, 2021), citazione da Clette et al. (2023)

<sup>2</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Sp%C3%B6rer\\_Minimum](https://en.wikipedia.org/wiki/Sp%C3%B6rer_Minimum) cit J.Eddy (1976)

<sup>3</sup> [Disegni – Home page della Specola Solare](#)

Se conosciamo il numero di Wolf dal 1750 e il numero di aurore dal Medioevo attorno al 1000 possiamo stimare eventuali periodicità fino a 1000 anni. Con le analisi dei *proxies* dell'attività solare, come il contenuto di Carbonio 14 nell'atmosfera intrappolata nelle carote di ghiaccio in Groenlandia e in Antartide, si può risalire ad alcuni millenni or sono e ipotizzare cicli solari più lunghi. Si tratta comunque di periodi di campionamento che sono ancora un milione di volte più corti della vita del Sole. Ci potrebbe venire in aiuto l'osservazione di tante stelle simili al Sole, ma i dettagli superficiali che possiamo scorgere con gli strumenti più avanzati non arrivano a competere con quelli che sul Sole possiamo vedere con un cannocchialino da banco.

Abbiamo accennato al numero dei gruppi G, ma non come si fa a capire –da una sola occhiata– se delle macchie sono appartenenti ad un gruppo o fanno gruppo a sé. In realtà ci vuole un'esperienza ben più lunga, ed un'osservazione continua per capire se le macchie appartengono ad un gruppo, avendone seguita la loro evoluzione precedente o apparizione improvvisa sulla superficie del Sole, da un giorno all'altro.

Possiamo sempre riferirci a Locarno o alla NASA.<sup>4</sup>

Resta molto interessante osservare come nello spazio di un'ora la geometria di una macchia può variare e anche quella delle macchie l'una rispetto all'altra. È facile vedere sparire i **pori** più piccoli, che appaiono già privi di **penombra**.

**Ombra e penombra** di una macchia non hanno nulla a che vedere con l'oscuramento parziale o totale, ma sono delle zone, evidenti, che corrispondono a temperature più basse della fotosfera, che è a 6000 °C. Le macchie sono a circa 4000 °C.<sup>5</sup>

G. E. Hale scoprì ai primi del novecento che alle macchie sono associati campi magnetici anche di 2000-3000 Gauss, che “costringono” il plasma che è carico a non passare per le macchie. La scoperta è stata fatta con lo spettroscopio,

---

<sup>4</sup> Es. il gruppo in fig. 1 è il #[13270](#)

<sup>5</sup> <http://www.icra.it/solar/macchia.jpg> ; <http://www.icra.it/solar/tmacchia.jpg>

sfruttando l'effetto Zeeman per cui una riga spettrale si divide in tre quando c'è campo magnetico. Prima di Hale il magnetismo solare era noto solo per le tempeste geomagnetiche che investivano la Terra facendo “impazzire” le bussole, ma sono legate ad espulsioni di massa coronale (protoni) a loro volta collegate ad attività superficiali (flares) in corrispondenza delle macchie stesse. Padre Angelo Secchi a Roma era stato tra i primi ad installare un osservatorio geomagnetico al Collegio Romano e rivelò gli effetti della tempesta di Carrington dei primi di settembre del 1859.



Fig.2 Regione attiva AR 13270 il 5 aprile 2023 Newton 25/f4.

Una **regola pratica: il Sole ruota verso Ovest**, quindi le macchie di lunga durata “tramontano” al lembo che precede e “sorgono” da quello che segue, questo si può apprezzare quando si osserva da strumenti fissi come il telescopio senza motore o la meridiana di s. Maria degli Angeli. Durante un periodo di massimo di attività solare si nota, dopo qualche giorno di osservazione, che le macchie sono disposte su due fasce che sono nell'emisfero Nord e Sud del Sole, che partono da 40° N o S e si avvicinano all'equatore. Ciò dà luogo al diagramma a farfalla delle latitudini delle macchie dopo un ciclo di 11 anni, che si completa in polarità N-S dopo 22 anni.

Una **regola pratica: il Sole ruota verso Ovest**, quindi le macchie di lunga durata “tramontano” al lembo che precede e “sorgono” da quello che segue, questo si può apprezzare quando si osserva da strumenti fissi come il telescopio senza motore o la meridiana di s. Maria degli Angeli. Durante un periodo di massimo di attività solare si nota, dopo qualche giorno di osservazione, che le macchie sono disposte su due fasce che sono nell'emisfero Nord e Sud del Sole, che partono

da 40° N o S e si avvicinano all'equatore. Ciò dà luogo al diagramma a farfalla delle latitudini delle macchie dopo un ciclo di 11 anni, che si completa in polarità Nord Sud dopo 22 anni.

### 3. L'oscuramento al bordo e le facole

La luminosità del Sole al bordo è minore del centro e la sua crescita passa da un 16% al lembo al 100% al centro.

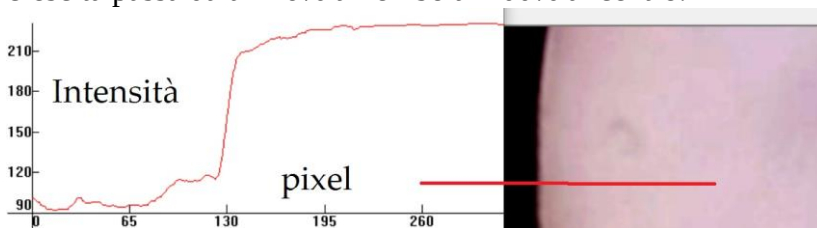
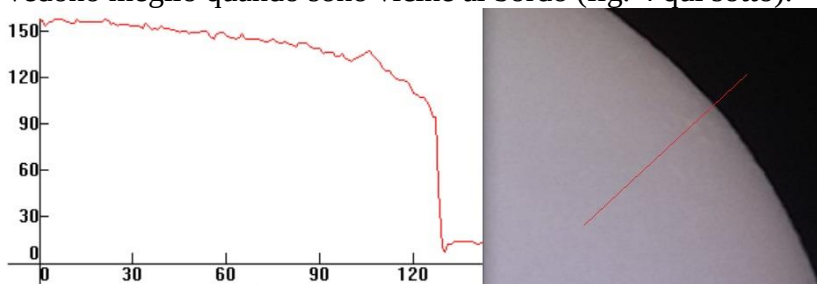


Fig. 3 e 4 Intensità ripresa sulla “coupe” rossa al lembo solare. Le *facole* sono invece zone più chiare della fotosfera, che si vedono meglio quando sono vicine al bordo (fig. 4 qui sotto).



La *facola* in fig. 4 ha un'intensità di 137 rispetto alla fotosfera che lì vale 124. L'intensità misurata dalla camera dello smartphone dipende dalla sensibilità dello strumento alle varie lunghezze d'onda. Nel blu e nel rosso la sua sensibilità è circa la metà che nel verde, quindi potremmo correggere il dato misurato a 150 vs 124. Estruendo la radice quarta<sup>6</sup> di questo rapporto troviamo il rapporto tra le temperature, da moltiplicare per la temperatura della fotosfera, e viene circa 6030 °K per questa *facola*, in buon accordo con Kononovic.<sup>7</sup> L'effetto *raffreddante* lo fa sia il nostro rivelatore, sia

<sup>6</sup> Uso la legge di Stefan-Boltzmann per cui l'emissività è proporzionale a  $T^4$

<sup>7</sup> Kononovic et al, (1985) [1986SvAL...12..164K \(harvard.edu\)](https://www.harvard.edu/1986SvAL...12..164K)

l'atmosfera solare, che è responsabile del *limb darkening*, dell'oscuramento al lembo. Donald H. Menzel ha spiegato bene a cosa è dovuto il Limb Darkening: non si tratta di un affievolimento “di tipo terrestre” ossia come accade all'orizzonte al tramonto quando il Sole appare più fioco perché la sua luce attraversa più atmosfera. La temperatura dell'atmosfera solare cresce via via che si scende più in basso verso la superficie e le osservazioni guardano attraverso quella parte dell'atmosfera solare che è *sotto la regione in cui i gas diventano nebbiosi*, proprio perché la loro temperatura è elevata. Di fatto osserviamo strati più vicini alla superficie guardando verso il centro del Sole e più lontani e quindi più alti verso il bordo. Quando la temperatura diminuisce la radiazione violetta si riduce maggiormente di quella rossa e perciò il bordo ci appare più rossastro e scuro.<sup>8</sup>

#### 4. L'atmosfera solare e lo spettro di Fraunhofer

Nell'atmosfera solare abbonda l'idrogeno sotto le forme  $H$ ,  $H^+$ ,  $H^-$  e  $H_2$ : ciascuna di esse è capace di assorbire i fotoni (transizioni *e<sup>-</sup>legato-e<sup>-</sup>libero*) agendo su una parte dello spettro elettromagnetico, determinando opacità sia negli infrarossi, che nel rosso, che nell'ultravioletto. La forte ionizzazione dei gas solari libera gli elettroni e loro sono i primi responsabili dell'opacità dell'atmosfera solare. Le *plages*, in cromosfera, corrispondono alle facole sottostanti. Esse sono meglio visibili ai bordi del Sole rispetto al centro, grazie all'effetto filtro dell'atmosfera solare. *Facula* in latino = piccola torcia.<sup>9</sup> Con un filtro a banda stretta, come il *solar continuum*, si può calcolare il rapporto di temperature tra macchie e fotosfera, che in fig. 5 risulta in intensità 127/156 e in temperatura 5460 su 5750 °K, ma il seeing del pomeriggio e dei palazzi vicini, può trarci in inganno: infatti “lava” l'immagine spostando i fotoni da fuori a dentro la macchia, che risulta meno scura di quanto sia.

<sup>8</sup> D. H. Menzel, *Il nostro Sole “Our Sun”*, Faenza Editrice, 1981, pp. 205-8.

<sup>9</sup> <https://www.isf.astro.su.se/highlights/faculae-explained/>  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1086/421553/pdf> Keller et al. (2004)

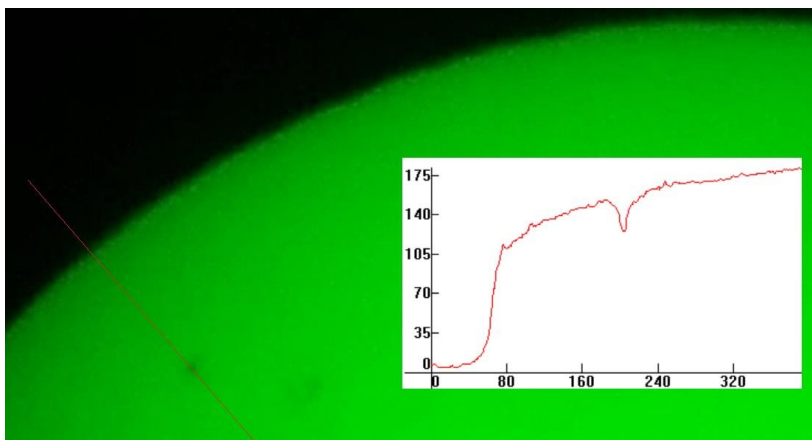
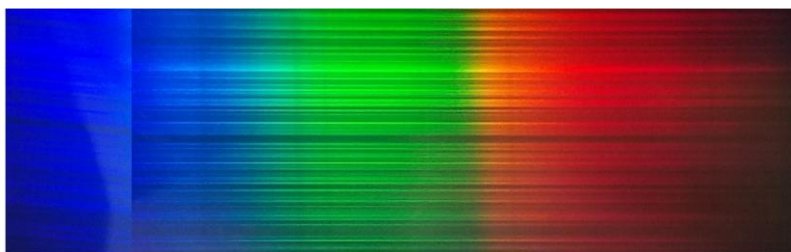


Fig. 5 AR13270 col filtro a  $540 \pm 10$  nm *solar continuum*, N70f5

La scelta di postazioni senza ostacoli al vento (alberi sopravvento, che frangono il flusso d'aria in tante bolle davanti al telescopio, o edifici e asfalto sotto la linea di vista...) favorisce osservazioni più dettagliate, con un **seeing migliore**.

Le osservazioni del Sole nella riga del Calcio selezionano solo i fotoni che vengono da transizioni energetiche caratteristiche di alte temperature, quindi il rapporto tra fotosfera e macchia dà un risultato più vicino alla realtà. Queste transizioni sono al limite corto dello spettro visibile, nel violetto, e sono poco visibili all'occhio adulto, tuttavia la bontà del seeing è fondamentale per ottenere buone misure di questo tipo, in ogni caso.

L'atmosfera solare assorbe, sempre per transizioni atomiche tra fotone ed elettrone legato, alcune radiazioni a specifica lunghezza d'onda, presentandosi come un arcobaleno solcato da molte righe nere sottili e sottilissime: sono le righe di Fraunhofer, in onore del fisico che le studiò per primo, costruendo gli spettroscopi migliori del Mondo ai primi dell'ottocento. La foto che segue è stata ottenuta in laboratorio con un reticolo di diffrazione da 200 righe/mm posto davanti al monocolo 7x18 e allo smartphone, riprendendo un cilindro metallico (gamba di sedia) a 4 m illuminato dal Sole alle spalle.



K H G F E D C B A

Fig. 6 Le righe (verticali) di Fraunhofer: le più a destra sono telluriche, ossia dovute all'O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O della nostra atmosfera.

La sensibilità del sensore dello smartphone non è di qualità astronomica, ma consente di riprenderne 7-8 bene, quelle che in letteratura sono classificate con la lettera maiuscola A, B, C, D (il Sodio nel colore giallo) E, F, G, H e K: quella del Calcio.

Lo spettro solare ci rivela oltre alla temperatura della fotosfera anche le componenti assorbenti nell'atmosfera solare, che nel corso degli anni sono stati identificati in laboratorio. Le altre righe appartengono al Ferro che, sebbene sia presente in tracce minuscole, si riesce a vedere per il suo effetto assorbente netto. Lo spettro di Fraunhofer è una delle caratteristiche più spiegate dai libri e meno osservate nella realtà, sia scolastica che universitaria. Si deve ricordare che tutta l'astrofisica stellare si basa su questi spettri e la loro interpretazione.

### **5. Strumenti per osservare il Sole e ottica atmosferica**

Sembra quasi un paradosso, ma lo strumento da conoscere meglio nell'osservazione solare è proprio l'atmosfera. Infatti il Sole non ci dà problemi di scarsità di fotoni, perché ce ne arrivano tantissimi, ma –come per gli altri oggetti celesti, e generalmente di più, inducendo più turbolenza in atmosfera– per il modo come ci arrivano. L'energia del Sole viene assorbita dal suolo in modo diverso se è asfalto o prato, ottenendo per l'asfalto d'estate temperature anche di 50°C, mentre per il prato 25°C. L'aria sopra queste due superfici bolle e le bolle passano davanti alla linea di vista del telescopio disturbando la visione con continue sfuocature, ora qua ora là. Sono rari i momenti di quiete, e brevissimi.

Normalmente un sito per le osservazioni in città viene scelto o sopra il tetto di un edificio, o dove non ci sono ostacoli. Per il Sole andrebbe bene pure un balcone o una finestra a Sud, ma questo non è sufficiente a garantire buone osservazioni.

Già alla fine dell'ottocento si era capita l'azione calmierante dell'acqua sulla turbolenza atmosferica: l'Università di Goettingen aveva scelto Locarno, sulla riva occidentale svizzera del Lago Maggiore, per collocare la sua stazione osservativa del Sole, e poi alla fine del novecento ancora l'Isola di La Palma nelle Canarie. Anche l'Isola di Capri era stata scelta per osservare il Sole dai tedeschi, e non solo banalmente per le maggiori giornate di bel tempo, ma proprio per ragioni di **seeing**. Questa parola inglese esprime le condizioni di nitidezza dell'immagine, e le quantifica in secondi d'arco ["]. Si tratta del minimo dettaglio percepibile, e quando pensiamo a Marte che nei casi migliori ogni 18 anni diventa grande 25" capiamo che 1" di seeing significa non poter vedere dettagli più grandi di  $1/25$  del suo diametro, che vale 6000 km, quindi 240 km. Passiamo da seeing "antartici" di 0.2" a seeing ottimi di 1", fino a seeing urbani di 5", come riscontriamo alla meridiana di s. Maria degli Angeli.

Le bolle d'aria turbolente salgono spinte dalla differenza di temperatura: 50°C della bolla rispetto a 10-20°C dell'aria circostante. Sulla linea di vista se ne incontrano tante di dimensioni varie, ma anche se fossero tutte uguali vedremmo sia poche bolle vicine che molte lontane sempre nello stesso campo visivo. Le vicine determinano la turbolenza a grande scala angolare, mentre le lontane quella a piccola scala angolare. Facciamo un modello semplificato: bolle che si alzano a 50 cm/s, come quelle che abbiamo visto sul termosifone. La dimensione di queste bolle sembra di 1 cm.

Le bolle immediatamente vicine all'obiettivo del telescopio, da 2.5 cm per s. Maria degli Angeli a 7 cm per un Mak con filtro solare, attraversano –col Sole a 45° d'altezza- il diametro del foro rispettivamente in 0.05 s (SMA) e 0.14 s.

Le bolle più lontane appariranno più piccole, ma

attraverseranno il diametro angolare del Sole in un tempo maggiore. Ad esempio a 5 metri di distanza il disco solare sarebbe largo 5 cm (è sempre 1/100 della distanza) e la bolla lo passa in soli 0.1 s in entrambi i casi, ma il “cono di accentanza” che include il diametro d’obbiettivo ed ha un diametro di (5+2.5) cm nel caso SMA e (5+7) cm nell’altro, viene attraversato da quella bolla in 0.15 s e 0.24 s. A 10 metri diventano 12.5 cm per SMA e 17 cm per il Mak, e la bolla attraversa questi coni in 0.25 s e in 0.34 s. A 100 metri abbiamo 102.5 e 107 cm rispettivamente e 2.0 e 2.14 s di attraversamento. Quindi le bolle più vicine influiscono sulla vibrazione dell’immagine a bassa frequenza –per SMA sono 20 Hz per il Mak circa 7 Hz- mentre ad 1 m abbiamo i contributi a 6 Hz e 4 Hz a 10 m, invece, 4 Hz e 3 Hz e così via.

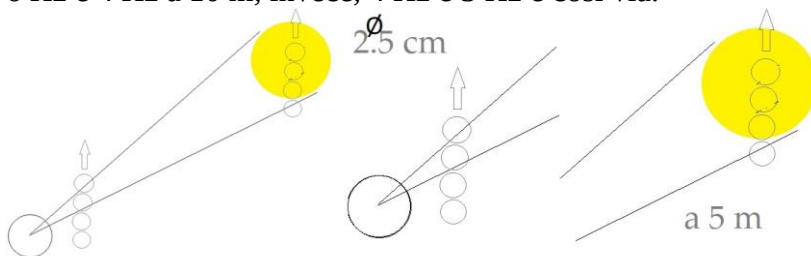


Fig. 7 Le bolle salgono alla stessa velocità, le vicine perturbano tutta l’immagine del Sole, le lontane una piccola parte a parità di tempo di osservazione e velocità delle bolle d’aria.

Questo modello semplicatissimo ci insegna che l’apertura dell’obbiettivo del telescopio conta fino a qualche metro dal telescopio, poi la turbolenza a bassa frequenza agisce in modo indipendente dal diametro di obbiettivo. Finché la bolla d’aria è grande quanto il diametro del Sole alla distanza dall’obbiettivo, quindi circa 1 metro nel caso di bolle da 1 cm, il nostro modello spiega le vibrazioni dell’immagine e la loro scala.

Se ci fossero bolle da 1 cm anche a 10000 metri di distanza avremmo 1 cm su 100 m di diametro solare, una parte su 10000 di un diametro angolare di quasi 2000”, quindi 0.2”.

La turbolenza a quelle quote del *jet stream* è –di solito-

maggiore, quindi le bolle lì sono comprese tra 5 cm (seeing 1”) e 15 cm (seeing 3”), ma questa turbolenza non dipende dal luogo di osservazione a meno di collocarsi in mezzo all’Oceano, come per le Hawaii e le Canarie, senza uragani di passaggio. Cristoforo Colombo, infatti, era in grado di prevederne uno osservando la scintillazione delle stelle più luminose.

Per le osservazioni quotidiane del Sole conta sistemare i primi metri, ed è per questo che a Locarno davanti al telescopio Gregory da 45 cm di diametro, il più grande sul suolo del continente europeo, c’è un tetto piano sbiancato al biossido di titanio, che viene coperto da uno strato di 4-5 cm d’acqua per ridurre la turbolenza locale nei primi 2 metri. Noi, nei primi metri davanti al telescopio, dovremmo avere almeno del prato.

Il professor Alessandro Cacciani (1937-2007), che lavorava all’Osservatorio Astronomico di Monte Mario negli anni sessanta, mi raccontava che il seeing alla levata del Sole era spettacolare, e la maggior parte del lavoro osservativo veniva svolto a quell’ora. Padre Secchi che osservava dal Collegio Romano aveva seeing molto buoni, e anche all’Osservatorio di Catania si parla di immagini straordinarie al mattino presto. In quelle ore la differenza di temperatura tra suolo e atmosfera non è ancora tale da scatenare la convezione e quindi la turbolenza, in altre parole l’atmosfera è ferma. Se a ciò si aggiunge l’assenza di vento e turbolenze locali generate dal vento ecco la ricetta “antartica” per un ottimo seeing.

L’influenza del vento e degli alberi o gli edifici sopravvento vanno anche considerate. Se a destra del Sole c’è un albero, più vicino è peggio è, e il vento spira da destra, il Sole si trova sottovento rispetto all’albero, e i filetti di flusso dell’aria sono rotti dal profilo dell’albero, creando bolle d’aria turbolente. Appena il vento soffia l’immagine si degrada. Lo stesso dicasi per un edificio, perché le bolle si formano anche su uno spigolo dritto. In questo caso trovarsi su un tetto, sopra a tutto il resto, è meglio perché questo tipo di turbolenza è assente. Si è scoperto

che anche le classiche cupole sferiche con la loro apertura a spicchio generano turbolenza, e oggi vengono sostituite da cupole a scomparsa, che si aprono come petali, o scorrono via come tetto rimovibile.

Quindi il seeing dipende dalle differenze di temperatura tra aria e suolo e dagli ostacoli sopravvento.

Un altro accorgimento molto usato è quello di eliminare le differenze di temperatura tra telescopio e ambiente lasciando passare anche un'ora prima di osservare, una volta aperta la cupola (o la finestra, se siamo in una stanza) o sistemato fuori il telescopio.

Il telescopio nero –ovviamente- attira di più i raggi solari, e si scalda fino a scottare, conviene dipingerlo di bianco –come a Locarno- o ricoprirlo o imbragarlo con un telo bianco.

Lo scopo della cura del sito è ridurre a meno di 3" il seeing diurno per poter sfruttare il telescopio almeno al doppio del suo limite di diffrazione. Infatti un telescopio di apertura 10 cm ha un limite di diffrazione di 1", mentre uno di 20 cm ce l'ha di 0.5", ma se il seeing è di 2" è come avere telescopi di 5 cm sia in un caso che nell'altro, quindi l'acume visivo di uno strumento anche molto costoso, diventa pari a quello di un cannocchiale da banco a causa delle condizioni osservative.

Ci è capitato di notare questo con le lenti solari di s. Maria degli Angeli, che sono di 5 cm di diametro: i dettagli che si vedono sono simili a quelli osservati ai telescopi ottici di diametri maggiori. Il **seeing urbano di 5"** rende questi strumenti tutti equivalenti a telescopi con obbiettivi di 2 cm.

Vale dunque la formula di ottica atmosferica:

**Potere risolutivo ["]= massimo tra{10"/D[cm] e seeing ["]}**

Poiché il seeing è cruciale ed è il valore più grande dei due, ci dobbiamo concentrare sul ridurre –per quanto ci è possibile- il seeing, piuttosto che ridurre la diffrazione  $10''/D$  con maggiori diametri  $D$  d'obbiettivo. Perciò, oltre un filtro solare a tutta apertura davanti all'obbiettivo, non raccomando altro tipo di strumentazione per l'osservazione del Sole al telescopio, né diametri particolarmente grandi, **solo costanza nell'osservare.**