

2. Ombre e penombre nel cielo

*Lo stesso venir meno del sole
e il nascondersi della luna
devi ritenere che possano avvenire
per molteplici cause.*

Lucrezio: *De rerum natura*, libro V

Eclissi e occultazioni

La terminologia in materia è un po' confusa: si parla indifferentemente di eclissi di Sole e di Luna, ma si tratta di due fenomeni diversi.

Eclissi di Sole

Noi siamo "sullo schermo," la Luna è l'oggetto. Dato che la Luna è più piccola del Sole, esiste un cono d'ombra: a che distanza sta il vertice dalla Luna? (fig. 2-1).

Indico con $R_S = 6.96 \cdot 10^5$ km il raggio della sorgente (Sole); con $R_L = 1.74 \cdot 10^3$ km quello dell'oggetto (Luna), con D la distanza sorgente-oggetto (Sole-Luna), con D' la distanza oggetto-vertice (Luna-vertice). Calcoliamo la distanza D' del vertice V dell'ombra dal centro della Luna. I triangoli simili in fig. 2-1 danno la relazione

$$R_S : (D + D') = R_L : D'$$

dalla quale si trova subito

$$D' = \frac{D R_L}{R_S - R_L}.$$

Nota: In realtà Sole e Luna sono sfere, non dischi; tuttavia la relazione trovata è esatta. Studiare perché.

Quanto a D , è variabile: $D = r - r'$ dove r è la distanza Sole-Terra, r' la distanza Terra-Luna. La distanza r va da un minimo $a(1 - e)$ a un massimo $a(1 + e)$, dove a , e sono semiasse ed eccentricità dell'orbita della Terra; r' analogamente va da $a'(1 - e')$ ad $a'(1 + e')$, essendo a' , e' semiasse ed eccentricità dell'orbita della Luna.

Dati: $a = 1.496 \cdot 10^8$ km, $a' = 3.84 \cdot 10^5$ km, $e = 0.0167$, $e' = 0.055$.

Per sapere se si avrà eclisse totale o anulare, bisogna trovare la posizione di V rispetto alla Terra, ossia calcolare $D' - r'$. Abbiamo:

$$D' - r' = \frac{R_L}{R_S - R_L} (r - r') - r' = \frac{R_L r - R_S r'}{R_S - R_L}.$$

Tenendo conto degli intervalli di variazione di r e di r' , è facile calcolare

$$\min(D' - r') = \frac{a R_L (1 - e) - a' R_S (1 + e')}{R_S - R_L}$$

$$\max(D' - r') = \frac{a R_L (1 + e) - a' R_S (1 - e')}{R_S - R_L}$$

il che significa che nel primo caso il vertice sta al di qua del centro della Terra, a una distanza di circa 6 volte il raggio della Terra; nel secondo caso il vertice sta al di là del centro, a quasi 3 volte il raggio.

Allora: nel primo caso (fig. 2-2) tutti i punti della Terra non passano mai nell'ombra. Nel caso più favorevole ci sarà un'eclisse *anulare*. Nel secondo caso (fig. 2-3) il cono d'ombra può intersecare la Terra, ed è quindi possibile un'eclisse *totale*.

Eclissi di Luna

Ora è la Luna lo schermo, la Terra l'oggetto che fa ombra. Il calcolo si fa come prima, salvo usare $R_T = 6.38 \cdot 10^3$ km (raggio della Terra) al posto di R_L ; inoltre ora $D = r$, ma è poco utile considerare le variazioni di r , per cui si può fare $r = a$.

Allora $D' = a R_T / (R_S - R_T) = 1.38 \cdot 10^6$ km, che è 3.6 volte la distanza media Terra-Luna. Dunque la Luna è molto più vicina del vertice, e può passare interamente dentro l'ombra (eclisse totale) attraversando, prima e dopo, le fasi di penombra (fig. 2-4).

Come mai la Luna si vede anche durante la totalità? La causa è la *rifrazione* della luce solare che attraversa l'atmosfera terrestre.

Parentesi sulla rifrazione astronomica

La luce che proviene da una stella, penetrando nell'atmosfera viene deviata, nel senso di avvicinarsi alla verticale (fig. 2-5). L'effetto è piccolo, ma importante per le misure astronomiche: ad es. a 45° la deviazione è circa $1'$. All'orizzonte l'effetto è molto maggiore: circa $30'$.

Ne segue che quando vediamo il Sole al tramonto "in realtà" è già tramontato. Da quanto? Se il Sole calasse in verticale (come accade all'equatore) impiegherebbe 2 minuti a percorrere mezzo grado (che è il suo diametro angolare). Dato che invece cala obliquo (alle nostre latitudini a circa 45°) il tempo è maggiore, dell'ordine di 3 minuti. Dunque il periodo di luce dura 6 minuti di più (3 quando il Sole sorge, 3 quando tramonta).

Tornando all'eclisse di Luna

La luce solare che passa radente alla Terra viene deviata *due volte* di $30'$, in totale di 1° . Ne segue che il cono d'ombra si accorcia: infatti la sua apertura, che sarebbe $30'$ (diametro angolare del Sole) in assenza di rifrazione, diventa $2^\circ 30'$, ossia 5 volte maggiore. Perciò il vertice V (fig. 2-6) si avvicina alla Terra di un fattore 5: invece di $1.38 \cdot 10^6$ km, dista $2.8 \cdot 10^5$ km circa. Si vede che la Luna è *oltre* il vertice, quindi in zona di penombra "anulare."

Però questo accade solo per la luce radente: dunque l'illuminazione è debole, e prodotta da luce che ha attraversato l'atmosfera. Questa luce è impoverita delle corte lunghezze d'onda (assorbimento, diffusione: stesso motivo per cui il Sole al tramonto è rosso). Ecco perché la Luna in eclisse totale ha un colore "ramato." Se guardassimo dalla Luna, vedremmo la Terra circondata da un sottile alone rossastro.

Eclissi e occultazioni di satelliti e pianeti

Il caso più interessante è quello dei satelliti di Giove. In condizioni favorevoli, un satellite che gira attorno a Giove può attraversare varie fasi (fig. 2-7):

- a) piena visibilità
- b) occultazione: è coperto alla nostra vista dal pianeta
- c) eclisse: sarebbe visibile, ma è nell'ombra di Giove
- d) transito: passa davanti al pianeta
- e) transito dell'ombra: si vede l'ombra del satellite proiettata sul pianeta.

La Luna può occultare stelle, pianeti, asteroidi. . .

Le occultazioni stellari sono interessanti perché *non sono istantanee* e questo permette di determinare le dimensioni di alcune stelle. Le altre occultazioni forniscono misure molto precise della posizione del corpo occultato.

Transiti

I pianeti interni possono *transitare* sul disco del Sole. Questo non succede a ogni giro, come potrebbe sembrare a prima vista, a causa dell'inclinazione dei piani orbitali. I transiti di Mercurio avvengono in media ogni 7 anni: il prossimo sarà il 7-5-2003. Quelli di Venere sono molto più rari. Ecco l'ultimo e quelli futuri: 6-12-1882, 8-6-2004, 6-6-2012, 11-12-2117.