

7. Galileo e la Luna

*Che fai tu luna in ciel? dimmi che fai,
silenziosa luna?*

G. Leopardi: *Canto notturno* ...

L'ottica nei "Massimi Sistemi"

Nella prima giornata del *Dialogo* c'è una lunga discussione sulla Luna, mirante soprattutto a stabilire che la Luna è di materia solida e opaca, con la superficie percorsa da montagne e pianure e piuttosto scura. Questa parte del *Dialogo* non è molto conosciuta, forse perché è la più genuinamente fisica, e quindi difficile da apprezzare da chi fisico non sia. Vogliamo qui leggerla e commentarla insieme; il mio scopo è di far vedere quanti spunti se ne possono trarre per della buona fisica: buona nel metodo e nella pratica sperimentale.

Le fasi della Luna e quelle della Terra

Stando sulla Luna si vedrebbero le "fasi" della Terra, sempre opposte a quelle della Luna (fig. 7-1). La differenza più importante è che mentre noi vediamo una sola faccia della Luna, dalla Luna si vedrebbe tutta la Terra.

Un esempio di quanto sia poco naturale cambiare punto di vista. Va aggiunto, a ciò che dice Galileo, che stando sulla Luna non si vedrebbe la Terra sorgere e tramontare.

Parallasse e librazione

La metà della Luna a noi visibile non è sempre la stessa: il fenomeno prende il nome di *librazione* e ha due ragioni.

La prima ragione è la *parallasse*. Da punti diversi della Terra (o in momenti diversi, dal sorgere al tramonto della Luna) non si vede esattamente la stessa metà (fig. 7-2). Analogamente, è diverso quello che si vede a seconda della *declinazione* della Luna (la sua distanza angolare dal piano dell'equatore terrestre). La parallasse diurna della Luna (l'angolo α in figura) è circa un grado, quindi di altrettanto cambia la metà visibile. G. descrive dettagli vicini al bordo, dove l'effetto è evidente.

Esiste anche un'altra ragione: la cosiddetta *librazione dinamica*. Mentre la velocità angolare della rotazione della Luna su se stessa è costante, non lo è quella del moto di rivoluzione attorno alla Terra. Infatti la distanza Terra-Luna varia, e insieme varia la velocità angolare (seconda legge di Keplero, fig. 7-3). L'effetto è di $\pm 8^\circ$. G. ovviamente non conosceva la librazione dinamica.

A essere precisi c'è anche una librazione in latitudine, perché l'asse di rotazione della Luna non è perpendicolare al piano dell'orbita: l'angolo è di oltre 6° . Questa è nota a G.

La luce cinerea

Quando della Luna si vede una piccola falce, la parte in ombra non è del tutto buia. Questo veniva attribuito a una qualche trasparenza della materia lunare, mentre G. fa vedere che si tratta di luce diffusa dalla Terra (fig. 7-4).

Che la Terra sia “atta a diffondere il lume” è fatto contrario ai principi della fisica aristotelica.

Se la superficie della Luna sia speculare ovvero diffondente

G. afferma che la Luna non è lucida come uno specchio, e lo prova con diversi esperimenti. La riflessione di uno specchio è direzionale; invece una superficie diffondente rimanda luce in tutte le direzioni.

G. fa confrontare la luce rimandata da un muro con quella di uno specchio piano: mentre la prima illumina tutto lo spazio antistante, la seconda è visibile solo in un punto preciso, dove in compenso è assai più intensa. In conseguenza, uno specchio posto al sole appare più scuro del muro, a meno che non ci si metta proprio nella direzione in cui arriva il suo riflesso (fig. 7-5).

Però la Luna non sarebbe un specchio piano, bensì sferico: perciò G. discute come si dovrebbe comportare uno specchio sferico (fig. 7-6). Conclude che si vedrebbe sì luce riflessa in qualunque direzione, ma molto debole e praticamente invisibile. Qui però sbaglia: a conti fatti (App. 3) da una Luna speculare ci arriverebbe luce con intensità circa doppia di quella che ci arriva in realtà dalla Luna piena.

Però questa luce verrebbe da un'immagine virtuale del Sole, formata dallo specchio: questa sarebbe praticamente nel fuoco, quindi dentro la Luna, e piccolissima (diametro 8 km). All'occhio apparirebbe puntiforme.

Anche a questo proposito G. propone una prova sperimentale: uno specchio convesso appoggiato al muro illuminato dal Sole, produce un aumento inapprezzabile della luce rinviata sulla parete opposta, mentre l'immagine riflessa del Sole si vede da una larga zona di osservazione.

Conclusione: solo una Luna scabra può rendere ragione di quello che si vede. Non si può non sottolineare il commento di Sagredo, che inizia: “Se io fossi nella Luna stessa . . .”

Galileo e la legge del coseno

G. riesce a dire anche di più sulla natura della superficie lunare, osservando che non può essere diffondente ma liscia, come un foglio di carta. Infatti se così fosse nella luna piena la parte al bordo, che è assai inclinata rispetto ai raggi del Sole, riceverebbe meno luce (per unità di superficie) quindi ci apparirebbe più scura (fig. 7-7).

A questo obietta Sagredo: la parte al bordo ci appare anche di area minore, nella stessa proporzione; quindi la luce che ci rimanda è minore, ma sembra

anche venire da una minore superficie, nella stessa proporzione. I due effetti si dovrebbero compensare (fig. 7–8).

Replica Salviati: facciamo la prova col foglio di carta, e vediamo che le cose non vanno così. Questo perché la carta non è un diffusore isotropo (non soddisfa la legge di Lambert, diciamo oggi; ma questa legge era più di un secolo di là da venire . . .) (fig. 7–9).

Il fatto che invece il disco della luna piena ci appaia illuminato uniformemente è la prova che si tratta di una superficie assai scabra, che in ogni sua parte contiene porzioni che ci appaiono illuminate frontalmente. Così G.: e di fatto ha ragione. Oggi sappiamo che la luna piena rimanda circa 7 volte più luce che se fosse un diffusore isotropo, mentre il primo quarto è 11 volte meno luminoso, anziché la metà della luna piena.

Insomma: tutto quello che si vede sulla Luna si spiega benissimo supponendola opaca e coperta di montagne e crateri. Nessun altro modello potrebbe rendere ragione così bene di tutte le particolarità osservate.

Se la Luna sia chiara o scura

Il fatto che la Luna appaia luminosa in cielo veniva portato come una prova decisiva a favore di una sua materia “non terrestre.” Si riteneva infatti, dagli aristotelici, che la Terra non fosse “atta a riflettere i raggi del Sole.” G. argomenta come segue.

Contro le apparenze, la Luna è scura. Appare chiara solo perché la vediamo sullo sfondo del cielo notturno. Ma guardata a confronto con un muro illuminato dal Sole (fig. 7–10), si vede bene che diffonde meno luce del muro. (Infatti oggi sappiamo bene che è così: l'albedo lunare è intorno al 7%.) Dunque è ragionevole che la Terra, che è più chiara della Luna e anche più grande, possa illuminare la Luna nella parte non illuminata dal Sole, specialmente quando la Luna vede in pieno la metà illuminata della Terra (la questione, già esaminata, della luce cinerea).

Però le cose non sono così semplici: la Luna è lontana, il muro è vicino; come possiamo confrontarli? Qui occorre usare la fondamentale legge fotometrica dell’“inverso del quadrato,” che G. non conosce ma usa inconsciamente.

Consideriamo una porzione del muro, distante d da noi: l’area della sua immagine sulla retina va come $1/d^2$ (almeno se $d \gg f$) (fig. 7–11). D’altra parte la potenza della radiazione che arriva sulla retina è proporzionale all’angolo solido sotto cui si vede la pupilla da un punto del muro (fig. 7–12): $W \propto 1/d^2$. Dato che la radiazione si distribuisce su tutta l’immagine, si vede che l’intensità (potenza per unità di superficie) sulla retina è *indipendente da d* .

Perciò il confronto muro–Luna è lecito e concludente. . .

I “mari” della Luna

Sulla Luna si vedono macchie più scure: potrebbero essere mari. Come mai diciamo questo?

G. osserva che la superficie dell’acqua a distanza apparirebbe più scura della terra, salvo nella direzione in cui riflette la luce del Sole (come lo specchio già trattato). Suggerisce di verificarlo con un pavimento bagnato: esso appare più scuro, salvo dove arriva la luce riflessa della finestra. Anzi: è proprio dal fatto che è più scuro che noi ci accorgiamo che è bagnato, anche senza saper niente di ottica. Ce lo ha insegnato l’esperienza...

G. trova conferma di tutto questo dal fatto che vede più intensa la luce cinerea sulla Luna qualche giorno prima della luna nuova, quando la Luna sorge prima del Sole, che non dopo la luna nuova, quando la si vede al tramonto. Ciò accade perché nel primo caso la Luna vede illuminata dal Sole una parte di Terra occupata da terre emerse (l’Asia); nel secondo caso vede prevalentemente l’Oceano Atlantico.

Notate anche qui la capacità di sfruttare in modo originale conoscenze geografiche comuni: quanti saprebbero ancor oggi ragionare a questo modo, su quello che si vedrebbe guardando la Terra dalla Luna?

Quanto alla vera natura dei mari lunari G. non si sbilancia: l’osservazione appena fatta mostra che potrebbe essere acqua, ma ci sono molte altre possibili spiegazioni. Certamente la Luna è molto diversa dalla Terra in varie cose, ad es. nel clima, dato che ogni suo punto è esposto al Sole per due settimane e resta in ombra per altrettanto.

Non è possibile qui dare altri dettagli: solo la lettura diretta può mostrare come il metodo galileiano — consistente nel coniugare argomentazioni teoriche e osservazioni tratte dall’esperienza comune o da semplici esperimenti — gli permetta di trarre sulla natura della Luna conclusioni la cui accuratezza potrebbe apparire incredibile, vista la povertà degli strumenti di cui disponeva.