

SULLE ORME DI GALILEO

LA LUCE DELLA LUNA

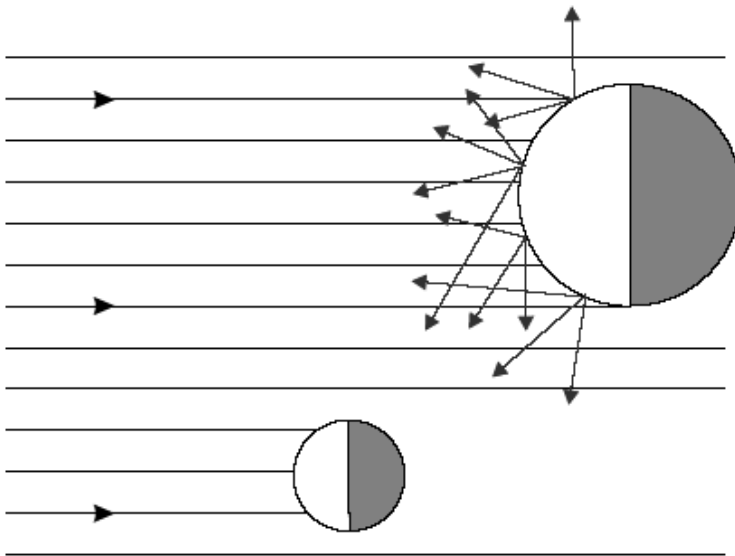
L'ottica nei "Massimi Sistemi"

Nella prima giornata del "Dialogo sui massimi sistemi" c'è una lunga discussione dedicata al confronto tra l'aspetto apparente della Luna e quello della Terra. L'aristotelico Simplicio sostiene che i corpi celesti sono incorruttibili, luminosi e inalterabili, e perciò diversi dalla Terra che è per sua natura oscura e priva di luce. Galileo invece, per bocca di Salviati, dimostra che la Luna è della stessa sostanza di cui è fatta la Terra. Ecco le sette "conformità" o "congruenze" che Galileo trova tra la Luna e la Terra:

1. è sferica, cioè non è né un disco piatto (illuminazione parziale) e neppure concava (si illuminerebbe prima la parte opposta al Sole)
2. è oscura e opaca (perché "ripercuote il lume" del Sole)
3. è fatta di materia densissima e solidissima (presenza di monti e crateri circolari, alcuni con macchie di materia "oscura")
4. così come, vedendo la Terra da lontano, le distese d'acqua degli oceani sono ben distinguibili dalla terra ferma perché più scure, allo stesso modo sulla Luna si possono osservare alcuni "gran campi", più risplendenti del resto, ma non è detto che siano d'acqua
5. le fasi lunari, viste dalla Terra, e le fasi terrestri, viste dalla Luna, hanno lo stesso periodo ma si svolgono in modo opposto
6. ognuna può illuminare l'altra di luce riflessa (luce cinerea)
7. ognuna può proiettare la propria ombra sull'altra: eclissi scambievoli, di Terra come di Luna.

La luce cinerea

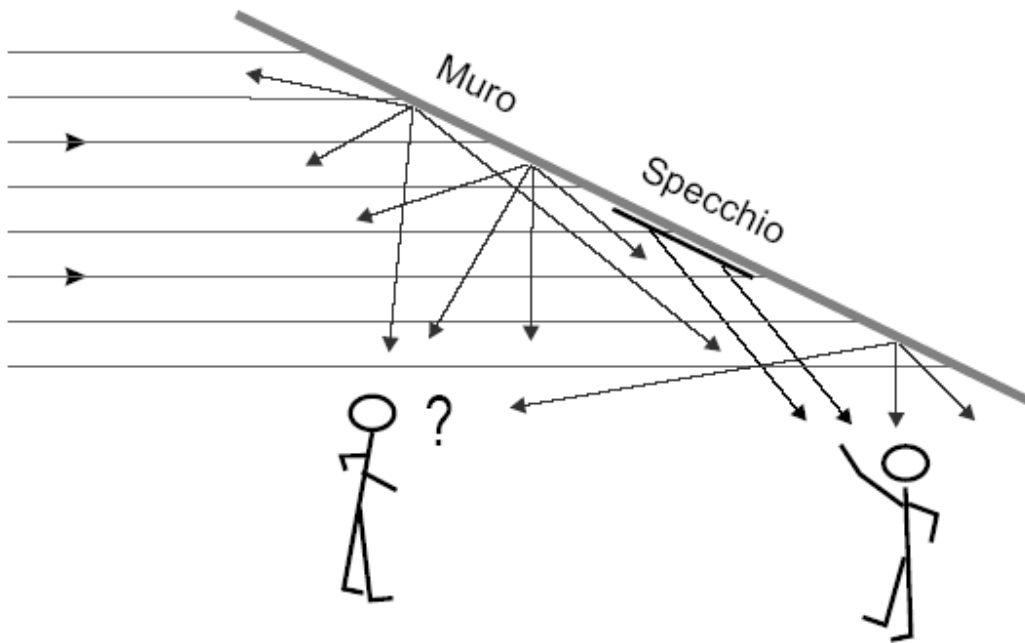
Quando della Luna si vede una piccola falce, la parte in ombra non è del tutto buia. Questo veniva attribuito a una qualche trasparenza della materia lunare, mentre G. fa vedere che si tratta di luce diffusa dalla Terra.



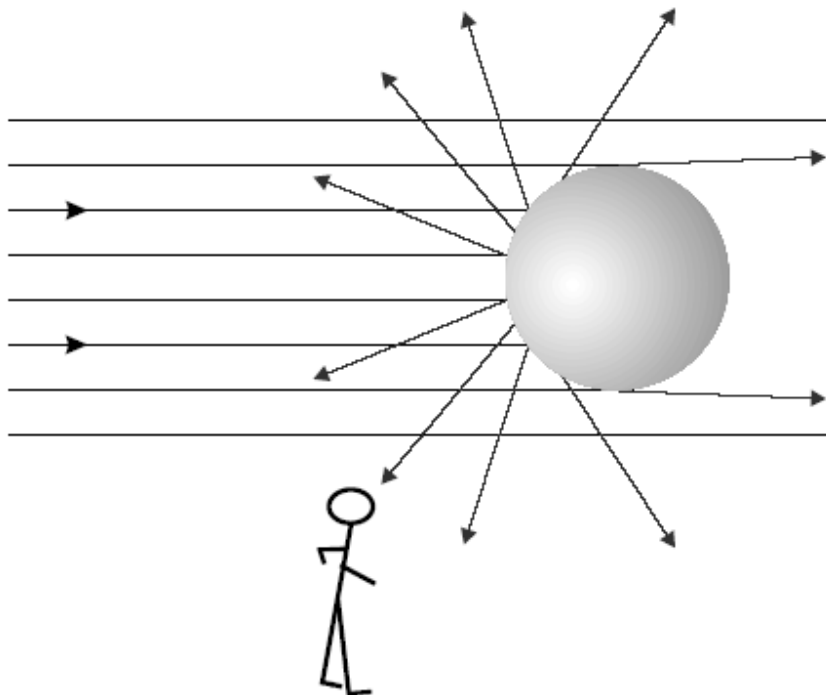
Che la Terra sia “atta a diffondere il lume” è un fatto contrario ai principi della fisica aristotelica.

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.



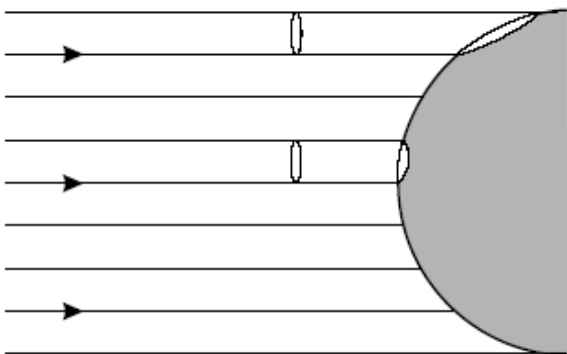
Però la Luna non sarebbe un specchio piano, bensì sferico: perciò G. discute come si dovrebbe comportare uno specchio sferico.



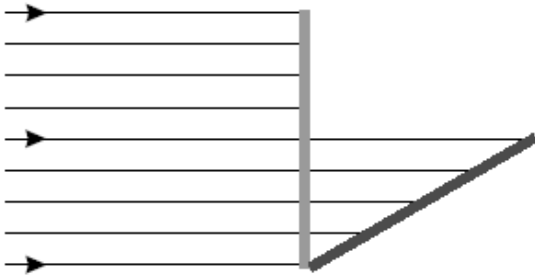
Conclude che si vedrebbe sì luce riflessa in qualunque direzione, ma molto debole e praticamente invisibile. A conti fatti, da una Luna speculare ci arriverebbe luce con intensità circa doppia di quella che ci arriva in realtà dalla Luna piena, però questa luce verrebbe da un'immagine virtuale del Sole, formata dallo specchio: questa sarebbe praticamente nel fuoco, quindi dentro la Luna, e piccolissima (diametro 8 km), quindi 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 della proiezione (o del coseno)

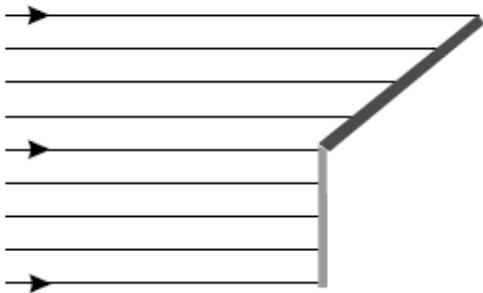
G. riesce a dire anche di più sulla natura della superficie lunare, osservando che non può essere diffondente ma liscia, come un foglio di carta. Infatti se così fosse nella luna piena la parte al bordo, che è assai inclinata rispetto ai raggi del Sole, riceverebbe meno luce (per unità di superficie)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



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.



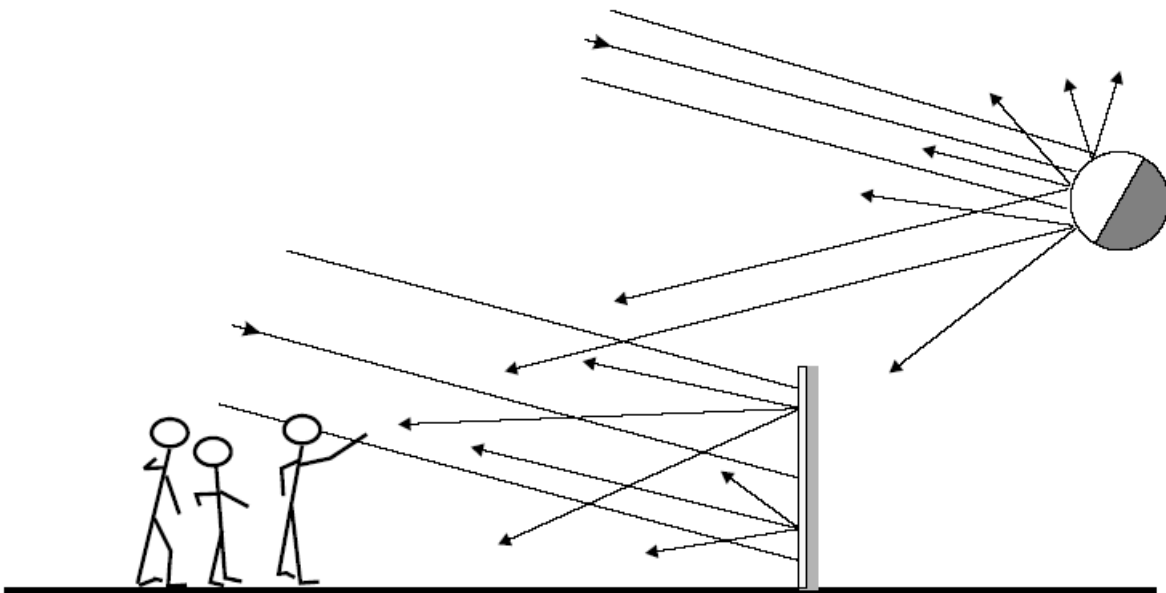
Replica Salviati: facciamo la prova col foglio di carta, e vediamo che le cose non vanno così. Questo perché la carta non è un diffusore isotropo (non soddisfa la legge di Lambert, diciamo oggi; ma questa legge era più di un secolo di là da venire...).



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

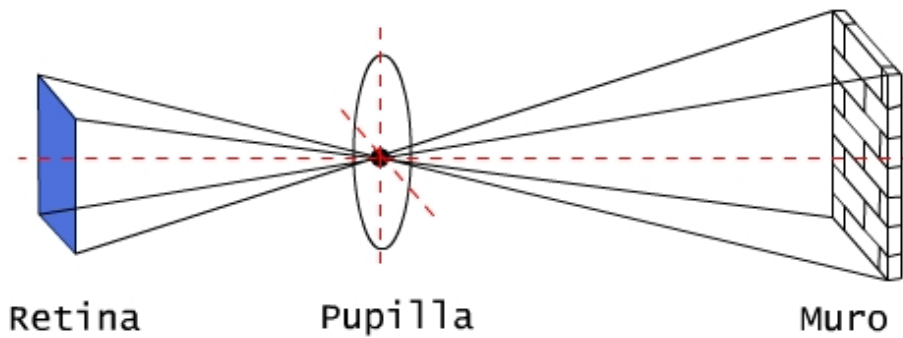
Il fatto che la Luna appaia luminosa in cielo veniva portato come una prova decisiva a favore di una sua materia “non terrestre”. Si riteneva infatti, dagli aristotelici, che la Terra non fosse “atta a riflettere i raggi del Sole”. G. argomenta come segue. Contro le apparenze, la Luna è scura. Appare chiara solo perché la vediamo sullo sfondo del cielo notturno. Ma guardata a confronto con un muro illuminato dal Sole, si vede bene che diffonde meno luce del muro.



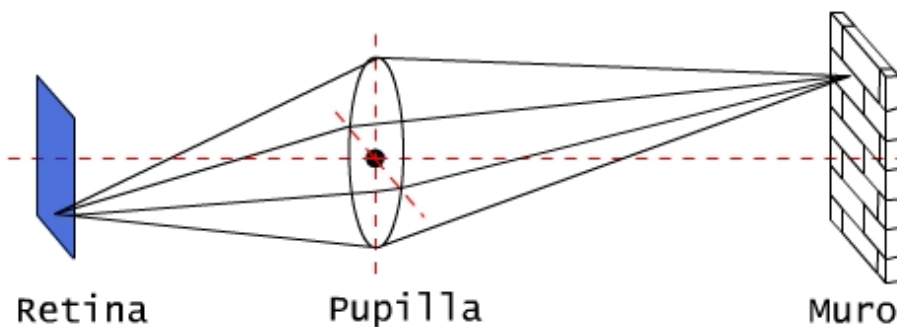
(Infatti oggi sappiamo bene che è così: l'albedo lunare è intorno al 7%). Dunque è ragionevole che la Terra, che è più chiara della Luna e anche più grande, possa illuminare la Luna nella parte non illuminata dal Sole, specialmente quando la Luna vede in pieno la metà illuminata della Terra (la questione, 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 della distanza”, che G. non conosce ma usa inconsciamente.

Consideriamo una porzione del muro, distante d da noi: l'area della sua immagine sulla retina diminuisce come $1/d^2$, cioè se si raddoppia la distanza dal muro, l'area sulla retina diventa un quarto.



Anche la potenza della radiazione, cioè l'energia che arriva sulla retina per unità di tempo, diminuisce con la stessa legge, perché dipende dall'angolo (si dovrebbe dire "solido") sotto cui si vede la pupilla da un punto del muro: $W \propto 1/d^2$.



Dato che la radiazione che arriva si distribuisce su tutta l'immagine, si vede che l'intensità sulla retina, che è la potenza ricevuta per unità d'area, è indipendente dalla distanza d . In altre parole, l'energia che arriverebbe da una distanza doppia $2d$, - che è $1/4$ di quella che arriva dalla distanza d , - viene raccolta da una superficie di retina che è 4 volte più piccola, quindi lo stimolo che l'occhio riceve è lo stesso.

Perciò il confronto muro-Luna è lecito.