Spigolature astronomiche*

A cura di Annibale D'Ercole
INAF · Osservatorio Astronomico di Bologna

Come splende quel pianeta!

Claudio Elidoro

Non è la prima volta che ci interessiamo in queste *Spigolature* della luminosa presenza dei pianeti sulla volta celeste. Non solo, infatti, ci siamo occupati del loro mutevole aspetto – le fasi – dovuto alla geometria del triangolo Terra-Sole-Pianeta (settembre 2012), ma abbiamo anche provato a scavare più in profondità esaminando il caso di Venere, la brillante stella del mattino e della sera (giugno 2013). In tali occasioni abbiamo sempre accuratamente evitato di aggiungere ulteriori complicazioni a problematiche già di per sé tutt'altro che banali. Non abbiamo per esempio ricostruito l'intero percorso della luce solare che un pianeta raccoglie e fa poi rimbalzare verso di noi – un passaggio fondamentale per determinare la luminosità del pianeta – e neppure ci siamo preoccupati di valutare se l'efficienza di questi rimbalzi luminosi fosse uguale per tutti i corpi planetari. È giunto il momento di colmare queste due lacune. Riservando al livello avanzato l'analisi e la determinazione della luminosità, in questo livello base cerchiamo di saperne di più sul parametro che descrive la risposta del pianeta alla luce che lo colpisce.

Tecnicamente, ricorrendo a un termine latino derivato da *albus* (bianco), si parla di "albedo" – più correttamente di albedo geometrica – e il suo valore indica proprio quanto della luce che investe una superficie planetaria viene rispedito nello spazio. Per come è definita, l'albedo è dunque compresa tra 0 (superficie completamente assorbente) e 1 (superficie perfettamente riflettente). È opportuno sottolineare come questa caratteristica non dipenda unicamente dal tipo di materiale di cui è composta una superficie, ma rivesta notevole importanza anche la conformazione fisica della superficie stessa. Non meno importante neppure l'angolo che si forma tra la radiazione incidente e quella riflessa (detto *angolo di fase*). A tal proposito, per esempio, gli astronomi hanno avuto per un po' di tempo una spinosa questione da risolvere osservando come avvicinandosi ad angoli di fase nulli (praticamente, osservando i corpi celesti in prossimità della loro opposizione), la quantità di luce riflessa aumentasse in modo esagerato. Un problema noto come effetto di opposizione.

Dalla metà dell'Ottocento la definizione di albedo diventa più completa e la sua entità, purtroppo, più complicata da valutare. Risale a quel periodo, infatti, la proposta dell'astronomo americano George Phillip Bond (1825-1865) che nella definizione di albedo non solo si dovesse tener conto dell'intero spettro elettromagnetico, ma che si dovesse considerare la risposta complessiva della superficie, tenendo cioè conto di ogni angolo di fase. Valutazioni possibili per i pianeti del Sistema solare interno, ma non per le altre superfici planetarie, per le quali una valutazione attendibile di questo nuovo parametro – battezzato con il nome di "albedo di Bond" – aveva assolutamente bisogno delle osservazioni spaziali. Il vantaggio innegabile della nuova definizione è che si può determinare con maggiore attendibilità il bilancio energetico di una superficie planetaria.

Lasciando l'impiego dell'albedo di Bond ai professionisti, può essere interessante indagare sui valori di albedo geometrica che incontriamo tra gli oggetti del Sistema solare. Proponiamo dunque due tabelle. Nella prima, giusto per poter disporre di un termine di paragone pratico, abbiamo raccolto i valori di albedo che caratterizzano alcune superfici che possiamo incontrare sul nostro pianeta, mentre nella seconda figurano i valori delle albedo geometriche di alcuni oggetti planetari che compongono la famiglia del Sole.

* Questa rubrica si propone di presentare in modo sintetico e, per quanto possibile, autoconsistente argomenti che stanno alla base della conoscenza astronomica, spesso trascurati nella letteratura divulgativa, in quanto ritenuti di conoscenza generale oppure troppo difficili o troppo noiosi da presentare ad un pubblico non specialistico. Questi "fondamenti di astronomia", volutamente trattati in uno spazio limitato, possono essere letti a due livelli; eventuali approfondimenti per i lettori che desiderino ampliare la conoscenza dell'argomento vengono esposti in carattere corsivo e incorniciati. Si suggerisce questa rubrica, quindi, a studenti dei vari tipi e livelli di scuole. Le *Spigolature astronomiche* si possono trovare anche in rete, nel sito Web del «Giornale di Astronomia», www.bo.astro.it/sait/giornale.html.

Superficie	Albedo
acqua (Sole basso)	0,03 - 0,05
foresta	0,05 - 0,10
superficie catramata	0,12 - 0,14
asfalto	0,05 - 0,20
terreno	0,05 - 0,30
sabbia	0,20 - 0,40
ghiaccio	0,30 - 0,40
neve vecchia	0,45 - 0,55
nubi (stratocumuli)	0,65 - 0,75
acqua (Sole allo zenit)	0,50 - 0,80
neve fresca	0,65 - 0,85

Tabella 1. Albedo di particolari superfici riscontrabili sul pianeta Terra.

Oggetto	Albedo
Mercurio	0.138
Luna	0.113
Marte	0.15
Nettuno	0.41
Urano	0.51
Terra	0.367
Saturno	0.47
Giove	0.52
Plutone	0.44 - 0.61
Teti	1.2
Venere	0.67
Eris	0.96
Encelado	1.4

Tabella 2. Albedo geometrica di alcune superfici planetarie.

Sono a questo punto necessarie alcune minime riflessioni. A dispetto della luminosità che la contraddistingue, notiamo anzitutto che la Luna figura tra gli oggetti meno riflettenti. La sua albedo indica una superficie scura come il catrame e solamente la sua ridotta distanza dalla Terra la rende così brillante. All'altro capo della tabella, notiamo l'albedo davvero notevole che caratterizza Venere. Il valore è da imputare al bozzolo nuvoloso che avvolge il pianeta, responsabile sì della sua eccezionale luminosità nei nostri cieli, ma anche del devastante effetto serra che ha ridotto quel pianeta a un autentico forno rovente. Davvero curiosi, infine, i valori superiori all'unità che si registrano per Encelado e Teti: tutta colpa di superfici estremamente riflettenti e di un importante effetto di opposizione. Probabilmente, le superfici delle due lune di Saturno sono continuamente rinnovate dalla caduta di particelle di ghiaccio che provengono dal sistema di anelli. Ma ve lo immaginate il plenilunio se il nostro satellite avesse una simile albedo?

Da quanto stiamo dicendo, l'albedo ci offre un'informazione sulle caratteristiche della superficie di un oggetto planetario. Giustamente, però, potremmo chiederci perché mai dovremmo darci tanta preoccupazione per conoscere tale valore. Accenniamo dunque a una motivazione. Per alcuni corpi celesti – si pensi ad esempio agli asteroidi o agli oggetti al di là di Nettuno – non è possibile determinare direttamente le dimensioni: troppo piccoli o troppo lontani perché un telescopio riesca a risolvere la loro estensione. Sappiamo però che vi è uno stretto legame tra le loro dimensioni e la luce solare che riflettono, cioè la loro luminosità. Ipotizzando opportuni valori di albedo (valori attendibili suggeriti dalla possibile composizione superficiale che ci viene indicata dall'analisi del loro spettro) possiamo dunque risalire alle dimensioni del corpo celeste. Ovviamente non possiamo prendere il dato come assoluto. Non conosciamo, per esempio, la loro esatta forma e l'ipotesi che si possa trattare di oggetti sferici potrebbe essere poco corretta. Il metodo, però, è ampiamente utilizzato dai planetologi.

Come anticipato, proviamo a ricavare un'espressione attendibile che, entro gli errori inevitabilmente indotti da alcune semplificazioni, ci possa permettere di ottenere la luminosità di un pianeta. Diciamo subito che non prenderemo in considerazione il fenomeno delle fasi, ipotizzando cioè che avremo sempre a che fare con l'intero disco planetario illuminato. Ipotesi non certamente accettabile per Mercurio e Venere (ma di quest'ultimo pianeta ce ne siamo già abbondantemente occupati), parzialmente accettabile per Marte (vedremo di farcene una ragione …), ma tutto sommato lecita per gli altri pianeti estern,i con l'evidente esclusione di Saturno per l'importante apporto del suo sistema di anelli.

Sappiamo che, secondo la relazione formalizzata nel 1856 da Norman Robert Pogson (1829-1891), una differenza di magnitudine (m) tra due corpi celesti è strettamente legata al rapporto tra i loro flussi luminosi (f):

$$m_1 - m_2 = -2.5 \quad \log\left(\frac{f_1}{f_2}\right).$$

Riferendoci al Sole (S) e a un pianeta generico (P), possiamo riscriverla come

$$m_P - m_S = -2.5 \quad \log\left(\frac{f_P}{f_S}\right).$$

Dato che la magnitudine apparente del Sole vale –26.75, possiamo ricavare che:

$$m_P = -26.75 - 2.5 \quad \log\left(\frac{f_P}{f_S}\right). \qquad (1)$$

Il nodo che dobbiamo sciogliere è dunque la valutazione dei due flussi luminosi.

Per il pianeta dobbiamo anzitutto calcolare la frazione di luce solare che riesce a intercettare (L_{INC}). Se dunque indichiamo con R il raggio del pianeta (supposto perfettamente sferico), con D la *sua distanza dal Sole e con L_S la radiazione luminosa proveniente dal Sole, avremo che*

$$L_{INC} = L_S \frac{\pi R^2}{4\pi D^2} = L_S \frac{R^2}{4D^2},$$

dove πR^2 è la superficie del disco planetario e $4\pi D^2$ l'area dell'intera superficie sferica con raggio D su cui si disperde la luce proveniente dal Sole.

Possiamo a questo punto calcolare la luminosità unitaria del pianeta (L_{INC} / superficie illuminata) mettendo ovviamente nel conto che solo una parte della luce incidente verrà riflessa a causa dell'albedo (A). Dunque:

$$L_{UNIT} = L_S \cdot A \cdot \frac{R^2}{4D^2} \cdot \frac{1}{\pi R^2} = A \cdot \frac{L_S}{4\pi D^2}.$$

Se ora moltiplichiamo questa luminosità unitaria per l'angolo solido[1] su cui si estende quel disco planetario visto da Terra otteniamo il flusso luminoso proveniente dal pianeta:

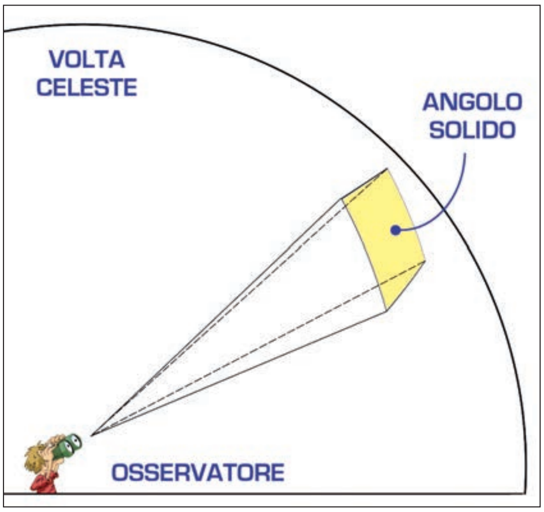

Fig. 1.

$$f_P = A \cdot \frac{L_S}{4\pi D^2} \frac{R^2}{D_{TP}^2},$$

dove con D_{TP} abbiamo indicato la distanza che separa il pianeta dalla Terra.

Dobbiamo ora, con un ragionamento analogo, determinare il flusso luminoso del Sole. Indicando con R_S il raggio solare, la sua luminosità unitaria sarà

$$L_{UNIT.SOLE} = \frac{L_S}{4\pi R_S^2},$$

mentre per il flusso luminoso, indicando con D_S la distanza Terra-Sole, avremo

$$f_S = \frac{L_S}{4\pi R_S^2} \cdot \frac{R_S^2}{D_S^2} = \frac{L_S}{4\pi D_S^2}.$$

A questo punto siamo finalmente in grado di determinare f_P / f_S. Sarà:

$$\frac{f_P}{f_S} = A \cdot \frac{L_S}{4\pi D^2} \cdot \frac{R^2}{D_{TP}^2} \cdot \frac{4\pi D_S^2}{L_S} = A \cdot \frac{R^2 \cdot D_S^2}{D^2 \cdot D_{TP}^2}. \quad (2)$$

Sarà proprio questo termine ricavato nella (2) che dovremo inserire nella (1) e ottenere la magnitudine del pianeta.

*Per verificare la bontà di questa relazione, abbiamo calcolato le luminosità di Giove, Urano e Nettuno all'opposizione. Molto sbrigativamente abbiamo considerato la distanza Terra-Sole (D_S) sempre uguale a $149{,}6 \times 10^6$ km, per la distanza Sole-pianeta (D) abbiamo utilizzato il valore del semiasse maggiore dell'orbita (**a**) e, approfittando del fatto che nei vari manuali tale valore viene solitamente indicato in U.A., per la distanza Terra-pianeta (D_{TP}) abbiamo utilizzato il valore (**a** – 1).*

Riassumiamo i dati utilizzati e i risultati ottenuti nella seguente tabella:

Pianeta	**R** *[km]*	**D** *[U.A.]*	***A***	m_P
Giove	71500	5,2	0,52	–2,74
Urano	25500	19,2	0,51	+5,53
Nettuno	24750	30,1	0,41	+7,83

Tabella 3 – Dati per il calcolo e risultati della magnitudine planetaria.

È evidente che, con le scelte effettuate, non possiamo attenderci particolari precisioni nei calcoli. I valori ottenuti risultano comunque davvero molto prossimi a quelli generalmente proposti sugli almanacchi per simili pianeti.

Abbiamo quindi provato a occuparci anche di Marte, cercando ovviamente di minimizzare l'importanza della fase. Abbiamo dunque considerato l'opposizione del pianeta occorsa il giorno 8 aprile 2014.

Con R = 3390 km D = 1,62 U.A. D_{TP} = 0,62 U.A. A = 0,15 e considerando la distanza Terra-Sole = 1 U.A. abbiamo ottenuto m_P = –1,45 in linea con la previsione di una magnitudine di –1,5 tabulata dagli almanacchi.

Forti di questi lusinghieri risultati, ci siamo divertiti con un piccolo gioco. Abbiamo cioè provato a collocare Mercurio e Venere dalle parti di Giove e dalle parti di Nettuno per determinare la loro magnitudine. Alla distanza di 5,2 U.A. entrambi

[1] L'angolo solido (vedi Fig. 1) è la naturale estensione in tre dimensioni di ciò che, nel caso bidimensionale, chiamiamo angolo. In due dimensioni l'angolo è il rapporto tra l'arco di circonferenza ritagliato da due semirette uscenti dal centro e l'intera circonferenza. Analogamente, nella geometria dello spazio possiamo definirlo come il rapporto tra una porzione di una sfera e l'intera sfera. Ovviamente, per ritagliare la porzione di sfera non ci bastano due semirette, ma dobbiamo ragionare in 3D. Nel caso di un disco planetario possiamo, in modo molto semplice, immaginare un "cono" che ha come vertice l'osservatore e come base proprio il disco planetario, considerato quale minuscola porzione dell'intera volta celeste.

potrebbero risultare visibili a occhio nudo: piuttosto agevole l'individuazione di Venere (m = +2,37), davvero al limite della visibilità Mercurio (m = +6,02). Drammatica, invece, la situazione a 30,1 U.A. dal Sole, dove entrambi i pianeti sarebbero osservabili unicamente con l'aiuto di uno strumento. La magnitudine di Venere sarebbe infatti +10,39 e quella di Mercurio +14,04.

Claudio Elidoro si è laureato in Astronomia presso l'Università di Bologna con una tesi riguardante i Corpi minori del Sistema solare e si è diplomato al Master in Comunicazione Scientifica presso l'Università di Milano. È insegnante di matematica in una scuola professionale di Cremona e svolge attività di divulgazione astronomica scrivendo articoli per riviste del settore. Ha curato la prima parte della versione on line delle Spigolature Astronomiche. Nel dicembre 2006 il Minor Planet Center ha assegnato il suo nome all'asteroide (43956) Elidoro.