Spigolature astronomiche*

A cura di Annibale D'Ercole

INAF · Osservatorio di astrofisica e scienza dello spazio di Bologna (OAS)

Lo strano caso dell'ardente Mercurio

Claudio Elidoro

In una precedente *Spigolatura* (giugno 2018) si era affrontato il problema della temperatura di una superficie planetaria, trascurando il potente effetto esercitato dalla presenza di un'atmosfera. Un effetto che, mentre nel caso della Terra si dimostra benefico e indispensabile per il sostentamento della vita così come la conosciamo, per il pianeta Venere genera un ambiente davvero terrificante, con temperature che rimangono costantemente intorno ai 753 K (480 °C). Per avere un minimo di refrigerio bisognerebbe salire in cima ai monti Maxwell, un massiccio che raggiunge gli 11 chilometri di altezza rispetto al suolo venusiano. Ma non facciamoci troppe illusioni, la temperatura si aggirerebbe comunque intorno ai 653 K (380 °C).

Ugualmente interessante – e forse di più – è il caso del pianeta Mercurio, sul quale ci eravamo soffermati nel corso della *Spigolatura* citata poc'anzi. Poiché il pianeta è privo di atmosfera, ci saremmo aspettati che le valutazioni che ci avevano portato a definire la temperatura di equilibrio vi trovassero pieno riscontro. Ricordiamo, a questo proposito, che con il termine "temperatura d'equilibrio" si intende la temperatura teorica che raggiungerebbe un pianeta riscaldato soltanto dalla sua stella, se si comportasse perfettamente come un corpo nero. In quella *Spigolatura* avevamo notato che nel calcolo intervenivano la distanza del pianeta dalla stella, le dimensioni e la temperatura della stella e la capacità della superficie planetaria di riflettere la radiazione che la investe (albedo).

Nel caso del pianeta Mercurio, i calcoli ci avevano portato a ottenere una temperatura di equilibrio di 438 K, vale a dire 165 °C. Esaminando i dati relativi alle temperature su Mercurio, però, è immediato notare come vi siano incredibili differenze di temperatura tra l'emisfero soleggiato (738 K, pari a 465 °C) e quello in ombra (89 K, pari a 184 °C sotto zero). A questo proposito, è pur vero che, facendo la media tra i due valori, otteniamo una temperatura abbastanza in linea con la temperatura d'equilibrio, ma rimane da capire come mai su Mercurio situazioni di gelo estremo possano alternarsi a condizioni di caldo davvero infernale.

Se per la temperatura minima è accettabile un così brutale raffreddamento della superficie, messa di fatto "a contatto" con il gelo profondo dello spazio interplanetario, è altresì perfettamente logico domandarsi come si possa avere una temperatura massima così distante da quella di equilibrio. Il cuore del problema, che affronteremo in dettaglio nel livello avanzato, è che si deve mettere in conto come varia l'emissione di una superficie al variare della temperatura. Nel caso di Mercurio, però, vi è anche un altro elemento che dovremo considerare ed è la sua davvero curiosa situazione orbitale.

Tanto per cominciare, Mercurio ha un'orbita molto ellittica. Il valore della sua eccentricità (il parametro, compreso tra 0 e 1, che descrive quanto un cerchio deve essere schiacciato per ottenere l'ellisse) è pari a 0,205. Di gran lunga il valore più alto tra i pianeti del Sistema solare. Fino all'agosto 2006, prima che venisse declassato a pianeta nano, nella classifica planetaria dell'eccentricità orbitale era Plutone ($e = 0{,}284$) a occupare il primo posto. In termini più concreti, mentre al perielio la distanza di Mercurio dal Sole è di 0,307 UA (46×10^6 km), all'afelio sale a 0,466 UA ($69{,}8 \times 10^6$ km), il che comporta una variazione di ben 23,8 milioni di chilometri.

Un secondo elemento da tenere presente è lo stretto legame tra la rotazione di Mercurio e la sua rivoluzione. Inizialmente si pensava che Mercurio fosse bloccato in una "rotazione sincrona", cioè che rivolta verso il Sole ci fosse sempre la stessa faccia (come fa la Luna rispetto alla Terra). A metà degli

* 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», http://giornaleastronomia.difa.unibo.it/giornale.html.

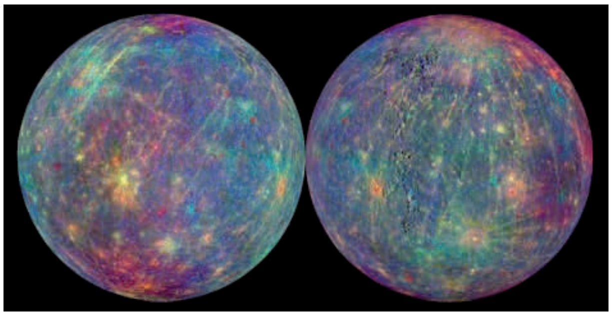

Fig. 1. La sonda Messenger, lanciata nel 2004, ha orbitato intorno a Mercurio dal 2011 al 2015, eseguendo, tra l'altro, questa completa mappa del pianeta (nasa/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington).

anni Sessanta, però, gli astronomi scoprirono che non era così, ma che il pianeta ruotava per tre volte intorno al suo asse mentre completava due orbite intorno al Sole.

Anche su Mercurio, dunque, si alternano giorni e notti. La particolare situazione della risonanza orbitale, però, fa sì che per un abitante di Mercurio il giorno solare, cioè il tempo necessario al Sole per ripassare per lo stesso meridiano, sia di ben 176 giorni terrestri, vale a dire due anni mercuriani. L'esposizione ai raggi solari e, conseguentemente, quella al gelo del cielo notturno sono dunque incredibilmente lunghe, un fattore tutt'altro che trascurabile se vogliamo indagare sulle temperature di quella superficie planetaria. Per gli amanti della fantascienza, questo comporta che sia incredibilmente bassa la velocità con la quale si sposta sulla superficie di Mercurio il "terminatore", cioè la linea che segna il confine fittizio tra il giorno e la notte. Mentre sulla superficie della Terra – complici il giorno di gran lunga più breve e le dimensioni planetarie molto più grandi – il terminatore sfreccia a circa 1669 km/h, su Mercurio ha una velocità media di solo 3,6 km/h. La velocità di una tranquilla passeggiata, insomma.

Già che ci siamo, aggiungiamo un ulteriore curioso dettaglio sullo strano giorno di Mercurio. Poiché la velocità di rotazione e quella di rivoluzione non sono così differenti come avviene invece per i valori relativi al nostro pianeta, il moto del Sole nel cielo mercuriano è meno regolare di quello che osserviamo sulla Terra. Su Mercurio capita che, avvicinandosi al perielio, per qualche tempo la velocità di rivoluzione superi quella di rotazione, con il risultato che il Sole in cielo sembra arrestarsi e muoversi di moto retrogrado. È la conseguenza del fatto che il moto apparente da ovest a est dovuto alla rivoluzione ha momentaneamente la meglio sul moto apparente in senso contrario governato dalla rotazione.

Come anticipato, proviamo dunque a rivedere il bilancio tra la potenza assorbita e quella emessa dalla superficie del pianeta.

*Prima di addentrarci nell'analisi, però, è bene ricordare l'espressione per la temperatura d'equilibrio di un pianeta (**T_P**) che avevamo ottenuto nella* Spigolatura *dello scorso giugno:*

$$T_P = \sqrt[4]{1-A}\cdot T_S \cdot \sqrt{\frac{R_S}{2d}} \qquad (1)$$

*Poiché i nostri ragionamenti riguardano la situazione di un pianeta del Sistema solare, nella (1) **R_S** e **T_S** sono il raggio e la temperatura del Sole, **d** la distanza del pianeta dal Sole e **A** l'albedo della superficie planetaria.*

*Per determinare il bilancio energetico, iniziamo a valutare la potenza assorbita (**P_{ass}**) dalla superficie planetaria. Avremo che*

$$P_{ass} = \frac{A_{ass}\cdot L_S \cdot (1-A)}{4\pi d^2} \qquad (2)$$

*espressione che tiene conto della porzione dell'area complessiva del pianeta colpita dalla radiazione (**A_{ass}**), della luminosità del Sole (**L_S**), dell'albedo planetaria (**A**) e della distanza (**d**) alla quale orbita il pianeta. Inserendo per **L_S** quanto ci dice l'equazione di Stefan-Boltzmann e semplificando, otteniamo*

$$P_{ass} = A_{ass}\cdot \frac{R_S^2 \cdot \sigma \cdot T_S^4 (1-A)}{d^2} \qquad (3)$$

Passando ora a valutare la potenza irraggiata dalla superficie planetaria, troviamo che

$$P_{irr} = A_{irr}\cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_P^4 \qquad (4)$$

*espressione nella quale con **ε** viene indicata l'**emissività** della superficie (per definizione, se si tratta di un corpo nero **ε** = 1).*

*Se ora uguagliamo la (3) e la (4), semplifichiamo e risolviamo rispetto a **T_P**, otteniamo:*

$$T_P^4 = \frac{A_{ass}}{A_{irr}} \cdot \frac{T_S^4 \cdot R_S^2 \cdot (1-A)}{\varepsilon \cdot d^2} \qquad (5)$$

*La temperatura planetaria descritta in questa espressione è detta temperatura "subsolare". Mettendo a confronto la temperatura ricavabile dalla (5) con la temperatura di equilibrio descritta dalla (1), possiamo notare alcune significative differenze. Se, per evitare confusioni, indichiamo la temperatura di equilibrio con **T_E** e la temperatura subsolare con **T_S**, possiamo infatti vedere che:*

$$T_S^4 = T_E^4 \cdot \frac{4}{\varepsilon} \cdot \frac{A_{ass}}{A_{irr}} \qquad (6)$$

Estraendo la radice quarta da entrambi i termini otteniamo

$$T_S = T_E \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{A_{ass}}{A_{irr}}} \qquad (7)$$

*Osservando quanto espresso nella (7), dunque, per giungere a determinare a quanto ammonti **T_S**, oltre* *alla T_E e al fattore $\sqrt{2}$ dobbiamo mettere in conto un paio di altri importanti fattori che, purtroppo, sono tutt'altro che semplici da valutare.*

Il rapporto tra la superficie riscaldata dalla luce solare e quella che irradia a sua volta l'energia accumulata è pari a 1 solamente nel caso di superficie bloccata in una "rotazione sincrona".

Questa situazione descrive piuttosto bene anche ciò che si verifica nelle regioni subsolari di un pianeta che ruoti molto lentamente. Se il pianeta, invece, non è bloccato nella curiosa situazione che vede il periodo di rotazione identico a quello di rivoluzione e siamo in presenza di un rotatore "veloce" (pensiamo, per esempio, alla Terra), quel rapporto vale 1/4; nel caso in cui si tratti di un rotatore "lento" il valore sale a 1/2.

Per valutare la (7), dunque, considerando la situazione di Mercurio e tenendo conto del fatto che si tratta di un rotatore estremamente lento, utilizzeremo per il rapporto tra le superfici il valore 1.

Il secondo fattore è l'emissività della superficie planetaria. Certamente, vista la sua essenza teorica, non ci potremo mai trovare dinanzi a un corpo nero perfetto, ma a un cosiddetto corpo grigio. Questo comporta che il valore di $\boldsymbol{\varepsilon}$ risulti sempre inferiore a 1. Nella nostra valutazione della (7), che ci porterà a determinare la temperatura subsolare della superficie di Mercurio, proveremo a impiegare il valore di 0,82, ottenuto sperimentalmente nel 1974 da Olav Hansen («Astrophysical Journal», 190, 715; 1975).

Per il nostro calcolo, infine, utilizzeremo il valore di T_E precedentemente determinato (438 K). Praticamente:

$$T_S = 438 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{0,82}} \cdot 1 = 651K \qquad (8)$$

Immediato notare come il valore ottenuto nella (8) sia ancora molto distante dalle temperature massime su Mercurio (738 K). La causa, che già abbiamo anticipato nel livello base, sta nell'orbita molto ellittica del pianeta. Nei nostri calcoli, infatti, abbiamo impiegato il valore medio della distanza di Mercurio dal Sole (0,38 UA, cioè $5,79 \times 10^7$ km), ma non possiamo certo trascurare che la radiazione solare che colpisce il pianeta al suo perielio è oltre il doppio di quella che lo investe quando è all'afelio.

*Per valutare correttamente il valore massimo della temperatura subsolare, dunque, dovremo moltiplicare il risultato ottenuto per un opportuno fattore **k** che tenga conto sia del rapporto tra la distanza che abbiamo impiegato e la distanza al perielio, sia del fatto che la legge che governa l'irraggiamento (legata ai quadrati delle distanze) ci impone di calcolare la radice quadrata di tale rapporto. Passando ai numeri, abbiamo*

$$k = \sqrt[2]{\frac{d_{media}}{d_{perielio}}} = \sqrt[2]{\frac{0,387}{0,307}} = 1,125 \qquad (9)$$

Tenendo conto del fattore espresso dalla (9), il valore della temperatura subsolare per Mercurio quando il pianeta è al perielio sale a 733 K. Un valore che corrisponde in ottima misura a quanto conosciamo delle temperature sperimentate nelle regioni più bollenti della superficie di Mercurio.

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 *online* delle "Spigolature Astronomiche". Nel dicembre 2006 il *Minor Planet Center* ha assegnato il suo nome all'asteroide "(43956) Elidoro".