

La farfalla e il Sole

Claudio Vita-Finzi

Earth Sciences, Natural History Museum

Cromwell Road, London SW7 5BD, UK

Submitted January 5th 2022, accepted Jan 22nd 2022

Abstract The structure of the solar atmosphere from the relatively cold 5700 K photosphere to the hot corona at 1-2 million K, is presented with a biological analogy of the butterfly's evolution. Each stage of the solar atmosphere is determined by the underlying one.

Sommario L'atmosfera solare dalla fotosfera, relativamente fredda rispetto alla corona, viene confrontata con lo sviluppo biologico di una farfalla, per coglierne le analogie.

Keywords: photosphere, chromosphere, transition region, solar corona.

Introduzione: *Natura non facit saltus*

L'adagio *Natura non facit saltus* (la Natura non fa salti) appare ripetutamente nei testi di Charles Darwin (1809-1882) sull'Origine della Specie. Lui lo usava per supportare la nozione dell'evoluzione degli organi, di interi organismi e istinti sia graduale e continua, e, che per implicazione, la lista degli organismi appare spezzettata semplicemente perché è incompleta.

La massima era usata prima da Carlo Linneo (1707-1778) nella sua *Philosophia Botanica* del 1751 per sottolineare la nozione che tutte le *taxa* (specie) hanno relazioni su ogni lato e che non ci sono buchi nel panorama botanico.

Aldred Marshall (1842-1924) poi ne ha fatto il motto del suo principio dell'economia, il fatto che era in latino potrebbe spiegare il rispetto dato ad una affermazione così travolgente.

In tutti i casi si potrebbe pensare che lo slogan potrebbe sopravvivere poco dopo il 1900, l'anno in cui Max Planck (1858-1947) propose che l'energia è composta di pacchetti o *quanta*, e quando il lavoro di Gregor Mendel (1822-1884)

sull'ereditarietà delle specie attraverso i geni (chiamate da lui *particolato, particelle discrete*) era stata validato. Ma almeno, sin dai giorni di Aristotele (384 ca. - 322 a.C.), l'umanità è stata familiare con il fenomeno naturale caratterizzato da salti drammatici: metamorfosi, la sequenza di episodi distinti da cui un uovo di insetto fa una larva, che poi si trasforma in bruco e poi diventa una farfalla. Darwin interpretò la metamorfosi come lo sviluppo di forme diverse da un singolo organismo in risposta a cambiare pressioni selettive.

I laboratori moderni sembrano essere più interessati nei processi in discussione. Avanzamenti in genetica, biochimica e microscopia sottolineano il ruolo degli ormoni nell'iniziare o finire i cambiamenti in un tessuto e la differenziazione in cellule, che sono geneticamente programmate, ma se fanno qualcosa sottolineano proprio i salti (Ryan, 2011).

La fisica solare e il problema della corona solare

Ci sono molti problemi non risolti da cui potremmo trovare spiegazioni che sono molto discontinue. Il caso di studio qui sottolineato viene dalla fisica solare. L'elevata temperatura della corona solare - 1-2 milioni di Kelvin messi in comparazione con i semplici 5700 K sulla fotosfera – è stata nota per maggior parte del secolo scorso (Edlén 1942; Miyamoto 1949).

I modelli esplicativi che oggi vanno per la maggiore invocano riscaldamento primariamente per onde e brillamenti solari, e anche se riconoscono alcune caratteristiche come la *Regione di Transizione*, in cui la temperatura passa da 10^4 K a 10^6 K (Sakurai 2017), e potrebbero essere identificati in strutture magnetiche (Ruderman, 2006), guardano implicitamente l'atmosfera solare come una unità fisica.

Uno studio recente (Vita-Finzi 2021) suggerisce che la triplice struttura dell'atmosfera solare –*cromosfera, regione di transizione*

e corona solare– sia il risultato di riscaldamento differenziale piuttosto che la sua causa.

Il *riscaldamento Ohmico* alza la temperatura della cromosfera ad almeno 30.000 K, la regione di transizione, come notato prima, raggiunge velocemente la temperatura di 1 milione di K, e che la corona solare una temperatura di circa 2 milioni K.

La farfalla e il Sole

Ci sono paralleli con la metamorfosi dell'insetto che in tre successivi passi, che dipendono da processi distinti, sono iniziati e qualche volta sospesi da un meccanismo di controllo locale.

Primo strato: la cromosfera

La cromosfera rosa, che si può guardare un pochetto durante le eclissi, deve dare il merito del colore alla ionizzazione dell'idrogeno H-alfa.

L'energia necessaria per questa trasformazione è dovuta al *riscaldamento a induzione* (o *ohmico*) generato dalla rotazione dei campi magnetici sotto la fotosfera. Questi campi nascono da colonne rotanti le cui cime possono essere viste, e che compongono una rete sulle immagini della superficie solare, un modello reso familiare sul Web dal telescopio svedese sottovuoto a La Palma e più recentemente trasmesso dal grande telescopio Inouye alle Hawaii.

Perché la cromosfera debba essere confinata nella zona relativamente poco profonda dell'atmosfera del Sole trova una spiegazione nella ricerca sulla fusione nucleare e in particolare in una versione che sfrutta i *tokamak*, quelli di una classe di reattori sperimentali chiamati *stellarator*. I *tokamak* generalmente funzionano con deuterio-trizio. Il riscaldamento ohmico di questo mix è autolimitante e può portare temperature nel reattore fino ad un massimo di circa 20

milioni di K.

Sul Sole 4,5 miliardi di anni di fusione nucleare hanno visto l'idrogeno trasformarsi in elio e il bilancio di massa rilasciato come energia. Per la miscela idrogeno + elio risultante la temperatura massima raggiunta dal *riscaldamento Ohmico* è di circa 20.000 K, un limite fissato principalmente dalla perdita di potenza alla radiazione.

La zona di Transizione

La perdita di potenza della radiazione è compensata da una notevole diminuzione dell'efficienza di raffreddamento di sei ordini di grandezza, ovvero $1.000.000 \times$, che caratterizza il plasma ad alte temperature.

Il corollario è il riscaldamento illimitato da parte della fonte prevalente. C'è qualche dibattito sulla fonte. Una possibilità è l'inverso di un **meccanismo** scoperto nel 1852 da James **Joule** (1818-1889) e William **Thomson** (in seguito nominato Lord Kelvin 1824-1907) che è ampiamente sfruttato nella refrigerazione, dove un gas si raffredda espandendosi. I tre gas che sono eccezioni al **meccanismo J / T** includono idrogeno ed elio, i principali costituenti del plasma solare, e in condizioni di laboratorio si riscaldano piuttosto che raffreddarsi espandendosi.

Un meccanismo alternativo, forse complementare, per il riscaldamento drammatico della *zona di transizione* è la **radiazione ultravioletta estrema** (EUV), che è stata rilevata nella parte superiore della cromosfera da Skylab, la prima stazione spaziale statunitense con equipaggio, nel 1973-4.

Qualunque sia il modo, le temperature in questa parte dell'atmosfera solare schizzano fino a 250.000 K.

La corona solare

Ora incontriamo un'altra fonte di riscaldamento: quella dovuta all'espansione di un plasma nel vuoto quasi perfetto dello spazio, portando temperature a 1-2 milioni di K.

Fu la combinazione di gas caldi e rarefatti e una buona conduzione del calore che portò Eugene Parker, contro molta opposizione, a postulare l'esistenza di un vento solare supersonico che soffiava nello spazio ai margini coronali.

Connessioni tra i tre strati o unità termiche

In breve, l'inizio dell'intervallo di temperatura distintivo delle tre principali suddivisioni dell'atmosfera solare è innescato dall'unità precedente.

Ma, a differenza della farfalla, il nostro prodotto viene costantemente assemblato, come fosse una versione trotskista (rivoluzione permanente) della metamorfosi.

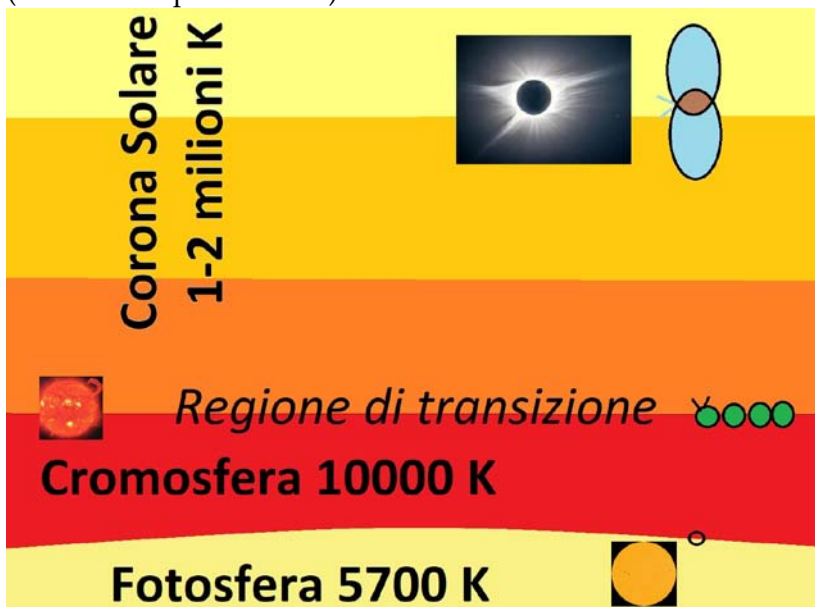


Fig. 1 L'uovo, il bruco e la farfalla: analogie biologiche per l'atmosfera solare, con icone delle immagini astronomiche.

Ringraziamenti

L'autore ringrazia Tim Oleson per i suoi commenti sulla prima versione di questa nota.

L'editore ringrazia Jacopo Mengoni per la traduzione italiana.

Referenze

Edlén B (1942) Die Deutung der Emissionslinien im Spektrum der Sonnenkorona. Z. Astrophys. 22, 30–64

Miyamoto S (1949) Ionization theory of solar corona. Publ. Astron. Soc. Jpn. 1, 10–13.

Parker E N (1958) Dynamics of the interplanetary gas and magnetic fields. Astrophys J 128: 664-676

Ruderman MS (2006) Nonlinear waves in the solar atmosphere. Phil Trans Roy Soc Lond A 364:485-504

Ryan F (2011) The mystery of metamorphosis. Chelsea Green, White River Junction, VT

Sakurai T (2017) Heating mechanisms of the solar corona. Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci 93: 87-97

Samir U et al (1983) The expansion of the plasma into a vacuum. Rev Geophys Space Phys 21:1631-1646

Truman JW, Riddiford LM (2019) The evolution of insect metamorphosis: a developmental and endocrine view. Phil Trans Roy Soc Lond B 374:20190070

Vita-Finzi C (2021) Core to solar wind: a stepwise model for heating the solar corona. arXiv:2101.08251[astro-ph.SR]