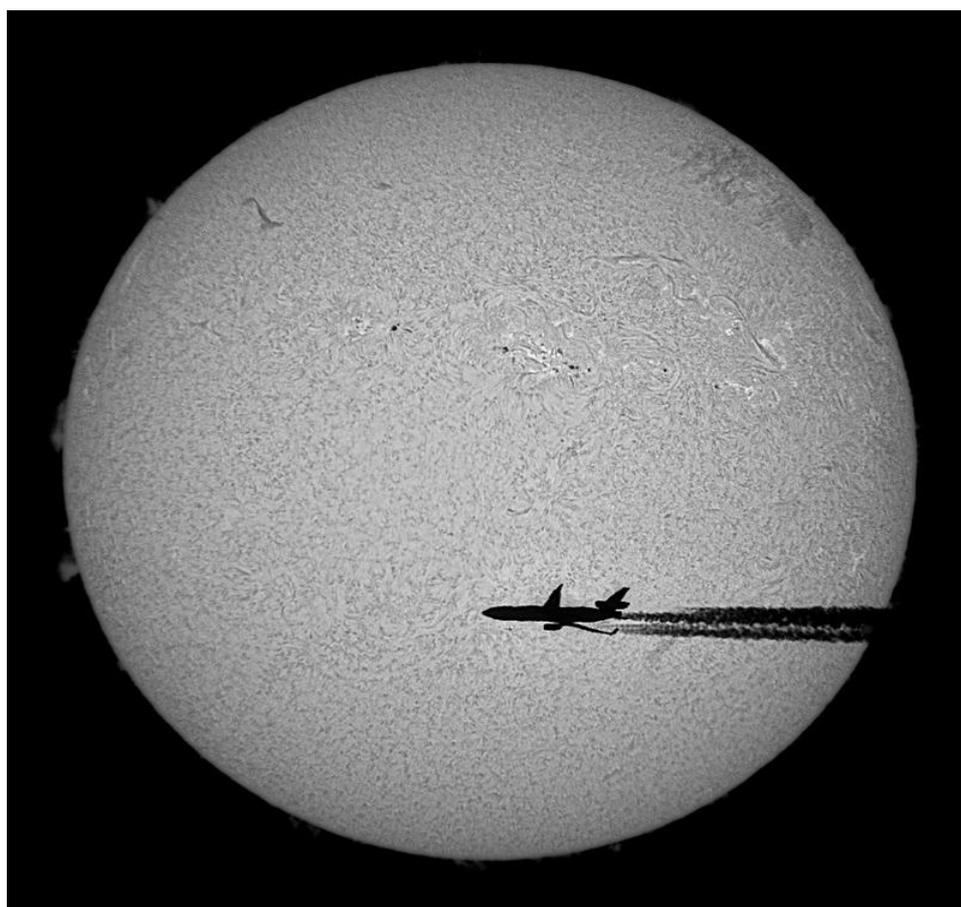


C.O.D.A.S.
Centro Osservazione e Divulgazione Astronomica
Siracusa

Presenta

Il Sole

A cura della Dott.ssa Danila Zappalà



Introduzione

Una notte stellata: centinaia di meravigliosi, piccolissimi punti luminosi si stagliano sopra di noi. E, in mezzo al cielo notturno, quella nube bianca ed evanescente che ancora, come al tempo dei Greci antichi, si chiama *Via Lattea*. Essa è il braccio più vicino a noi, e per questo meglio visibile dalla Terra, della nostra *Galassia*: una girandola larga 100 mila anni luce, formata da circa 100 miliardi di stelle.

Non sembra, ma il nostro *Sole*, di notte invisibile, si trova lì, in un braccio della girandola. Anche lui è una stella; una comunissima stella che ci apparirebbe del tutto insignificante se la osservassimo da una distanza di qualche *Anno Luce*¹.

Il *Sole*, invece, astronomicamente parlando, è a due passi da noi: si trova ad appena 150 milioni di chilometri dalla nostra Terra. *Alfa Centauri* (cioè la stella Alfa della Costellazione del Centauro), che è la stella più vicina a noi dopo il Sole, si trova ad una distanza 270 mila volte maggiore.

Un raggio di luce proveniente dal *Sole* impiega 8 minuti e 20 secondi per arrivare alla Terra, ma un raggio di luce proveniente da *Alfa Centauri* impiega 4 anni e 4 mesi per arrivare fino a noi; e tutti sanno che la luce viaggia alla velocità di 300.000 Km/sec! Questo spiega perché il *Sole*, stella di media grandezza e luminosità, dalla nostra Terra appaia così brillante e luminoso: è una questione di distanza.

Conoscere il *Sole* significa conoscere le stelle, e capire meglio i meccanismi che regolano la vita delle stelle significa capire meglio anche il *Sole* e le dinamiche che gli hanno permesso di favorire lo sviluppo della vita sul nostro pianeta.

Però, possediamo una enorme casistica di stelle: abbiamo stelle giovani e vecchie, giganti e nane, caldissime e quasi fredde, molto massicce e leggere, brillantissime e quasi oscure... Per questo motivo, come uno zoologo non potrebbe affermare di conoscere bene i felini basandosi esclusivamente sullo studio di un unico esemplare di gatto, non sarebbe possibile edificare una fisica stellare basandosi esclusivamente sullo studio di un unico esemplare di stella.

Un contributo essenziale allo studio del *Sole* è venuto dalla fisica nucleare. Grazie ad essa, oggi noi conosciamo i meccanismi che permettono alla nostra stella, così come alle altre, di irradiare energia nello spazio. All'origine c'è la fusione di atomi semplici e leggeri² in atomi più complessi e pesanti³. Nella trasformazione un po' di materia si trasforma in energia irradiando nello spazio luce e calore sotto forma di radiazioni termonucleari. Ciò avviene secondo la famosa formula di Einstein:

$$E=mc^2$$

Ossia:

Energia = Massa x velocità della luce al quadrato

In pratica, è lo stesso fenomeno che si verifica quando esplode una bomba H, solo che nelle stelle avviene in modo stabile e costante perché la forza di gravità mantiene in equilibrio la stella bilanciandone la tendenza esplosiva.

Gli altri dati essenziali relativi al *Sole* li conosciamo da tempo: esso ha un diametro della lunghezza di un milione e 400 mila Km⁴ e potrebbe contenere 300 mila pianeti grandi come la nostra Terra; la sua massa equivale a quella di 333 mila pianeti come il nostro, mentre la sua densità è pari a 1,141 grammi per centimetro cubo.

Quanto all'età del *Sole*, essa si aggira intorno ai 4,6 milioni di anni, e per almeno altrettanti milioni di anni esso continuerà a splendere in cielo come fa adesso. La sua composizione chimica è

¹ L'*Anno Luce* è l'unità di misura astronomica che determina la distanza coperta dalla luce in un anno viaggiando alla velocità di 300.000 Km/sec.

² Per lo più sono atomi di idrogeno.

³ Come gli atomi di elio.

⁴ Pari a 109 volte il diametro terrestre.

caratterizzata dalla prevalenza di idrogeno: esso, infatti, costituisce il 73,46 % del suo peso. Segue l'elio, che rappresenta il 24,85 % dell'intera massa solare, mentre tutti gli altri elementi chimici contribuiscono appena per l'1,69 %.

La temperatura nel *Nucleo* del *Sole*, che è il posto in cui avvengono le reazioni termonucleari, si aggira intorno ai 15 milioni di gradi. Sulla sua superficie, invece, chiamata *Fotosfera*, scende a 6.000 gradi⁵. E' proprio nella *Fotosfera* che sono visibili i fenomeni più caratteristici: *Macchie solari*, *Protuberanze*, e *Brillamenti*. Seguendo il movimento delle *Macchie solari* è facile scoprire che il *Sole* ruota su se stesso in circa 25 giorni. Ma la rotazione non è uniforme: la sua fascia equatoriale ruota sì in 25 giorni ma diventa un po' più lenta man mano che ci si sposta verso i Poli. Dallo studio delle *Macchie solari* e delle *Protuberanze* si è capito, inoltre, che sulla *Fotosfera* e intorno al *Sole* esistono dei fortissimi campi magnetici che, sulla Terra, orientano gli aghi delle nostre bussole.

L'energia filtra assai lentamente dalla fornace termonucleare del *Nucleo* fino alla *Fotosfera*. Infatti, sono necessari circa un milione di anni affinché i Fotoni di energia Gamma emessi nelle reazioni di fusione giungano in superficie per essere irradiati sotto forma di fotoni luminosi.

Da Galileo Galilei ad oggi, in circa tre secoli e mezzo di studio ed osservazioni, la quantità di notizie sul *Sole* e sulle altre stelle che è andata accumulandosi è enorme. Ancora oggi la ricerca continua, eppure molti interrogativi sfuggono ancora all'indagine degli astrofisici.

La storia dello studio del *Sole*, che affonda le sue radici nelle più antiche mitologie del passato e che approda alle conoscenze e agli interrogativi dei nostri anni, è tra le più affascinanti. Essa, infatti, coinvolge, direttamente o indirettamente ogni aspetto della cultura e dell'evoluzione umana.

Prima di addentrarci nel labirinto della conoscenza scientifica della nostra stella, non sarà male, quindi, volgere un fugace sguardo nel passato.

Un tuffo nel passato . . .

Regolatore del giorno e della notte, dell'estate e dell'inverno, il Sole è apparso sin dalle origini come una divinità da cui dipende in modo totale tutta la vita sulla Terra. Non c'è, quindi, da stupirsi se tra i popoli primitivi lo studio del Sole, che si riduceva per lo più a quello dei suoi moti apparenti, procede di pari passo con lo sviluppo delle religioni e con le prime espressioni di arte, letteratura e filosofia.

Tracce di antichi culti solari sono ancora visibili ai giorni nostri: la data del 25 dicembre, per esempio, che l'astronomo greco Antioco nel 200 dopo Cristo indicò come "*dies sollemnis Solis: crescit lux*"⁶, era già prima celebrata come festa solare e nel 313, quando Costantino concesse libertà di culto ai cristiani, fu adottata come giorno della nascita di Gesù⁷.

Gli uomini primitivi sapevano quanto noi che la vita sulla Terra dipende esclusivamente dal Sole. Da ciò nasceva la loro paura che questa fonte di luce e di calore potesse un giorno inaridirsi per una qualche causa misteriosa e certamente maligna. Per questo motivo, spaventati dalle eclissi⁸ e dai lunghi periodi di pioggia e di maltempo le cui fitte nubi coprivano il cielo nascondendo l'astro, i primi uomini cercavano, con il culto religioso e le offerte sacrificali, di propiziarsi la sua costanza.

Il Sole ed il suo simbolo, che è il fuoco, sono al centro di tutte le religioni delle più antiche civiltà e rappresentano le divinità positive che si contrappongono a quelle tenebrose e malvagie. Astronomi e sacerdoti, quindi, si identificano e così pure altari e osservatori astronomici finiscono con il confondersi.

⁵ Quando non è esplicitamente specificato, si intende sempre parlare di gradi centigradi.

⁶ Traduzione: "*Il giorno della solennità del Sole: In cui la luce comincia a crescere*" cioè le giornate cominciano ad allungarsi.

⁷ Evento del quale i Vangeli non forniscono precise indicazioni cronologiche.

⁸ Le eclissi rimasero per lungo tempo dei fenomeni inspiegabili e, per questo motivo, terrificanti.

In Gran Bretagna, a Stonehenge, sopravvivono gli imponenti ruderi di un tempio druidico⁹. Ciò che resta di questo Tempio è costituito da due cerchi concentrici di monoliti che raggiungono le 50 tonnellate di peso.



Il Tempio di Stonehenge

L'asse del monumento è orientato astronomicamente, con un viale di accesso al cui centro si erge un macigno detto "pietra del calcagno" o *Heel Stone*. Al solstizio¹⁰ d'estate il Sole si leva al di sopra della *Heel Stone*. Attualmente vi è, però, uno scarto di qualche minuto dovuto alla precessione degli equinozi¹¹. In base ad essa, l'astronomo Lockheyr ha calcolato la data di costruzione del Tempio megalitico di Stonehenge intorno al 1850 A.C. In base ad alcuni recentissimi studi sembrerebbe che nella disposizione dei megaliti sarebbe da intravedere un monumentale strumento astronomico utilizzato, probabilmente, per l'elaborazione del calendario agricolo in base al corso della Luna e del Sole. Al centro di questo Tempio, poi, sorge un altare e tutto attorno ad esso sono state trovate numerose tombe, come a dimostrare lo stretto legame che c'era tra religione ed astronomia. Pare, inoltre, che alcune combinazioni di questi monoliti permettessero di prevedere le maree e le eclissi di Sole e di Luna. Stonehenge, insomma, sarebbe non solo un Tempio ma anche un calendario, un osservatorio astronomico ed una calcolatrice.

Monumenti come questo, anche se meno grandiosi, non mancano in Scozia e sono chiamati *Cromlech*. Uno di essi si trova a Callanish, ma molto spesso i *Cromlech* sono semplici allineamenti di macigni detti *Menhir*.

In tempi ancora precedenti allo Stonehenge, in Irlanda i culti solari erano associati alle sepolture. Lo ha scoperto nel 1989 Thomas Ray il quale ha studiato una tomba di Newgrange nota fin dal 1699. La camera funeraria di questa tomba si trova in fondo ad un corridoio lungo 18 metri. All'alba del 21 dicembre, giorno del solstizio invernale, un raggio di luce si infila nel corridoio e, percorrendolo tutto, raggiunge la camera funeraria rivelando il criterio astronomico con cui fu concepita. Thomas Ray, con il metodo del radiocarbonio, ha stabilito che la tomba fu costruita intorno al 3150 A.C., cioè circa 1300 anni prima della costruzione del Tempio di Stonehenge. Tenendo conto della Precessione degli Equinozi, inoltre, ha scoperto che, a quel tempo, il primo raggio di Sole del 21 dicembre illuminava un graffito, disegnato sulla parete di fondo della tomba, raffigurante dei simboli magici.

⁹ Cioè eretto dai sacerdoti della casta dei Druidi.

¹⁰ Il *Solstizio* è dato da ognuno dei due punti dell'eclittica in cui il Sole, durante il suo moto apparente annuo, raggiunge i valori estremi di declinazione pari a circa $\pm 23^{\circ}27'$. Uno si verifica il 21 giugno e si chiama *solstizio d'estate*, l'altro il 22 dicembre e si chiama *solstizio d'inverno*.

¹¹ La precessione degli equinozi è data dal moto conico dell'asse terrestre intorno alla direzione perpendicolare al piano dell'eclittica. Il moto è causato dalle attrazioni gravitazionali congiunte del Sole e della Luna sulla Terra che viene così sollecitata da una forza tendente a portare l'asse di rotazione in posizione perpendicolare all'eclittica. La Terra si comporta, allora, come una trottola; descrive, cioè, un cono mantenendo il suo asse inclinato di un angolo pari a $23^{\circ}27'$ circa, rispetto all'asse dell'eclittica. Ne consegue che anche i nodi dell'equatore con l'eclittica, cioè gli equinozi, percorrono l'intera eclittica in 26.000 anni circa; il loro moto, che avviene in senso retrogrado, è detto *Precessione degli Equinozi*.

Tracce di culti solari si incontrano in tutto il mondo. Per gli Incas la divinità *Inti* è il Sole, che è il sovrano della Terra, figlio di *Viracocha*, Creatore e padre della sua personificazione umana: l'Imperatore. Attorno a Cuzco, capitale dell'Impero, sorgono ancora i *Mojones* che sono delle torri usate come "mire" per stabilire i giorni degli equinozi e dei solstizi.



Il Torreón con l'Intihuatana Incas

A Macchu Picchu, luogo sacro degli Incas, si può ancora vedere il *Torreón*, una pietra semicircolare incisa per le osservazioni astronomiche, e l'*Intihuatana*, un orologio solare ricavato dalla roccia. Anche per i Maya il Sole è il supremo regolatore di tutte le attività umane e presso gli Aztechi è assimilato ad un giovane guerriero che muore ogni sera e ogni mattina rinasce, sconfiggendo la Luna e le stelle: per nutrirlo, il popolo Azteco, gli sacrificava vittime umane.



Esempi di Templi Maya e Aztechi utilizzati per il culto e per l'osservazione astronomica

Anche presso le popolazioni primitive contemporanee africane si trovano leggende analoghe a quelle degli Aztechi, anche se, per fortuna, sono assai meno feroci.

Ma torniamo al passato. Tutto il culto degli antichi Egizi è dominato dall'adorazione del Dio Sole, che veniva chiamato *Horus* o *Kheper* al mattino quando sorge, *Ra* quando splende nel primo pomeriggio e *Atum* quando tramonta.

L'antica Eliopoli egiziana, la città del Sole, era il luogo sacro dell'astro del giorno ed, infatti, il Tempio di Abu Simbel, fatto costruire da Ramses II nel 13° secolo Avanti Cristo, era appunto dedicato al culto del Dio Sole. Dobbiamo agli Egizi alcune delle prime osservazioni astronomiche solari, in base alle quali i sacerdoti del Faraone erano in grado di prevedere le piene del Nilo e potevano, così, programmare i lavori agricoli¹².

Le Piramidi sono disposte secondo orientamenti astronomici, stellari e solari. Gli obelischi altro non erano che degli *Gnomoni*¹³.

¹² Ricordiamo che tutta l'economia agricola degli egiziani era basata sul Nilo: quando questo grande fiume entrava in piena e rompeva i margini, inondava i territori circostanti che venivano fertilizzati dalle ricche proprietà minerali che possedevano le sue acque consentendo, così, alle popolazioni di poter contare su abbondanti raccolti agricoli. Non a caso, gli Egiziani pensavano che il "Grande Nilo", così veniva chiamato, fosse un regalo che il Dio Faraone fece un giorno al suo popolo e che le sue piene altro non fossero che manifestazioni dell'amore e della benevolenza di questo Dio verso gli Egiziani.

¹³ Lo Gnomone è una asta di dimensioni variabili la cui ombra serve a segnare le ore negli orologi solari o nelle meridiane. E' il più antico strumento astronomico e consente, in base alla lunghezza dell'ombra proiettata, di calcolare l'ora misurando l'altezza del Sole sull'orizzonte.



Esempi di Gnomone Greco ed Egiziano

Gli orologi solari erano ben noti e ne esistevano di diversi tipi, alcuni dei quali erano perfino portatili; il Faraone Thutmosis III, vissuto dal 1501 al 1448 avanti Cristo, ne aveva uno e lo portava sempre con sé quando viaggiava, proprio come noi facciamo con i nostri attuali orologi da polso. La prima comparsa di Sirio, la stella più luminosa del cielo invernale¹⁴, all'alba, era per gli Egizi un punto di riferimento fondamentale per il calendario. Il loro anno, tra l'altro, era di 365 giorni esatti, ma anche gli Egiziani sapevano già che in realtà la sua durata è maggiore di circa sei ore, per cui avevano calcolato che nel corso di 1460 anni la data delle inondazioni del Nilo faceva una completa rotazione del calendario.

Ma i primi e più precisi studi sul Sole risalgono ai Babilonesi. Per i Babilonesi l'istante del tramonto del Sole rappresentava l'inizio del giorno; esso era diviso in 12 intervalli di tempo detti *Kaspu*. La misura del *Kaspu* era determinata dal Sole e corrispondeva a 30°, che è appunto l'arco di cielo che il Sole percorre in due ore.

I Babilonesi erano molto attenti alle eclissi¹⁵. La più antica eclissi su cui ci abbiano lasciato dati precisi fu quella del 19 Febbraio del 721 Avanti Cristo.

Quanto alle prime popolazioni della Grecia antica, contemporanee di Omero ed anteriori alla più antica scuola filosofica, quella di Mileto, esse non andarono oltre le astratte idee mitologiche che ritroviamo nell'*Iliade* e nell'*Odissea*.

Talete, poi, della scuola di Mileto, insegnò che le stelle sono fatte di fuoco e che il Sole illumina la Luna (di per sé oscura) e che la Terra si trova al centro dell'universo.

Anassimandro introdusse presso i Greci lo *Gnomone* e ne fece erigere uno a Lacedemonia per osservare i *solstizi* e gli *equinozi*. Riteneva che il cielo fosse di natura ignea e che il Sole fosse l'astro più lontano; in mezzo c'era la Luna e, più vicine a noi, le stelle. Insomma: tutto il contrario della realtà.

Ciò dimostra che le osservazioni astronomiche offrivano ben poco supporto alle teorie filosofiche. Anzi, io oserei dire che i Greci non osservavano affatto il cielo notturno e lo dimostra il fatto che Anassimandro non conosceva il fenomeno dell'occultazione delle stelle da parte della Luna, altrimenti avrebbe rivoluzionato la sua idea sulle distanze.

Quanto ad Anassimene, egli riteneva che il Sole e le stelle, dopo il tramonto, non passassero sotto la Terra ma svoltassero a settentrione. L'aria, principio universale, si incaricava di sostenere i corpi celesti, Sole incluso. Sole, Luna e Terra erano ritenuti oggetti piatti. Quanto al calore del Sole, esso sarebbe stato prodotto dalla rapidità del suo moto, mentre le stelle non riescono a trasmetterci calore perché troppo distanti.

Nei suoi ultimi anni di vita, Platone si convinse del movimento della Terra e si pentì di averla collocata al centro del Cosmo.

¹⁴ Che un buon astrofilo non confonde mai con pianeti come Giove o Venere.

¹⁵ Si hanno le eclissi quando Sole, Terra e Luna si trovano allineati, ma occorre che l'allineamento coincida anche con i punti di intersezione dell'orbita lunare con l'eclittica (che è il piano dell'orbita terrestre che segna il percorso che la Terra compie intorno al Sole). Questi punti di intersezione sono detti *Nodi*.

Ed Aristarco, invece, esponente della scuola di Alessandria, dove si trovava il maggior centro intellettuale di quel tempo, riteneva che le stelle fossero infinitamente lontane ma di natura non diversa da quella del Sole, al quale attribuiva un diametro sette volte maggiore di quello terrestre e un volume 300 volte più grande. Inutile dire che per aver “fatto muovere la Terra” fu accusato di empietà.

Intanto, però, ad Alessandria, sorgeva un osservatorio astronomico che permise di effettuare le prime misurazioni astronomiche. Aristarco ed Eratostene ne furono i precursori.

Ma il sistema del mondo che ormai si era affermato era quello geocentrico di Aristotele. Ciò, tuttavia, non impedì successivi progressi. Ipparco, per esempio, catalogò oltre 1000 stelle, classificandole in base alla luminosità nelle 6 magnitudini allora adottate. Volle, in questo modo, redigere una mappa del cielo a cui ricorrere in caso di improvvisi cambiamenti, dopo che nel 134 Avanti Cristo gli capitò di osservare una “nuova stella”¹⁶, comparsa dal nulla nella costellazione dello *Scorpione*. Aristarco scoprì, inoltre, la *Precessione degli Equinozi* e riuscì a predire esattamente le eclissi di Sole e di Luna.

Sarà, infine, Tolomeo a completare il monumento delle conoscenze astronomiche dell’antichità fissando nel suo *Almagesto*¹⁷ il geocentrismo di origine aristotelica e tutte le nozioni celesti accumulate in 4000 di storia, dalla prima civiltà mesopotamica alla cultura ellenistica.

Da allora, il sapere astronomico rimarrà come congelato attraverso la lunga notte della decadenza romana prima e del medioevo poi, fino al Rinascimento ed alla svolta intellettuale impressa da Copernico, Keplero e Galileo. Purtroppo, però, come ci insegna Galileo, la rifondazione dell’astronomia non fu per niente indolore...

Galileo Galilei e l’osservazione del Sole

Che Copernico, Keplero e Galileo abbiano messo il Sole al posto che gli compete al centro del Sistema Solare, è fuor di dubbio.

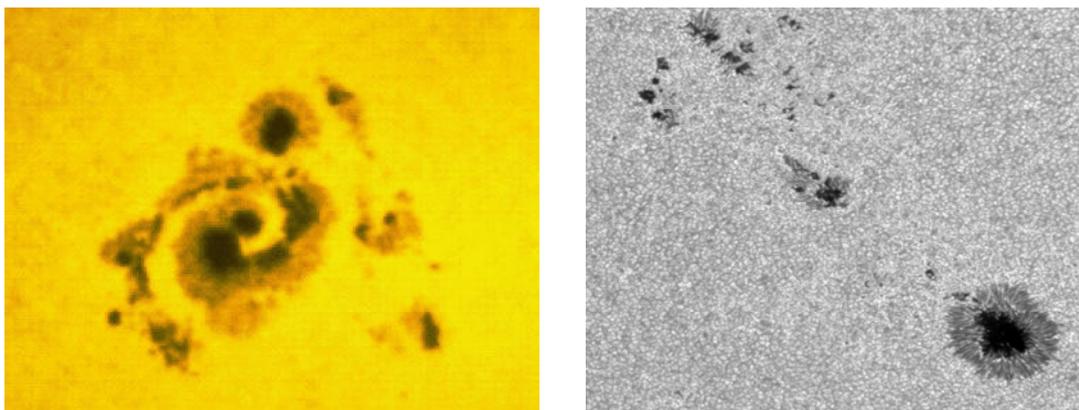
L’anno magico è il 1609, cioè l’anno in cui Galileo rivolge al cielo il suo rozzo e artigianale cannocchiale che gli permise di scoprire le montagne della Luna, i satelliti di Giove, le fasi di Venere e le migliaia di stelle che popolano la nostra Galassia. Sollecito nell’annunciare al mondo questi nuovi panorami celesti, Galileo fu invece assai cauto nel rivelare i risultati delle osservazioni compiute sul Sole. Ciò che colpisce immediatamente chi punta il suo strumento sul Sole¹⁸ è la visione delle *Macchie Solari*¹⁹ che sono delle regioni scure della *Fotosfera* solare che, a volte, non sono visibili per giorni, settimane o addirittura mesi.

¹⁶ Probabilmente una *Supernova*, termine con cui si indica lo stadio finale evolutivo di giovani stelle massicce che terminano la loro esistenza con un’immane esplosione. Al culmine del fenomeno, le *Supernovae* presentano una luminosità anche decine di miliardi di volte maggiore di quella originale. L’energia irradiata è enorme e la stella viene completamente distrutta; dopo l’esplosione, rimane solo una nube gassosa in rapida espansione.

¹⁷ Tradotto dagli Arabi in *Al Magisti*.

¹⁸ Senza dimenticare di prendere tutti i necessari accorgimenti a tutela della vista. Galileo, quando osservava il Sole, applicava al suo cannocchiale delle lenti accuratamente affumicate, tuttavia alla fine diventò...cieco!

¹⁹ Le *Macchie Solari* sono zone scure della *Fotosfera* solare. Si presentano costituite da un’area centrale più scura, detta nucleo od ombra, e da una regione circostante chiamata penombra. La loro vita, comprendente una comparsa, uno sviluppo ed una scomparsa, è in media di qualche settimana e spesso la formazione di queste macchie avviene a gruppi. La frequenza di apparizione è ciclica con un periodo medio di 11,1 anni. La causa delle macchie è da attribuirsi a forti campi magnetici.



Macchie Solari osservate ad elevati ingrandimenti dalla Terra

Altre volte, invece, le Macchie Solari sono visibilissime e numerosissime: il loro numero, infatti, varia ciclicamente in un periodo che dura, in media, circa 11 anni. Probabilmente, un massimo di questa attività solare si ebbe intorno al 1612, periodo in cui Galileo effettuava le sue osservazioni sul Sole. Egli, per la verità, afferma di aver osservato le prime macchie nel 1610 in una missiva²⁰ di risposta indirizzata a padre Scheiner, il quale si attribuiva la priorità della scoperta; ma rimane il fatto che Galileo aspettò fino al 1612 per redigere per iscritto un vero e proprio resoconto di queste sue osservazioni, forse perché, essendosi convinto del fatto che esse si trovassero sulla superficie dell'astro, si rese conto del carattere rivoluzionario della scoperta. Il Sole, infatti, all'epoca di Galileo, era considerato l'astro incorruttibile per eccellenza, secondo la concezione aristotelica del cielo e degli astri accettata universalmente dalla Chiesa. La scoperta di Galileo dimostrava, invece, che anche il Sole, al pari degli altri corpi celesti da lui osservati, era soggetto a cambiamenti e a "degradazioni"²¹. Il colpo fu mal assorbito: molti cercarono di negare la connessione tra le macchie ed il Sole. Alcuni parlarono di fenomeni atmosferici terrestri e padre Scheiner stesso le considerò stelle o pianeti intramercuriali²², probabilmente, anche grazie alla missiva, precedentemente citata, di Galileo nella quale lo scienziato scriveva allo Scheiner: "Il Sole è perfetto e quindi non può avere macchie sulla sua superficie..." Altri ancora le considerarono scorie provenienti dall'interno del Sole o sorgenti di comete. Perfino Keplero, che le osservò nel 1613, ritenne che fossero delle nuvole perché non si muovevano sul Sole tutte alla stessa velocità ma si sparpagliavano per poi ricomporsi. Pur nei suoi errori, però, fu merito di padre Scheiner, invece, la scoperta della migrazione delle macchie dalle latitudini più alte verso l'equatore, nel corso di qualche anno²³. Scrive Galileo " Da i particolari sintomi del qual movimento si viene in cognizione, prima che il corpo del Sole è assolutamente sferico; secondariamente, ch'egli in se stesso e circa il proprio centro si raggira, portando seco in cerchi paralleli le dette macchie, e finendo un'intera conversione in un mese lunare in circa, con rivolgimento simile a quello degli orbi²⁴ dei pianeti..."²⁵. A Galileo, quindi, si deve la scoperta della sfericità del Sole²⁶ e della rotazione intorno al proprio asse sua e delle Macchie Solari.

²⁰ Cioè una lettera.

²¹ Così chiamava e considerava, inizialmente, Galileo le *Macchie Solari*.

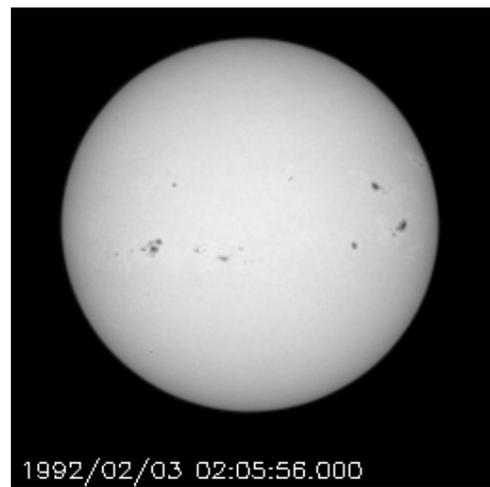
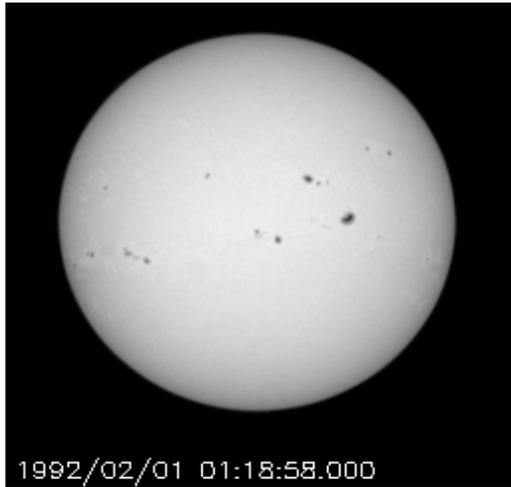
²² Cioè pianeti la cui orbita era interna a quella di Mercurio.

²³ Le prime macchie di un ciclo solare compaiono, infatti, ad una latitudine di circa 40°, le successive si manifestano a latitudini via via inferiori.

²⁴ Cioè delle orbite.

²⁵ Brano tratto dalla seconda lettera inviata da Galileo a padre Scheiner, il quale chiedeva il parere dello scienziato sulla possibile natura di queste macchie.

²⁶ Ricordiamo che secondo la concezione aristotelica di quel tempo, si credeva che il Sole fosse piatto come la Terra e che a noi apparisse sferico per un effetto ottico della luce.



Rotazione del Disco Solare e delle Macchie Solari intorno all'asse di rotazione dell'astro osservate dalla Terra con apposito filtro solare

Uno sguardo alle origini: la nascita del Sole

Il 1642 è una data importante per l'astronomia. In quell'anno moriva Galileo e nasceva Newton. Pochi sanno, però, che nel 1642 John Lightfoot, accademico dell'Università di Cambridge, stabilì che l'Universo fosse stato creato il 17 settembre del 3928 Avanti Cristo, esattamente alle 9 del mattino!

Qualche tempo dopo, James Ussher, retrodatava moderatamente questa data e fissava la nascita dell'Universo al 23 ottobre del 4004 Avanti Cristo. Non altrettanto precisi sono i cosmologi moderni che, invece, collocano l'*Istante Zero*²⁷ tra i 12 e i 20 miliardi di anni fa.

Oggi, comunque, la cosmologia si fonda su due dati ben precisi:

- 1) Tutte le Galassie si allontanano con una velocità tanto maggiore quanto maggiore è la distanza;
- 2) L'intero Universo è permeato da un fondo di radiazione elettromagnetica uniforme²⁸, simile a quella che emetterebbe un corpo nero²⁹ alla temperatura di circa 3 gradi Kelvin.

Questi due indizi suggeriscono che in un tempo molto lontano l'insieme delle Galassie che ora osserviamo in vertiginoso allontanamento doveva occupare uno spazio molto più piccolo e che la temperatura dell'Universo doveva essere decisamente molto più alta.

In base all'attuale velocità di espansione delle Galassie ed alla *Radiazione Fossile* si giunge ad individuare una grande esplosione primordiale³⁰ collocata, appunto, tra i 12 e i 20 miliardi di anni fa. Secondo le più moderne teorie della fisica, in quell'abbagliante *Istante Zero*, la temperatura tendeva all'infinito e le dimensioni a zero. Non ci addentreremo in questo discorso sebbene esso sia molto affascinante; basterà dire che le teorie della fisica moderna riescono a

²⁷ Cioè l'istante in cui fu creato l'Universo.

²⁸ Chiamato appunto *Radiazione Fossile*.

²⁹ Il *corpo nero*, in fisica, è ogni corpo in grado di assorbire completamente tutte le radiazioni elettromagnetiche incidenti sulla sua superficie. In natura non esistono corpi di questo genere ma in laboratorio è possibile costruire dei modelli che, a determinate condizioni, sono in grado di simularne abbastanza fedelmente il comportamento. Lo studio dello spettro di emissione dei *corpi neri* è di fondamentale importanza in astrofisica perché, essendo alla base della teoria dei quanti, ha portato alla determinazione della *Radiazione Cosmica di Fondo*.

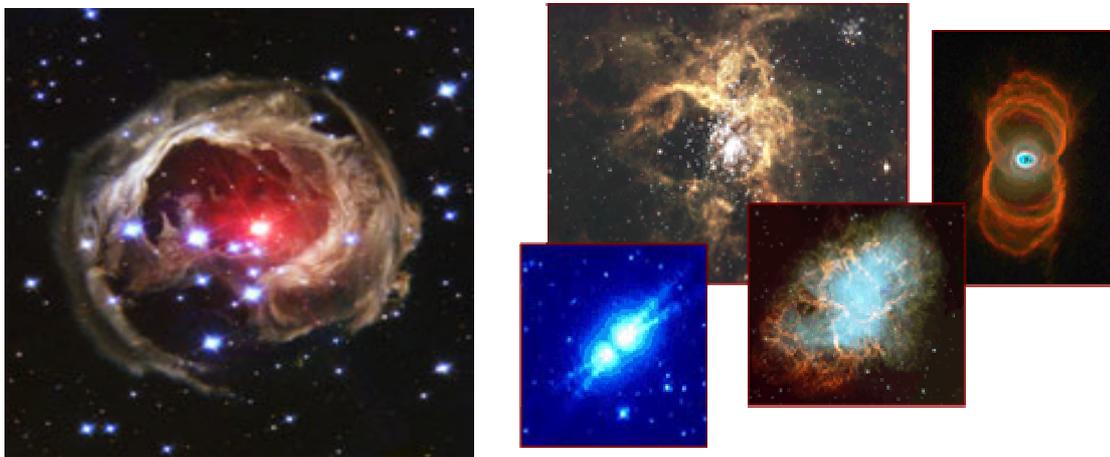
³⁰ Il *Big Bang* che tradotto significa, appunto, grande esplosione.

descrivere abbastanza bene quello che può essere successo dai primissimi istanti della nascita dell'Universo fino ad oggi. Tuttavia, la piena comprensione del *Big Bang* richiede una teoria quantistica della gravitazione³¹ che, nonostante gli sforzi compiuti da studiosi come Stephen Hawking, non possediamo ancora.

Accontentiamoci dell'evidenza: l'Universo esiste e probabilmente è nato circa 20 miliardi di anni fa da un'immane esplosione di energia che ha creato, nello stesso istante, la materia, lo spazio ed il tempo.

La materia si è, poi, organizzata in stelle e Galassie.

Da questa esplosione uscirono essenzialmente 2 elementi chimici: l'idrogeno e l'elio, nel rapporto di circa 9 a 1. E' con l'idrogeno e l'elio che si sono formate le prime stelle. Tutti gli altri elementi chimici, tutti più complessi e pesanti, derivano da reazioni di fusione nucleare avvenute nelle stelle di prima generazione e dall'esplosione delle stelle più massicce trasformatesi in *Supernovae*.



Esempi di ciò che resta di una stella dopo la sua esplosione

Il Sole contiene discrete quantità di elementi chimici pesanti, non c'è dubbio, perciò, che si tratti di una stella nata da materia "riciclata" da astri vissuti prima e poi esplosi.

Il Sole è nato circa 5 miliardi di anni fa, quando l'Universo aveva già due terzi della sua attuale età. George Herbig è il primo uomo che ha visto la nascita di una stella. Il secondo è stato l'astronomo messicano Guillamero Haro. Anzi, per l'esattezza, sono entrambi riusciti ad osservare alcuni feti stellari avvolti nella loro placenta cosmica, una Nebulosa, cioè, che mostra confusi nuclei di condensazione dai quali, appunto, nasceranno le stelle³². Ebbe tutto inizio quando, nel lontano 1947 Herbig scattò una serie di fotografie alla Nebulosa *NGC 1999*³³. Questa Nebulosa si trova a Sud della Spada di *Orione*³⁴ ed Herbig vi riconobbe 3 nuclei luminosi che, in seguito, furono osservati anche da Haro. Per questo motivo, tali nuclei sono chiamati *oggetti di Herbig-Haro 1, 2 e 3*. Da allora è stato un susseguirsi di scoperte simili: oggi si conoscono più 100 Nebulose con uno o anche più nuclei di condensazione; le stelle, infatti, hanno una "spiccata tendenza" per i parti...plurigemellari!³⁵

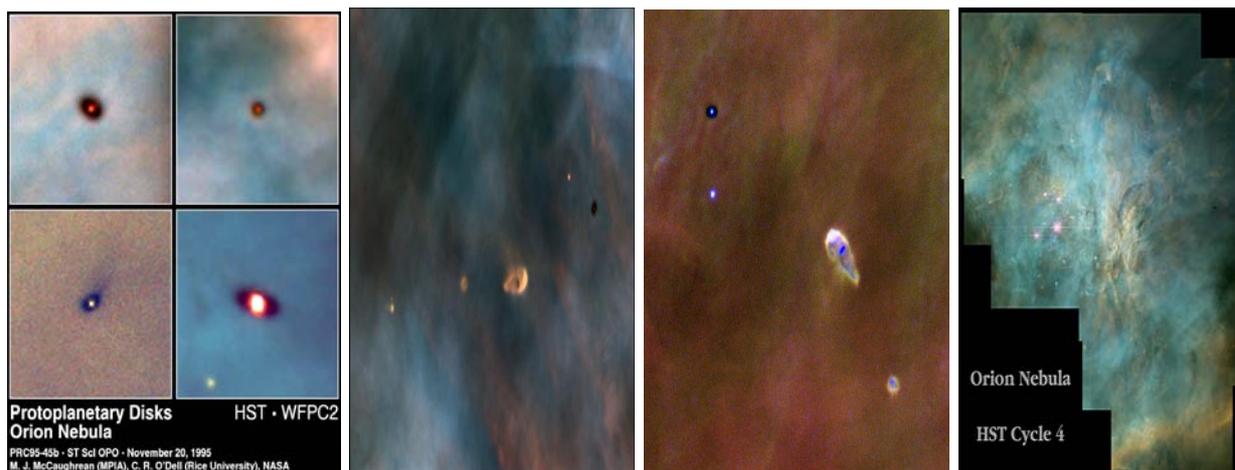
³¹ Cioè una teoria che metta d'accordo la Teoria della Relatività di Einstein con la Teoria della Meccanica Quantistica.

³² Naturalmente la gestazione richiederà alcuni milioni di anni.

³³ Cioè 1999° oggetto registrato nel *Nuovo Catalogo Generale* compilato dall'astronomo danese Johan Dreyer nel 1888, che cataloga 7840 oggetti celesti.

³⁴ La Costellazione di Orione è una delle più famose e facilmente individuabili costellazioni invernali del nostro cielo notturno.

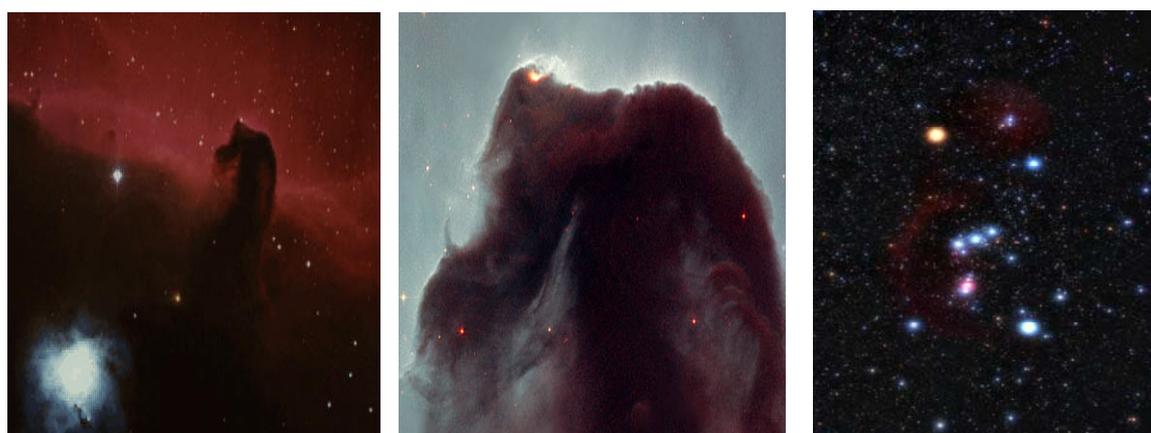
³⁵ Ciò è dimostrato dal fatto che nella Galassia sono più numerosi i sistemi multipli di stelle che le stelle singole come il nostro Sole.



Nebulosa di Orione con Dischi Protoplanetari e Protosolari

Ma... come si avvia il processo di condensazione che porterà alla nascita di una stella?

Come ci ha suggerito lo stesso Newton, è sufficiente che in una nube di idrogeno ed elio si crei casualmente qualche disomogeneità affinché, poco per volta, la materia cominci a “cadere” verso il nucleo di condensazione, accrescendone la massa e facendone, quindi, aumentare anche la Forza di Gravità. Ad un certo punto la nube collassa³⁶ e si organizza in una struttura approssimativamente sferica intorno al nucleo di condensazione. Contraendosi ulteriormente, poi, la sua temperatura interna aumenta vertiginosamente e, raggiunta nel centro una temperatura di alcuni milioni di gradi e con una fortissima pressione, si innescano le reazioni nucleari di fusione dell'idrogeno in elio³⁷ e in quel momento...è proprio nata una stella! Si è creduto a lungo che tra una stella e l'altra vi fosse il vuoto assoluto, ma ciò non è affatto vero, come indicato dal fatto che in certe direzioni la luce delle stelle ci appare arrossata o addirittura completamente assorbita. Ci sono dunque nubi di materia oscura, in alcuni punti più densa ed in altri meno. I *Sacchi di carbone* visibili dall'emisfero australe non lontano dalla *Croce del Sud*³⁸ sono un tipico esempio di nube interstellare molto densa. Anche nel nostro cielo boreale sono visibili numerose nubi oscure. Le più vistose sono visibili tra il *Cigno* e l'*Aquila*³⁹. Senza ombra di dubbio, però, la nube oscura più famosa del cielo boreale è la *Nebulosa Testa di Cavallo* visibile nella costellazione invernale di *Orione*, accanto alla cintura del grande cacciatore⁴⁰.



Nebulosa Testa di Cavallo in Orione

Costellazione invernale di Orione

³⁶ Cioè si riversa verso il centro.

³⁷ Questo processo di fusione è detto *ciclo protone-protone* del Sole.

³⁸ La *Croce del Sud* è la più famosa costellazione del cielo australe; essa non è, quindi, visibile dal nostro emisfero.

³⁹ Sia il *Cigno* che l'*Aquila* sono costellazioni estive visibili dal nostro emisfero boreale.

⁴⁰ Così era chiamato *Orione* quando venne collocato in cielo dagli Dei, nella mitologia greca.

Benché il vuoto assoluto nella Galassia non esista in quanto tutto lo spazio è riempito da un rarefattissimo pulviscolo di atomi e particelle elementari, concentrazioni di materia interstellare così dense da formare delle nubi si trovano soltanto sul piano equatoriale della Galassia, precisamente nei suoi bracci a spirale. E' qui, quindi, che troviamo le placente nebulari in cui si formano le stelle. Fuori dai bracci a spirale della Galassia non c'è abbastanza materia oscura. L'*Alone Galattico*⁴¹, per esempio, che è formato da stelle vecchissime che hanno probabilmente la stessa età della Galassia⁴², non ha nubi interstellari: ciò significa che non vi nascono più stelle.



Esempi di Galassie con Alone Galattico intorno al Nucleo

E cosa feconda una gelida nube interstellare avviando la gestazione di nuovi astri?

Una risposta l'abbiamo già data: una casuale disomogeneità e la conseguente instabilità gravitazionale. Questo processo, però, da solo non basta.

Secondo alcuni accademici dell'Università di New York, l'innesto avverrebbe sotto la spinta di un'onda gravitazionale che ruoterebbe in ogni Galassia lungo il suo piano equatoriale; anche la formazione dei bracci galattici, secondo questa teoria, sarebbe spiegabile dalla presenza di quest'onda.

Altri hanno pensato ad instabilità gravitazionali avviate dalle differenti temperature che sono presenti in queste nubi.

Altri ancora, hanno attribuito l'innescò alla presenza di forti campi magnetici.

Ma l'ultima ipotesi, che secondo me è anche la più plausibile, e che è stata avanzata dagli scienziati dell'Osservatorio irlandese di Armah negli anni '50, si fonda sulla forza di impatto generata dalle onde d'urto che si creano quando esplose una stella massiccia: l'onda d'urto di una *Supernova*, per esempio, scuotendo il mezzo interstellare e creando addensamenti irregolari, potrebbe benissimo avviare i processi per la formazione di nuove stelle. Infatti, una stella che esplose emette in poche ore tanta energia quanta una stella normale può irradiare nella sua intera esistenza.

Tuttavia, le condizioni per cui la gestazione proceda sono abbastanza restrittive. Fattore determinante affinché la nube non "abortisca" e dia origine ad una *Protostella*⁴³ è la sua massa. Se la massa della nube è troppo piccola, dopo essersi contratta un po' per la gravità, e dopo che la contrazione ha fatto aumentare la sua temperatura interna, essa torna ad espandersi sotto l'azione termica. Più la nube è trasparente e più lascerà sfuggire il calore e avrà la possibilità di

⁴¹ L'*Alone Galattico* è un circolo luminoso leggermente iridato che circonda il Nucleo della Galassia.

⁴² L'età della nostra Galassia è stimata intorno ai 10 miliardi di anni.

⁴³ Il termine *Protostella* indica la fase iniziale del ciclo evolutivo della stella. Si ha quando in un ammasso di gas e polveri in fase di contrazione gravitazionale la temperatura diventa tanto alta da avviare la reazione termonucleare. Quando la reazione termonucleare è avviata, si dice che è nata una nuova stella.

portare a termine la “gravidanza”: soltanto le nubi più massicce riescono a far prevalere la contrazione gravitazionale sull’espansione termica.

L’evoluzione della nube in *Protostella* può richiedere tempi lunghissimi, anche milioni e milioni di anni. Ma quando la *Protostella* raggiunge la giusta densità, incomincia a contrarsi in caduta libera verso il centro e quando la sua temperatura interna arriverà a toccare i 10 milioni di gradi, scoccherà la scintilla della reazione termonucleare e la stella si “accenderà” irradiando nello spazio luce e calore.

Da quel momento il destino della nostra cara stella dipenderà esclusivamente dalla sua massa: se essa è prossima a quella del Sole, l’attenderà una lunga e tranquilla esistenza⁴⁴; se è più massiccia vivrà ad un ritmo più accelerato; mentre se ha una massa inferiore a quella del Sole, potrebbe succedere che essa, a volte dopo aver brillato per brevissimo tempo, non riesca ad innescare le reazioni termonucleari e quindi non si “accenda”.

E’ il caso, per esempio, del pianeta gassoso *Giove* che, avendo una massa pari ad 1/1000 di quella del Sole, dovremmo considerare più che un pianeta, una stella mancata.

Gli *oggetti Herbig-Haro* sono tra i più giovani e attraversano ancora la fase di contrazione gravitazionale.

La fase di *ProtoSole* della nostra stella è durata circa 100 mila anni. Poi, il principio di produzione dell’energia incominciò ad essere quello espresso dalla celebre formula di Einstein:

$$\text{Energia} = \text{Massa} \times \text{velocità della luce al quadrato}$$

Da quel momento il Sole, diventato adulto, è entrato nella cosiddetta *Sequenza Principale*⁴⁵ e termina, così, la sua “preistoria stellare”. Il *ProtoSole* è diventato il Sole che tutti osserviamo ogni giorno: una grossa bomba H, tranquilla ed in perfetto equilibrio tra produzione ed emissione di energia; un equilibrio che ha, in apparenza, del miracoloso e dal quale dipende da sempre, tutta la nostra vita.

Il moto del Sole

Tutta la nostra Galassia ruota su se stessa. Essa non ruota, però, come fa un corpo rigido, a parte forse la regione centrale. Il moto dei bracci segue le leggi del moto di Keplero; le stelle, cioè, percorrono orbite intorno al nucleo, dove è concentrata la maggior parte della massa galattica, e si muovono tanto più lentamente quanto sono lontane dal centro.

Il Sole, percorre un’orbita lunga 188 mila anni-luce e compie un intero giro intorno al *Nucleo Galattico*, portandosi dietro tutto il Sistema Solare, in circa 226 milioni di anni. Naturalmente, al pari del nostro Sole, anche tutte le altre stelle della Galassia, con più o meno lievi differenze di velocità, orbitano intorno al *Nucleo Galattico*. Questo è il motivo per cui le costellazioni che osservavano in cielo, per esempio, gli antichi Greci, avevano una forma leggermente diversa da quella che hanno adesso.

Il Sole procede in direzione della costellazione di *Ercole* e la direzione verso cui punta la rotta del Sole si chiama *Apice*⁴⁶. Le sue coordinate sono 30° Nord di *Declinazione*⁴⁷ e 18 ore di

⁴⁴ Oltre 10 miliardi di anni di tranquillissima vita.

⁴⁵ La *Sequenza Principale* è una classe di stelle del tipo del Sole in cui l’energia è ottenuta dalla trasformazione termonucleare dell’idrogeno in elio. Ogni stella appena creata appartiene alla *Sequenza Principale* e se ne allontana nel corso della sua evoluzione.

⁴⁶ L’*Apice* è il punto di convergenza sulla sfera celeste di una stella, per effetto del suo moto dentro la Galassia. Considerando il movimento del Sole con tutto il Sistema Solare rispetto a tre assi che hanno origine nel baricentro di un insieme di stelle vicino al Sole, si trova che la componente della velocità del Sole lungo la direzione dell’*Apice* è di 19,5 +/- 1 Km/s e che le coordinate equatoriali dell’*Apice* del moto, che si trova nella costellazione di *Ercole*, misurano rispettivamente 270° +/- 1° e 30° +/- 1°.

*Ascensione Retta*⁴⁸. L'*Apice* si trova presso la stella *Xi* della costellazione di *Ercole*, a metà tra *Ercole* e la *Lira*.

Il moto del Sole fu scoperto nel 1783 da F. W. Herschel, il quale ne indicò l'*Apice* approssimativo presso la stella *Lambda Erculis*⁴⁹ sulla base dell'osservazione di appena 36 *moti propri*⁵⁰ di stelle allora noti.

Famiglie di stelle

Il Sole non è né troppo freddo, né troppo caldo. La sua superficie vanta una temperatura pari a 6000°C e costituisce una via di mezzo tra quella di certe stelle fredde di colore rosso cupo che hanno una temperatura superficiale di 3000°C, e quella di altre stelle azzurre la cui temperatura in superficie supera, invece, i 40000°C. Anche la sua massa è intermedia; alcune stelle instabili, infatti, hanno una massa pari a 50-70 volte quella del Sole, mentre moltissime, rispetto ad esso, pesano soltanto 1/50.

Ci sono stelle con un diametro di centinaia di milioni di km e *Nane Bianche*⁵¹ perfino più piccole della Terra. Il Sole sta nel mezzo, con un diametro di un milione e 400 mila km.

Certe stelle, poi, brillano fino ad un milione di volte di più del Sole mentre altre, invece, emettono appena un decimillesimo della sua luce.

“Come avviene per certi onesti e solidi cittadini di estrazione borghese” scrive il giornalista Piero Bianucci⁵² “il Sole è stabile ed in sicuro equilibrio proprio in quanto mediocre...”.

Pur non essendo d'accordo con questa sua affermazione, trovando il paragone assai poco piacevole e inadeguato, mi tocca ammettere che per certi versi, e soltanto per quelli, Bianucci ha ragione.

Per convincersene, scrive lo stesso Bianucci, basta paragonare il nostro Sole a qualsiasi altra stella. La sua stessa luminosità, che gli scienziati chiamano *Magnitudine Assoluta*⁵³, confrontata, per esempio, con quella di stelle come *Sirio*⁵⁴, *Rigel*⁵⁵ o *Betelgeuse*⁵⁶, è del tutto irrilevante.

⁴⁷ La *Declinazione* è l'arco di circolo orario di un astro compreso tra l'*Equatore Celeste* e l'astro stesso. La sua individuazione è compito dell'*astrometria* che è una branca dell'astronomia che si occupa della determinazione della posizione e dei moti dei corpi celesti. L'insieme delle nozioni geometriche che concorrono a fissare la posizione di un corpo celeste è noto con il nome di *astronomia sferica*. L'*astronomia sferica* si occupa solo di determinare la posizione degli astri, senza considerare la distanza di questi dall'osservatore.

⁴⁸ L'*Ascensione Retta* è il tempo che intercorre fra la culminazione del *Primo punto di Ariete* e quella di un corpo celeste. Il *Primo Punto di Ariete* corrisponde all'*Equinozio di primavera*.

⁴⁹ Cioè la stella *L* della costellazione di *Ercole*.

⁵⁰ Il *moto proprio* di una stella è il suo spostamento angolare annuo sulla sfera celeste. Le stelle, infatti, sono in movimento nello spazio con una velocità che possiamo pensare scomposta lungo due componenti: una radiale, nella direzione Terra-stella; l'altra tangenziale alla sfera celeste. Quest'ultima componente, misurata in secondi d'arco in un anno, costituisce il moto proprio della stella.

⁵¹ La *Nana Bianca* è una piccola stella, molto densa, che ha completamente esaurito il suo combustibile nucleare e ha subito, perciò, un collasso.

⁵² Piero Bianucci, *Il Sole*, GIUNTI Ed. 1992 Firenze, pag. 101.

⁵³ La *Magnitudine Assoluta* misura la luminosità che una stella avrebbe se si trovasse a 10 *parsec*, cioè 32,6 anni-luce, da noi. 1 *parsec* misura 3,26 anni-luce e un anno-luce corrisponde alla porzione di spazio coperto dalla luce in un anno, viaggiando alla velocità di 300.000 Km/sec.

⁵⁴ *Sirio* è la stella più brillante del cielo invernale e si trova sotto *Orione*, nella costellazione del *Cane Maggiore*. Ha una magnitudine di -1,46 ed è una splendida *Stella Bianca* distante da noi 8,7 anni luce. Essa ha una compagna *Sirio B* che è una *Nana Bianca* e che le orbita intorno con un periodo di 50 anni. Lo splendore di *Sirio* oscura quello di *Sirio B* e, pertanto, anche quando le due stelle sono alla massima distanza orbitale tra loro, *Sirio B* è visibile soltanto con un telescopio di almeno 200 mm e in condizioni atmosferiche favorevoli.

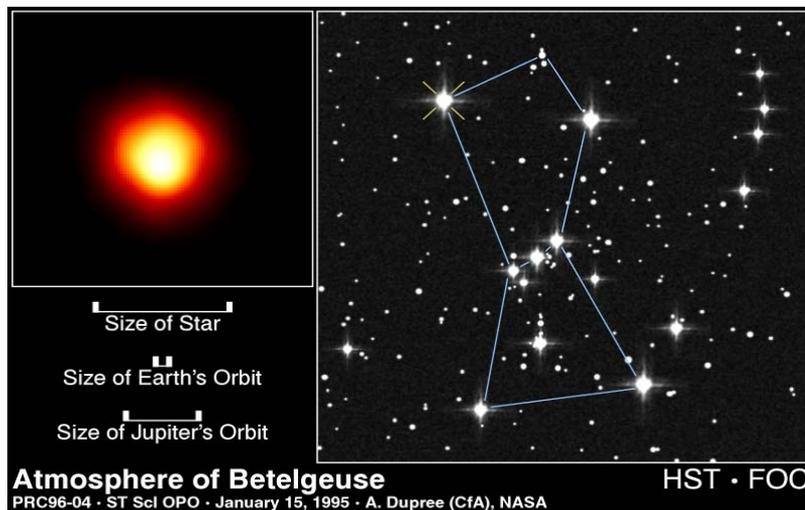
⁵⁵ *Rigel* è la stella *Beta* della costellazione di *Orione*. Ha una magnitudine di 0,1 ed è una *Supergigante Azzurra*. Dista dalla Terra 910 anni luce ed ha una compagna di settima magnitudine che, però, è difficile da vedere con i piccoli telescopi a causa della grande luminosità della stella principale.

Se allontanassimo il Sole fino a 10 *parsec*, lo vedremmo come una piccolissima stella di *Magnitudine* ⁵⁷4,5; esso sarebbe, cioè, ancora visibile ma si confonderebbe con le stelle più deboli. *Sirio*, invece, che è la stella più luminosa del nostro cielo invernale, collocata ad una distanza di 10 *parsec*, brillerebbe 27 volte più del Sole.

Ma la luminosità non è l'unico carattere distintivo di una stella, anche la sua massa lo è, ed è anche il più rilevante.

Ad un estremo, troviamo stelle come *LHS 2924*, scoperta nel 1983, con una massa pari a 6 centesimi di quella del Sole⁵⁸ e una luminosità pari a 1/1.200.000. Ciò significa che, se essa fosse al posto del Sole ci illuminerebbe più o meno come fa la Luna al primo quarto. Con massa inferiore a tale valore, nessuna stella riuscirebbe ad innescare le reazioni termonucleari. All'altro estremo, troviamo stelle come *HD 47129* che ha una massa pari a quella di 65-75 stelle come il Sole ed una luminosità 2 milioni e mezzo di volte maggiore. Per mantenere il clima che ha attualmente la nostra Terra, se orbitasse intorno a *HD 47129*, dovrebbe stare ad una distanza 55 volte maggiore di quella tra Plutone⁵⁹ e il Sole.

Tutto questo, però, non deve indurci a credere che il nostro Sole sia proprio così insignificante, anzi: è tra le stelle più comuni che abbiamo. In un raggio di 18 anni-luce, infatti, che colloca intorno a noi ben 44 stelle, soltanto 4 di esse brillano più del Sole: *Sirio*, *Prozione*⁶⁰; *Altair*⁶¹ e *Alfa Centauri*⁶².



Dimensioni di Betelgeuse, stella Alfa della costellazione di Orione, paragonate alle dimensioni dell'orbita del pianeta Terra e del pianeta Giove

⁵⁶ *Betelgeuse* è la stella *Alfa* della costellazione di *Orione*. E' una *Supergigante Rossa* ed è tanto grande da essere fortemente instabile. Dista dalla Terra 310 anni luce e le sue dimensioni fluttuano irregolarmente da circa 300 a 400 volte il diametro del nostro Sole. Contemporaneamente, la sua *magnitudine* varia da 1,3 a 0,4.

⁵⁷ La luminosità di una stella è tanto maggiore quanto minore è il valore della sua *Magnitudine*. Quindi, una stella di *Magnitudine* 4,5 è più luminosa di una stella di *Magnitudine* 10, e una stella di *Magnitudine* - 1 è più luminosa di una stella di *Magnitudine* 1.

⁵⁸ Cioè, approssimativamente, simile a quella di 60 pianeti come Giove messi insieme.

⁵⁹ Plutone è l'ultimo pianeta del Sistema Solare ed è anche il più lontano.

⁶⁰ *Prozione* è la stella *Alfa* della costellazione del *Cane Minore*. Ha una *Magnitudine* pari a 0,38 e dista dalla Terra 11,3 anni-luce. Come *Sirio*, anche *Prozione* ha per compagna una *Nana Bianca*. Essa le orbita intorno in un periodo di 41 anni e non è visibile dalla Terra se non con un potente telescopio professionale.

⁶¹ *Altair* è la stella *Alfa* della costellazione estiva chiamata *Aquila*. Ha una *Magnitudine* pari a 0,77 ed è una *Stella Bianca* distante 16,1 anni-luce.

⁶² *Alfa Centauri* brilla nel cielo australe e ciò significa che non è visibile dal nostro emisfero. E' una stella tripla. La componente principale è simile al Sole, avendone la stessa luminosità e lo stesso colore. La secondaria invece, rispetto al Sole, ha una luminosità pari a 0,4 ed è di colore rosso. C'è, poi, la terza stella, chiamata *Proxima Centauri* che si alterna con *Alfa Centauri* nell'essere la stella più vicina a noi, e ciò in base alle rispettive posizioni orbitali, e che, stando alle ricerche di Peter van de Kamp, avrebbe un pianeta che le orbita intorno.

Lo Spettro Solare

Abbiamo visto nelle pagine precedenti che esistono vari tipi di stelle: Giganti, Supergiganti, Nane, giovani, vecchie, dense, meno dense, rosse, bianche, gialle, azzurre, ecc.

Il primo ad effettuare una classificazione delle stelle in base alle loro caratteristiche fisiche è stato Padre Angelo Secchi, astronomo della Specola Vaticana, pioniere della spettrografia e fondatore dello studio fisico del Sole. La classificazione di Padre Secchi, esattamente come quella attuale, era fondata sullo spettro della luce stellare, cioè sul suo colore dominante. Abbiamo capito, infatti, che vi sono stelle di tutti i colori: anche verdi⁶³.

Merita di essere citata, a tal proposito, la stella *Gamma* della costellazione di *Andromeda*. Essa è una notevole stella tripla distante dalla Terra 160 anni-luce. Le sue due stelle più brillanti, di *Magnitudine* 2,2 e 5, formano una delle più belle coppie di stelle visibili dal nostro pianeta anche con un piccolo telescopio amatoriale. La stella più grande è di colore giallo-oro, mentre quella più piccola è di colore verde-azzurro. Quest'ultima ha, a sua volta, un compagna, più piccola ma anch'essa di colore azzurro-verde; essa fa di questo, un sistema triplo di stelle.

Se facciamo passare la luce di una stella attraverso un prisma, essa viene scomposta nei suoi colori costitutivi: viola, blu, azzurro, verde, giallo, arancione e rosso. In più, troveremo numerosissime righe scure che corrispondono a determinati elementi chimici presenti nella stella: ognuno di questi elementi, allo stato gassoso, assorbe certe caratteristiche frequenze luminose, originando le discontinuità rilevabili nello spettro. Queste righe furono scoperte da Fraunhofer all'inizio dell'Ottocento e da lui hanno preso il nome. Esse, infatti, si chiamano *Righe di Fraunhofer*.

Ma attenzione: non esiste soltanto lo *spettro di assorbimento*; esiste anche lo *spettro di emissione*. Nello *spettro di emissione* le righe appaiono più luminose del fondo spettrale.



Righe di Fraunhofer

E' grazie all'analisi spettrale che conosciamo la composizione chimica del Sole e delle altre stelle.

Il colore di una stella è importante anche per un altro motivo:

la diversa colorazione, secondo la cosiddetta legge di Wien, varia in funzione della temperatura del gas che emette la luce, così come un chiodo messo ad arroventare sul fuoco diventa prima rosso scuro, poi, via via che si riscalda, arancione, poi giallo ed, infine, bianco. Insomma, più l'oggetto è caldo e più emette fotoni ad alta energia. Diremo, allora, che le stelle azzurre sono le più calde. Poi vengono le bianche, le gialle⁶⁴, le arancione ed, infine, le rosse che sono, quindi, tra tutte, le stelle più fredde.

Oggi si usa una classificazione spettrale un po' più complessa di quella adoperata da Padre Secchi. Essa è stata proposta da Henry Draper il quale suddivise le stelle in 7 classi disponendole in ordine di temperatura decrescente: le stelle più calde sono quelle di **tipo O**, poi vengono nell'ordine quelle di **tipo B, A, F, G, K e M**. Il Sole appartiene alla classe spettrale **G**. Le **K** sono le stelle arancione, le **M** quelle più fredde, cioè quelle rosse.

⁶³ Le stelle verdi, però, sono molto più rare delle altre e, proprio per questo, sono le più ricercate ed apprezzate dagli scienziati.

⁶⁴ Come il nostro Sole, che è una *Nana Gialla* di classe spettrale "G"

Non va mai dimenticato, inoltre, che gli spettri si riferiscono agli strati più superficiali delle stelle, in pratica alla loro atmosfera (anche se è decisamente improprio parlare di atmosfera in corpi interamente gassosi).

In breve, queste sono le caratteristiche dei principali tipi spettrali:

- **Tipo O:** stelle azzurre molto luminose e massicce, con temperature tra i 40 e i 20 mila gradi;
- **Tipo B:** Stelle bianco-azzurre con temperatura da 20 a 10 mila gradi. *Rigel*⁶⁵ e *Bellatrix*⁶⁶, entrambe della costellazione di *Orione*, appartengono a questa categoria;
- **Tipo A:** stelle bianche con temperatura tra 10 e 7 mila gradi. *Sirio* e *Castore*⁶⁷ sono stelle di questo tipo;
- **Tipo F:** stelle di colore bianco-giallo con temperatura tra i 7 e i 6 mila gradi. Esempi di stelle appartenenti a questa categoria sono *Mirfak*⁶⁸ visibile nella costellazione di *Perseo*, e *Procione* che si trova, invece, nella costellazione del *Cane Minore*;
- **Tipo G:** come si è già detto, è la classe cui appartiene il Sole. La temperatura è compresa tra 6000 e 4800 gradi. A questa classe di stelle appartengono pure *Capella*⁶⁹, che si trova nella costellazione dell'*Auriga*, e la stella principale di *Alfa Centauri*;
- **Tipo K:** la temperatura scende tra i 4800 e i 3100 gradi e le stelle di questa classe spettrale sono di colore giallo-arancione. Prototipi di questa categoria sono *Aldebaran*⁷⁰ visibile nella costellazione del *Toro*, e *Schedar*⁷¹ in *Cassiopea*;
- **Tipo M:** la temperatura di queste stelle è inferiore a 3400 gradi e, talvolta raggiunge e supera i 2000 e ciò fa loro assumere la tipica colorazione rossa. Esempari di questa classe sono *Menkar*⁷² nella costellazione della *Balena* e *Betelgeuse* in quella di *Orione*.

Classi spettrali		
Spettro	Elemento prevalente	Temperatura
O	Elio, carbonio, azoto, ossigeno	35.000
B	Idrogeno, elio neutro	20.000
A	Idrogeno	10.000
F	Calcio e metalli ionizzati	7.000
G	Metalli neutri e ionizzati	6.000
K	Metalli neutri e ossidi	4.500
M	Ossidi di vanadio e titanio	3.000

Legenda: la temperatura è espressa in gradi centigradi

⁶⁵ *Rigel* è la stella *Beta* della costellazione di *Orione*. E' una *Supergigante Azzurra* ed è distante 910 anni-luce. Ha una compagna difficile da vedere con i piccoli telescopi a causa della grande luminosità della stella principale.

⁶⁶ *Bellatrix* è la stella *Gamma* della costellazione di *Orione*. E' una *Gigante Blu* ed è distante dalla Terra 360 anni-luce.

⁶⁷ *Castore* è la stella *Alfa* della costellazione dei *Gemelli*. Dista dalla Terra 45 anni-luce ed è una splendida stella multipla, il suo sistema è, infatti, formato da 6 stelle. A occhio nudo è visibile come una stella bianco-azzurra, e osservata dalla Terra con un telescopio da 60 mm ad alto ingrandimento, il suo sistema sembra formato da 2 stelle, che orbitano con un periodo di 420 anni, anziché da 6.

⁶⁸ *Mirfak* è la stella *Alfa* della costellazione di *Perseo*. Chiamata anche *Algenib*, e' una *Supergigante Gialla* e dista dalla Terra 620 anni-luce.

⁶⁹ *Capella* è la stella *Alfa* della costellazione della capretta, *Auriga*, appunto. Dista da noi 42 anni-luce ed è costituita da due stelle gialle che orbitano l'una intorno all'altra con un periodo di 104 giorni senza, però, mai eclissarsi.

⁷⁰ *Aldebaran* è la stella *Alfa* della costellazione del *Toro*. Ha una *Magnitudine* di 0,9 ed è una *Gigante Arancione* distante dalla Terra 68 anni-luce.

⁷¹ *Schedar* è la stella *Alfa* della costellazione di *Cassiopea*. Ha una *Magnitudine* 2,2 ed è una *Gigante Gialla* distante 120 anni-luce da noi. Ha una compagna di *Magnitudine* 9.

⁷² *Menkar* è la stella *Alfa* e appartiene alla costellazione della *Balena*. Essa è formata da una coppia di *Nane Rosse* distanti 8,9 anni-luce da noi, delle quali, una di esse, è il prototipo di una classe di stelle variabili irregolari chiamate *Stelle a Brillamenti* o *Stelle a Flare*: queste stelle sono delle *Nane Rosse* soggette ad improvvisi aumenti di splendore che durano, però, soltanto pochi minuti.

Il Diagramma H – R

Se si costruisce un grafico in cui la classe spettrale delle stelle è riportata in ascissa e la loro *Magnitudine Assoluta* in ordinata, tutte le stelle, diciamo di “mezza età”, verranno a trovarsi lungo una determinata fascia diagonale, chiamata *Sequenza Principale*⁷³. La posizione di una stella lungo la *Sequenza Principale* è definita dalla sua massa, con le stelle di massa più piccola all'estremità inferiore e quelle di massa più grande all'estremità superiore.

Il Sole si trova a metà strada lungo questa *Sequenza*. Questo tipo di grafico è chiamato *Diagramma di Hertzsprung-Russell*⁷⁴ o, più semplicemente, *Diagramma H-R*, dai nomi dell'astronomo danese Ejnar Hertzsprung e dell'americano Henry Norris Russell, che lo idearono tra il 1911 e il 1913.

La maggior parte delle stelle si trova nella *Sequenza Principale* del *Diagramma di Hertzsprung-Russell*: alcune stelle, particolarmente brillanti, si trovano sopra e a destra della *Sequenza Principale*; altre stelle, deboli e poco luminose, si trovano sotto e a sinistra; queste ultime si trovano tutte nei loro ultimi stadi di evoluzione.

Capiremo meglio ciò che è espresso dal *Diagramma H-R* esaminando l'evoluzione del nostro Sole.

Il Sole si è formato circa 4600 milioni di anni fa ed è a circa metà strada del suo cammino evolutivo. Tra qualche miliardo di anni, però, l'idrogeno presente nel suo *Nucleo* comincerà ad esaurirsi e, come alla ricerca di altro idrogeno da usare come combustibile, le reazioni nucleari all'interno del Sole cominceranno a spostarsi verso l'esterno, liberando maggiori quantità di energia e, quindi, irradiando anche maggiori quantità di luce e calore. Quando, a seguito di questo processo, il Sole sarà circondato da un involucro di idrogeno in combustione nucleare, anche l'elio contenuto all'interno dell'astro parteciperà a questa combustione e, fondendo, si trasformerà in carbonio.

Producendo una tale quantità extra di energia, il Sole diventerà molto più luminoso di adesso e le sue dimensioni cominceranno ad aumentare in modo allarmante. Via via che gli strati esterni si raffredderanno, poi, la superficie del Sole comincerà ad assumere una tipica colorazione rossastra: esso si sarà trasformato in una *Gigante Rossa*. Il Sole *Gigante Rossa* crescerà fino a più di 100 volte il suo diametro attuale e, quindi, inghiottirà con i suoi strati esterni la nostra amata Terra, estinguendo ogni forma di vita esistente.

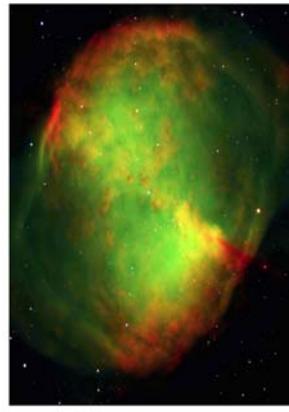
Sul *Diagramma di Hertzsprung-Russell*, l'aumento di luminosità del Sole lo sposterà verso l'alto, fuori dalla *Sequenza Principale*, ed il suo cambiamento di classe spettrale lo sposterà inoltre verso destra.

Per distinguere se una stella è una *Gigante*, una *Supergigante* oppure si trova nella *Sequenza Principale*, gli astronomi assegnano le stelle a una classe di luminosità oltre che ad una classe spettrale. Prese assieme, la classe spettrale e la classe di luminosità, definiscono le principali caratteristiche delle stelle, ma queste caratteristiche mutano via via che la stella evolve ed invecchia. Una *Gigante Rossa* è una stella che è diventata vecchia e che sta per morire: quando esploderà, i suoi strati esterni si disperderanno nello spazio lasciando una *Nebulosa Planetaria*⁷⁵ con al centro una piccola *Nana Bianca*.

⁷³ Alla *Sequenza Principale* appartiene quella classe di stelle simili al nostro Sole, in cui l'energia è ottenuta dalla trasformazione term nucleare dell'idrogeno in elio. Ogni stella appena creata appartiene alla *Sequenza Principale* e se ne allontana nel corso della sua evoluzione.

⁷⁴ In sostanza, il *Diagramma H-R* non è altro che la rappresentazione grafica della *Magnitudine Assoluta* delle stelle in funzione del loro tipo spettrale.

⁷⁵ Le *Nebulose Planetarie* sono delle particolari aggregazioni di materia interstellare costituite da involucri gassosi che circondano una stella. Una delle *Nebulose Planetarie* più conosciute è la *Nebulosa ad Anello* che si trova nella costellazione della *Lira*.



Nebulose Planetarie

Il viaggio di un fotone

Abbiamo visto che il Sole splende da circa 5 miliardi di anni e che al momento è collocato nella *Sequenza Principale*.

Nel *Nucleo* del Sole, che ha un raggio di 160 mila Km (sui 700 mila Km dell'intero raggio della nostra stella), si svolgono reazioni termonucleari a 15 milioni di gradi, con una densità media di circa 160 grammi per centimetro cubo.

A causa della continua fusione dell'idrogeno in elio, oggi la concentrazione di idrogeno si è ridotta da un iniziale 75% al 35%, mentre quella dell'elio è salita dal 25% al 65%.

Alcuni studiosi hanno calcolato che 1 Kg di idrogeno, convertito in energia, nel Sole, potrebbe tenere accesa una lampadina da 100 watt per un milione di anni.

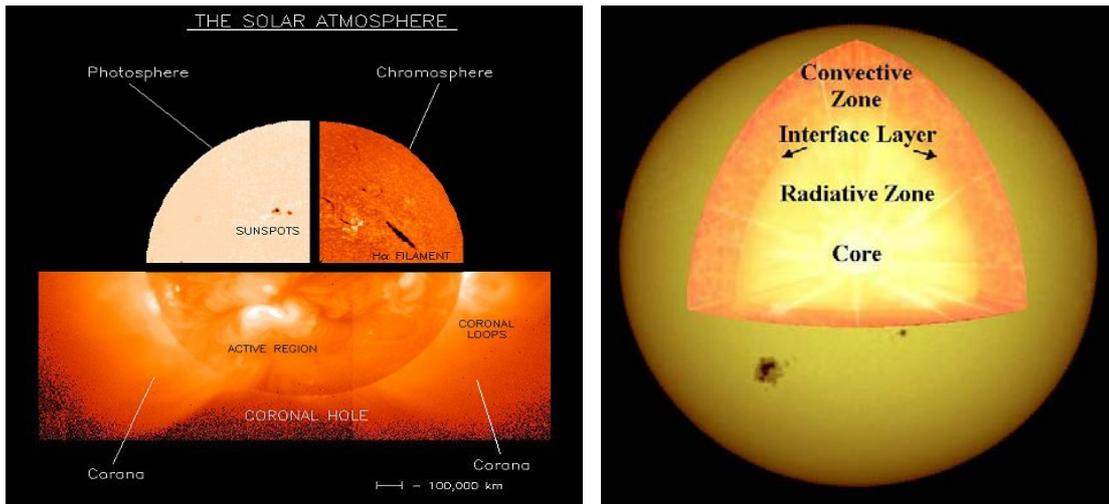
L'energia è generata soprattutto sotto forma di *Raggi Gamma*⁷⁶ ed essa, prima di raggiungere la superficie della nostra stella, deve percorrere un lungo e tortuoso cammino: il plasma che si trova nella parte centrale del Sole, infatti, chiamata *Core* oppure *Nucleo*, è opaco ai *raggi gamma* e, quindi, i *fotoni gamma*, prima di riuscire ad emergere in superficie, devono essere emessi e riassorbiti miliardi di volte. Durante questo loro lungo cammino, i *fotoni gamma* perdono gradualmente energia e degradano diventando prima *Raggi X*⁷⁷, poi *Raggi Ultravioletti*⁷⁸ ed infine luce (visibile) e calore emessi all'*Infrarosso*⁷⁹.

⁷⁶ Si chiamano *raggi gamma* le radiazioni non corpuscolari emesse da alcune sostanze radioattive; si tratta di fotoni ad alta energia e cioè radiazioni elettromagnetiche ad alta frequenza. I *raggi gamma* costituiscono la frequenza più energetica di minor lunghezza d'onda che si conosca.

⁷⁷ I *raggi X* sono onde elettromagnetiche con lunghezza d'onda molto piccola. Nello spazio sono state individuate numerosissime sorgenti di *raggi X* ma, poiché i *raggi X* vengono assorbiti dall'atmosfera terrestre, queste radiazioni possono essere studiate solo attraverso i satelliti artificiali orbitanti intorno al nostro pianeta. Le principali sorgenti di *raggi X* sono le *Supernovae*, le *Pulsar* e le *Quasar*.

⁷⁸ I *raggi ultravioletti* sono una radiazione elettromagnetica invisibile all'occhio umano. La principale sorgente di *raggi ultravioletti* è il Sole, ma le radiazioni giungono alla Terra con una intensità ridotta circa del 60% perché vengono assorbiti dall'atmosfera terrestre. Per lo studio scientifico di questo tipo di radiazioni si ricorre alle ottiche al quarzo, perché il vetro, così come l'aria e l'acqua, lo assorbe in misura rilevante.

⁷⁹ L'*infrarosso* è una radiazione elettromagnetica di lunghezza d'onda superiore a quella della luce rossa ed inferiore a quella delle microonde. La luce che vediamo sul Sole è emessa con questo tipo di radiazioni.

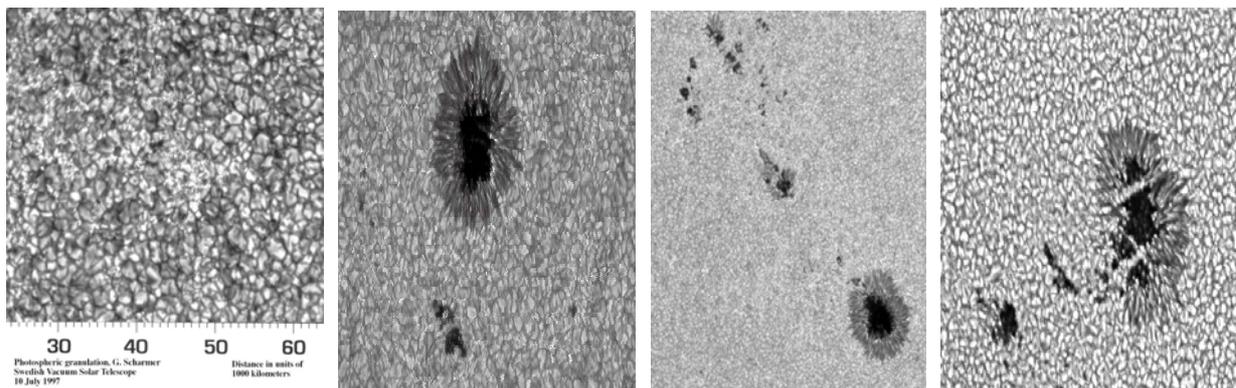


Fino a 450 mila Km dal *Nucleo*, il gioco emissione/assorbimento dei fotoni è l'unico mezzo con il quale viene trasmessa l'energia: questa è la *Zona Radiativa*.

Negli strati superiori troviamo, invece, la *Regione Convettiva*. In questa zona si generano dei colossali *Moti Convettivi*⁸⁰ simili alle correnti che si formano dentro alla pentola piena d'acqua che abbiamo messo sul fuoco per cuocere gli spaghetti e che è giunta ad ebollizione.

In buona sostanza, il principio dei *Moti Convettivi* è questo: se una massa di liquido è riscaldata nella parte inferiore, il liquido caldo più vicino alla sorgente termica diminuisce di densità e tende a salire verso l'alto cedendo il posto a del liquido più denso. Si genera, così, in seno alla massa, un moto continuo, dall'alto verso il basso e viceversa, che contribuisce al trasporto di calore.

Inoltre, via via che si sale, le cellule di convezione si fanno sempre più piccole e vanno a formare la *Fotosfera*. Essa, proprio a causa di questi moti convettivi, presenta una tipica *Granulazione*, con punti più chiari (che sono caldi e in ascesa) e punti più scuri (che sono, invece, più freddi e in discesa).



Granulazione formata da cellule convettive e Macchie Solari nella Fotosfera Solare

Oltre la *Fotosfera*, che ha uno spessore di appena 400 Km, c'è la *Cromosfera*, spessa circa 10 mila Km. Questa è assimilabile ad un'atmosfera solare particolarmente densa e sempre più calda man mano che si sale: si va dai 6000 gradi della *Fotosfera* al mezzo milione di gradi della *Cromosfera* che va, poi a confondersi con la *Corona Solare*, che è quella parte di atmosfera solare che noi vediamo durante un'eclisse totale di Sole.

⁸⁰ I *moti convettivi* sono quei moti che si generano in una massa fluida a causa delle differenze di densità che ci sono in diverse zone della amssa, e che sono dovuti a disuniformità di temperatura.



Corona Solare visibile durante un'Eclissi

Il *fotone gamma*, formato dalla reazione nucleare avvenuta nel *Core* del Sole, impiega 10 milioni di anni per giungere, come fotone di luce visibile, fino in superficie. Da ciò deduciamo che noi, attualmente, ci stiamo scaldando al calore emesso dal *Nucleo* 10 milioni di anni fa. In teoria, la fornace nucleare della nostra stella potrebbe anche essersi già spenta: il Sole potrebbe, infatti, essere ipoteticamente morto senza che nessuno di noi se ne fosse ancora accorto, proprio grazie al lunghissimo tempo impiegato dai fotoni per risalire in superficie.

Il ciclo Protone – Protone

Abbiamo detto che nel *Nucleo* del Sole avvengono le reazioni nucleari che ci consentono di vivere sul nostro pianeta.

Già nel 1905 Albert Einstein aveva scritto la celebre formula

$$\text{Energia} = \text{Massa} \times \text{velocità della luce al quadrato}$$

Che stabilisce l'identità tra materia ed energia e spiega che la prima può essere trasformata nella seconda⁸¹.

La chiave per scoprire il segreto del fuoco stellare era stata finalmente trovata.

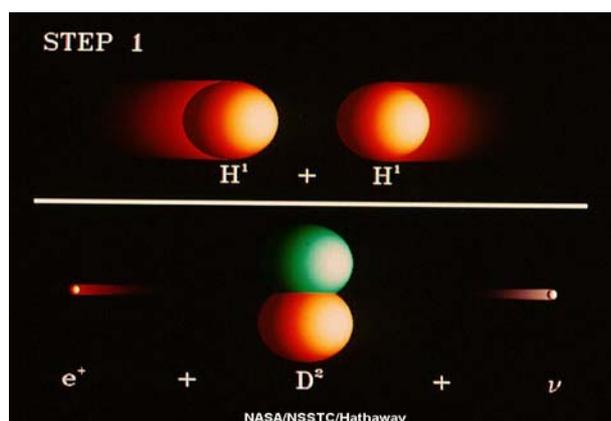
Per inciso, la formula di Einstein non vale soltanto per le reazioni nucleari, ma per qualsiasi produzione di energia. Quando produciamo energia, infatti, anche con la semplice combustione che provochiamo quando accendiamo il camino nelle fredde serate invernali, viene distrutta una determinata e proporzionale quantità di materia. Fenomeni chimici come la combustione liberano energia di legame connessa agli elettroni esterni degli atomi, mentre fenomeni nucleari come la *Fusione* o la *Fissione*⁸² attingono alla ben più potente energia di legame dei nuclei atomici. Il principio espresso dalla formula di Einstein, tuttavia, è lo stesso. Nel *Core* del Sole, in ogni istante, avviene una *Fusione Nucleare* e ad essa partecipano più di 564,5 milioni di tonnellate di idrogeno che si trasformano in un secondo in circa 560 milioni di tonnellate di elio. Nelle stelle come il Sole, quindi, avviene un tipo di reazione nucleare basata su un processo di *Fusione Nucleare*. Tale processo, attraverso cui 4 protoni diventano un nucleo di elio (dove sono uniti 2 protoni e 2 neutroni), è estremamente lento, richiedendo decine di migliaia di anni.

⁸¹ Naturalmente è possibile anche il contrario, cioè, partendo da una grande quantità di energia si può ricavare una minima quantità di materia

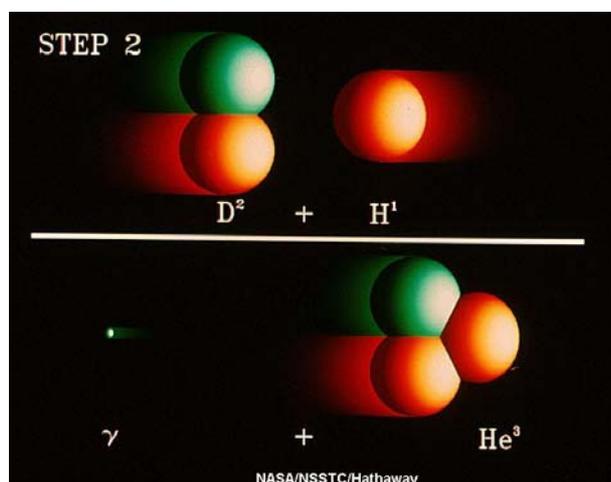
⁸² Esistono due tipi di reazioni nucleari: le *Fusioni* e le *Fissioni*. La *Fusione Nucleare* è data dalla collisione di atomi semplici che si riuniscono in atomi più complessi; la *Fissione Nucleare* è data, invece, dalla scissione di un atomo complesso in atomi più semplici.

Esso è comunemente indicato come ciclo *Protone - Protone* o, più semplicemente, *Catena P - P*. Trattasi di una sequenza di reazioni termonucleari favorite dalle altissime temperature presenti nel *Nucleo* della nostra stella. La serie ha inizio quando due protoni⁸³ si uniscono formando un nucleo di deuterio (liberando un elettrone ed un neutrino) che a sua volta interagisce con un protone producendo per fusione un nucleo di elio. Con quello del carbonio (o di Bethe) il ciclo *Protone - Protone* costituisce la principale fonte di energia stellare. Il *Ciclo Protone - Protone* è caratterizzato da tre momenti:

- 1) Nel primo momento due protoni⁸⁴ collidono formando un nucleo di Deuterio, (nucleo di idrogeno composto da un protone e da un neutrone) un Positrone (un antielettrone che annichila subito con un elettrone producendo due raggi gamma) ed un Neutrino.



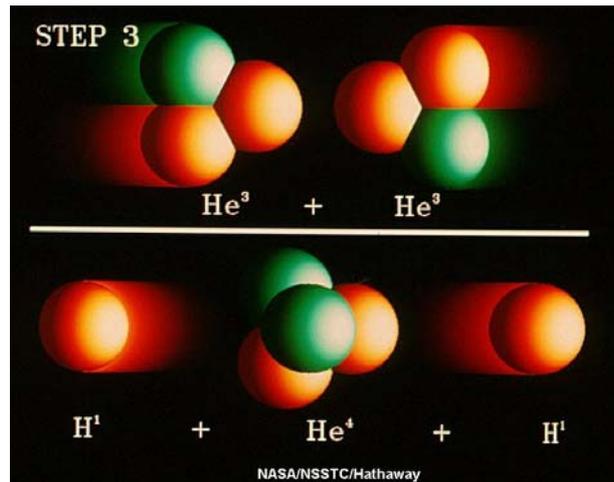
- 2) Nel secondo momento un protone collide con il deuterio per produrre un nucleo di Elío - 3 (isotopo dell'elio con due protoni ed un solo elettrone).



- 3) Nel terzo ed ultimo momento, infine, due nuclei di elio - 3 collidono per dare origine ad un nucleo di Elío - 4 (il normale isotopo dell'elio con due protoni e due neutroni), con l'emissione di due protoni che vanno nuovamente ad alimentare la catena.

⁸³ Il *protone* è lo stato fisico, con il neutrone, di una stessa particella, il nucleone, che è il costituente fondamentale dei nuclei atomici. E' una particella stabile, carica positivamente.

⁸⁴ In questo caso, stiamo parlando di 2 atomi di idrogeno.



In questo processo di *Fusione*, le reazioni nucleari producono, inoltre, dei *Neutrini*⁸⁵, cioè particelle elementari che interagiscono solo debolmente con la materia e che, proprio per questo, appena vengono prodotti escono immediatamente dal Sole per propagarsi nello spazio.

Le stelle sono grandi fabbriche di *Neutrini*. Sciame di queste particelle arrivano alla Terra non soltanto dal Sole ma anche da molti altri oggetti celesti, sia pure in quantità minore. Veri e propri torrenti di *Neutrini* ci investono, per esempio, quando esplose una *Supernova*, come accadde il 23 febbraio 1987 nella *Grande Nube di Magellano*⁸⁶ quando, in Italia, Stati Uniti e Giappone, essi furono osservati per la prima volta come segnale di un collasso stellare.

Ma i *Neutrini* possono arrivarci addirittura dal *Big Bang*⁸⁷: sono i *Neutrini fossili*.

Una discreta quantità di energia viene, infatti, portata a spasso da queste particelle e, poiché con l'energia viaggiano anche le informazioni, catturare i *Neutrini* cosmici significa raccogliere informazioni sui meccanismi fisici con cui sono stati emessi, raccogliere testimonianze sull'evoluzione delle stelle, sull'origine dell'Universo, sui collassi delle *Supernovae*, e tante altre informazioni sull'origine e l'evoluzione dell'Universo e dei corpi celesti.

Parte dell'energia emessa dal Sole, per tornare alla nostra stella, viene riflessa nello spazio dall'atmosfera terrestre; parte di essa, invece, viene assorbita prima di arrivare al suolo⁸⁸. L'energia prodotta nel *Nucleo* del Sole, quindi, esce sì dalla *Fotosfera* solare con tutta la sua potenza, ma viene ricevuta da noi con un'intensità decisamente inferiore a quella con cui viene emessa.

Fu il filosofo Anassagora il primo a supporre che il Sole fosse una stella e che le stelle fossero altrettanti Soli che irradiano nello spazio torrenti di energia.

Considerato che questa idea è stata espressa nel 450 A.C. , essa appare, indubbiamente, straordinariamente geniale.

⁸⁵ I *Neutrini* sono la cosa che più somiglia al... nulla! Nonostante siano abbondantissimi, hanno una scarsissima predisposizione alla vita sociale: essi, infatti, non interagiscono con la materia circostante. I *Neutrini* possono attraversare tranquillamente una parete spessa 3500 anni luce ed uscirne perfettamente intatti. Nell'Universo nascono continuamente quantità enormi di *Neutrini* mentre soltanto qualcuno di essi viene, ogni tanto, assorbito in qualche reazione nucleare.

⁸⁶ La *Grande Nube di Magellano* è una Galassia Nana irregolare visibile, dall'emisfero australe, che presenta stranamente alcune delle principali caratteristiche delle Galassie Barrate.

⁸⁷ Il *Big Bang* è la grande esplosione da cui nacque tutto l'Universo.

⁸⁸ Specialmente nell'ultravioletto, ad opera dell'ozono, e nell'infrarosso, ad opera del vapore acqueo e dell'anidride carbonica.

Macchie Solari, Brillamenti, Spicole e Protuberanze

Le Macchie Solari

Abbiamo già detto che il primo studioso ad osservare le *Macchie Solari* con il primo, rudimentale, storico cannocchiale auto - costruito fu Galileo Galilei.

Ciò che non tutti sanno, però, è che anche i cinesi le osservavano al tramonto, attraverso un vetro affumicato. Essi hanno registrato ben 45 osservazioni di *Macchie Solari* in un arco di tempo che va dal 304 al 1205 Avanti Cristo, epoca in cui la cultura occidentale vantava livelli bassissimi di conoscenza scientifica. Per indicarne la grandezza, i cinesi, usavano paragonarle alle dimensioni di un uovo di gallina, di un dattero, o di una susina.

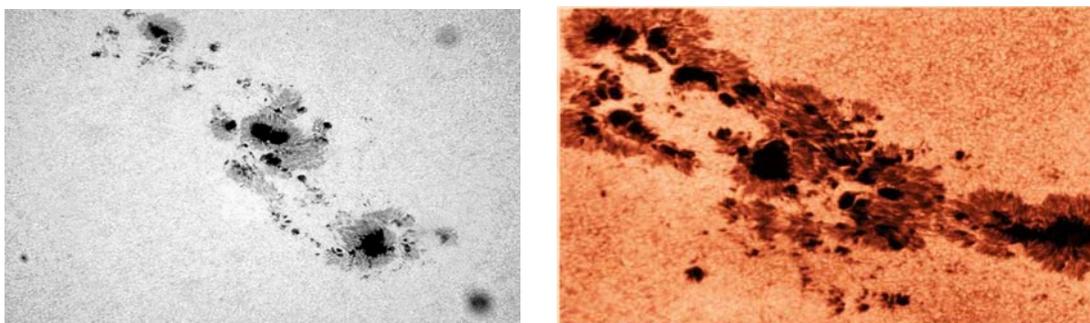
Greci e Latini, però, già conoscevano questo fenomeno. Virgilio, per esempio, ce ne parla addirittura nel primo libro delle *Georgiche*⁸⁹: “*Sin maculae incipient rutilo immiscere igni...*”

Le *Macchie* isolate sono abbastanza rare. In genere, nascono a coppie e tra le due *Macchie* principali, di solito, si forma uno sciame di macchioline più piccole che saranno, in seguito, le prime a dissolversi.

Esse si formano dai cosiddetti *Centri di Attività* che sono zone in cui il campo magnetico solare, che normalmente ha valori dell'ordine di grandezza di 1 gauss⁹⁰, raggiunge un'intensità dell'ordine di centinaia o addirittura migliaia di gauss.

Già con un piccolo telescopio amatoriale, è possibile distinguere in una *Macchia* una zona centrale più scura ed una zona circostante più chiara, nettamente separate dalla *Fotosfera*: sono le cosiddette *Ombra* e *Penombra*.

L'*Ombra*, però, non è scura come sembra: il buio è dato, infatti, dalla differenza di contrasto.



Macchie Solari con Ombra e Penombra

La temperatura di una *Macchia Solare* è più bassa di quella della *Fotosfera* di circa 1500°; nel centro di una *Macchia* la temperatura si aggira, dunque, intorno ai 4200/4500 gradi centigradi, contro i 6000°, appunto, della *Fotosfera* circostante.

Una *Macchia* di medie dimensioni è grande più o meno quanto la Terra, ma nel 1989 è stato osservato uno dei più grandi gruppi di *Macchie* mai osservato prima, formato da circa una settantina di *Macchie*, che copriva un'area pari a 3,040 milioni di Km quadrati di superficie solare, e cioè un'area pari a 100 volte l'intera superficie dell'Italia.

L'attività delle *Macchie* può essere valutata, oltre che con altri sistemi, anche con un indice chiamato *Numero Relativo di Wolf*. Esso è un metodo meno preciso rispetto ad altri, perché si

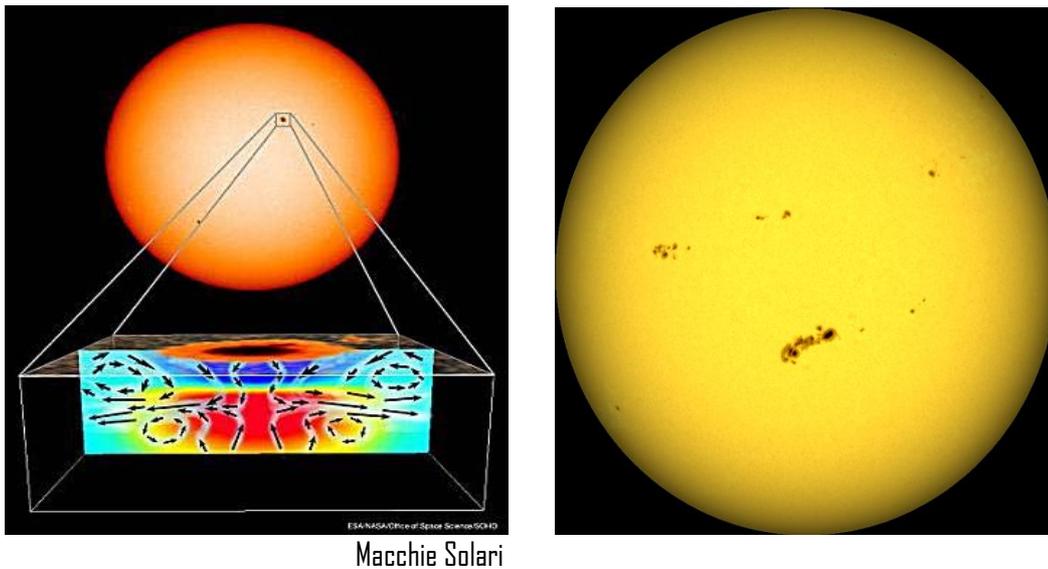
⁸⁹ Virgilio è il celebre poeta della natura e del lavoro. Egli è il cantore latino che dalla guerra sa trarre un sogno ed un insegnamento di pace e di fraternità fra gli uomini: valori, questi, egregiamente esaltati in opere come le *Bucoliche*, l'*Eneide* e le *Georgiche*. Virgilio è colui che Dante sceglie come guida che lo consiglierà ed accompagnerà, nella *Divina Commedia*, nel lungo e tortuoso tragitto che lo porterà dall'Inferno al Paradiso.

⁹⁰ Il campo magnetico del Sole è di circa 1 gauss ai Poli; da 25 a 200 gauss nella *Cromosfera*; da 10 a 100 gauss nelle *Protuberanze*. In una *Macchia Solare*, invece, il campo magnetico raggiunge i 3000 gauss e può toccare i 5000.

fonda esclusivamente sul numero delle *Macchie* e dei gruppi di esse indipendentemente dalla loro estensione, ma poiché è stato il primo ad essere adottato, consente un generico confronto con le registrazioni storiche dell'osservazione dell'attività solare.

Possono trascorrere anche molti mesi senza che sul Sole compaiano delle *Macchie Solari*, ma nei giorni di massima attività ne possono spuntare anche fino a 300 per gruppo. Esse, tra l'altro, compaiono soltanto in una fascia compresa tra 40° di latitudine Nord e 40° di latitudine Sud e di questo si accorse Padre Scheiner, che chiamò questa fascia *Zona Regia*.

Le *Macchie Solari*, non sono immobili sulla *Fotosfera* ma hanno moti propri spesso sistematici, ma a volte casuali. Esse sono anche soggette a cambiamenti di forma: man mano che si spostano lungo il loro percorso, infatti, si allungano o diminuiscono di contrasto; in sostanza come fa la cioccolata liquida che si meschia al nostro cappuccino quando mescoliamo con il cucchiaino.



La scoperta del ciclo un undecennale⁹¹ che regola il numero delle *Macchie Solari* la dobbiamo al farmacista e astronomo dilettante Hafrat Heinrich Schwabe, che osservò il Sole con eroica pazienza dal 1826 al 1843, nella speranza di scovare un pianeta interno all'orbita di Mercurio. Effettuando una media matematica, si troverà, infatti, che la durata di un ciclo di *Macchie Solari* è di 11,04 anni.

In verità, sono stati osservati anche cicli più lunghi e cicli più brevi ma... si sa, le eccezioni confermano sempre la regola.

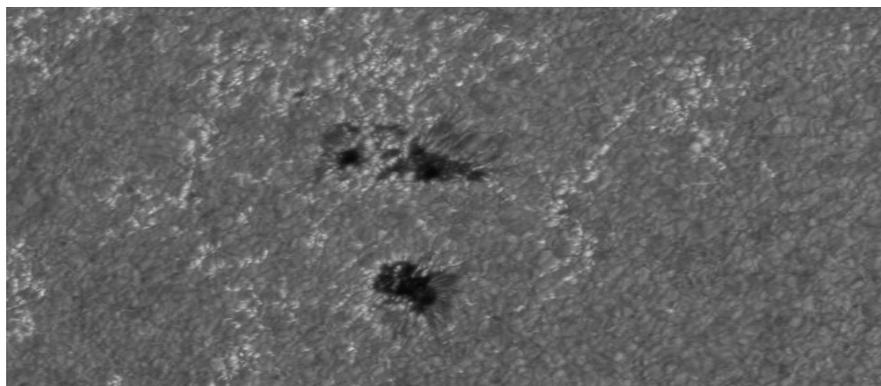
Fu Hale, invece, a scoprire che le *Macchie* sono immerse in potenti campi magnetici. Tutto il Sole emana un forte campo magnetico, ma esso è molto meno intenso di quello emanato dalle *Macchie*. Proprio a causa di questo loro magnetismo, le *Macchie* contribuiscono in larga parte alla costituzione del magnetismo solare.

All'origine del magnetismo del Sole c'è, molto probabilmente, la *rotazione differenziale*⁹² dell'astro ed il comportamento del *Nucleo Radioattivo* che si trova sotto lo *Strato Convettivo*; tuttavia i meccanismi che generano questo campo magnetico non sono ancora del tutto chiari e presentano numerosi punti interrogativi. Ad ogni modo, i campi magnetici sono un aspetto essenziale delle *Macchie Solari* perché, combinandosi con la *rotazione differenziale*, ne determinano il ciclo.

⁹¹ Cioè ogni ciclo di *Macchie* dura in media 11 anni.

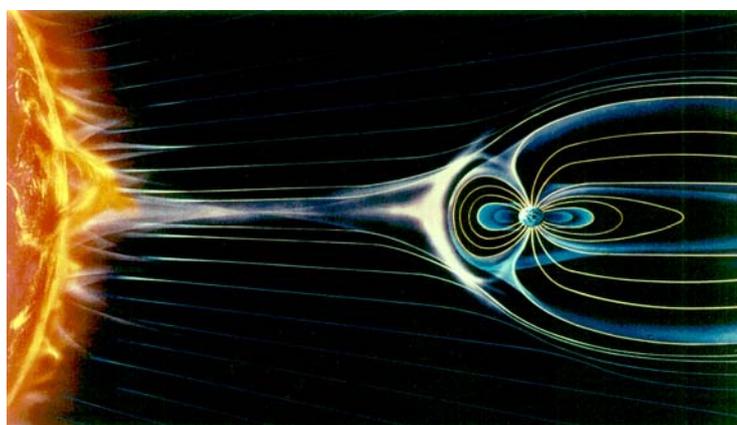
⁹² Il Sole ruota più velocemente all'Equatore e più lentamente, invece, ai Poli. Infatti, le *Macchie Solari* che si trovano in prossimità dell'Equatore impiegano 26 giorni per effettuare una rotazione completa intorno all'asse di rotazione del Sole, quelle che si trovano ai Poli, invece, impiegano 34 giorni per compiere una rotazione completa.

Le *Macchie Solari* sono sempre accompagnate da *Facole*: esse sono piccole regioni di forma irregolare che si sviluppano al di sopra della *Fotosfera*, al contrario delle *Macchie* che invece vi sprofondano dentro. Esse si formano nella *Cromosfera*⁹³ e sono, in sostanza, delle nubi di gas più caldo, più facilmente visibili in luce bianca presso il bordo del Sole.



Facole in prossimità di alcune Macchie Solari

Negli ultimi decenni, lo studio dell'attività solare⁹⁴ ha assunto una notevole importanza perché a periodi di intensa attività corrispondono sempre violente "folate" di vento solare che sono causa di tempeste elettromagnetiche⁹⁵. Ricordiamo che la fine prematura dello *Skylab* fu causata da un'attività solare particolarmente intensa. Una violenta tempesta solare ha causato, il 14 marzo 1989, un grave black-out in Canada, interrompendo le comunicazioni e la distribuzione dell'energia elettrica per parecchio tempo.



Il Vento Solare

E' comprensibile, quindi, perchè il Comitato Consultivo Internazionale per le telecomunicazioni abbia chiesto agli astronomi di fornire mensilmente previsioni attendibili sull'andamento dell'attività solare nei 12 mesi dell'anno.

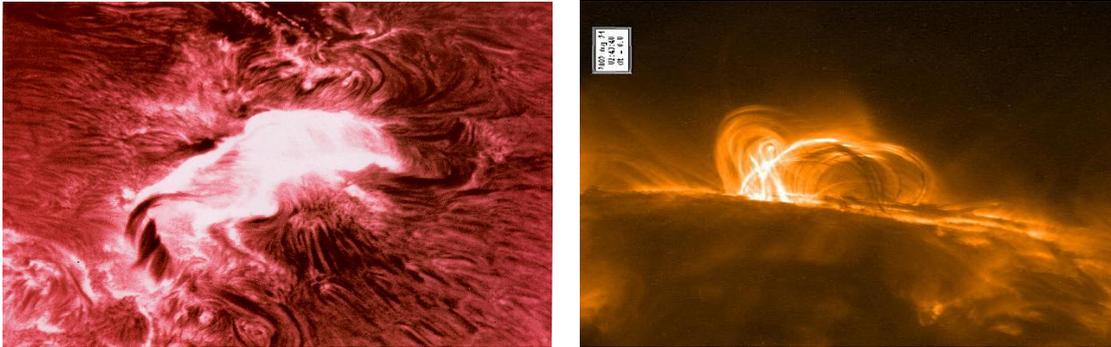
⁹³ Ricordiamo che la *Cromosfera* è quell'involucro gassoso situato al di sopra della *Fotosfera*. E' lo strato più basso dell'atmosfera solare ed ha uno spessore talmente esiguo che essa è osservabile, per pochi attimi, soltanto durante le eclissi totali di Sole.

⁹⁴ Viene chiamata attività solare l'insieme dei fenomeni che avvengono nella superficie e all'interno del Sole. L'attività solare comprende manifestazioni come le *Macchie Solari*, le *Facole*, i *Brillamenti*, le *Protuberanze* e le improvvise emissioni di onde radio e di fasci di particelle.

⁹⁵ Le tempeste elettromagnetiche sono una minaccia per la navigazione dei satelliti e dei laboratori spaziali in orbita, oltre che per gli astronauti. Esse influenzano anche la vita sulla Terra, interrompendo e disturbando le nostre telecomunicazioni.

I Brillamenti

I *Brillamenti* sono degli improvvisi e circoscritti aumenti di luminosità che si verificano in prossimità delle *Facole* e delle *Macchie Solari*. La durata dei *Brillamenti* varia da pochi minuti ad un'ora e, nei casi più rilevanti, essi sono accompagnati da espulsione di materia. Il *Brillamento* viene allora seguito da un'eruzione cromosferica oppure da una *Protuberanza* a rapida evoluzione. L'entità di un *Brillamento* è poco osservabile in luce bianca, mentre può essere rivelata bene mediante l'osservazione con uno spettroeliografo.



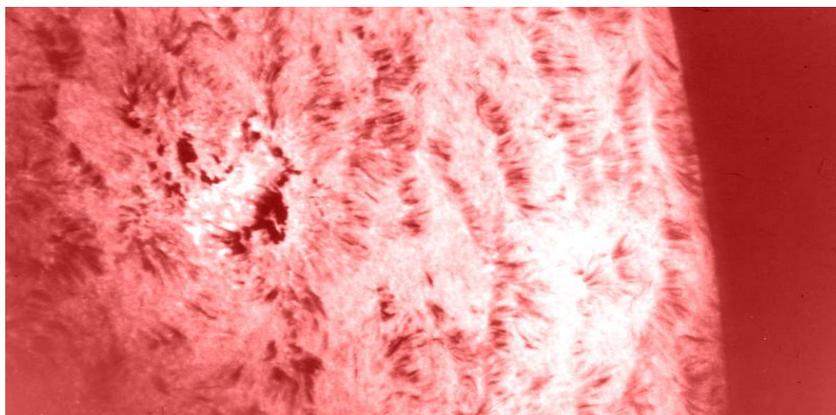
Un Brillamento

I *Brillamenti*, spesso associati alle grandi *Macchie*, lanciano nello spazio sciami di elettroni e di protoni che raggiungono l'alta atmosfera terrestre e la ionizzano bombardandone gli atomi. Il risultato è un gioco di luci fluorescenti meglio conosciute come *Aurore Boreali*⁹⁶. Questo fenomeno è più frequente ai poli, rispetto agli altri punti del pianeta, perché è qui che il campo magnetico terrestre convoglia le particelle elettricamente cariche arrivate dal Sole.

Il primo segnale dell'imminenza di un *Brillamento* è dato dalla forte emissione di *Raggi X* che precedono di alcuni minuti l'inizio del fenomeno. Nell'agosto del 1972 è stata registrata anche un'emissione di *Raggi Gamma*, ma questo avviene soltanto quando l'evento è di particolare violenza. Un *Brillamento* tipico corrisponde all'esplosione simultanea di 2 miliardi di bombe H da un megaton ciascuna.

Le Spicole

Le *Spicole* sono un particolare fenomeno che ha luogo nella *Cromosfera Solare*. Esse sono simili nell'aspetto a delle lunghe lingue luminose, che rendono la *Cromosfera* paragonabile ad una prateria in fiamme.



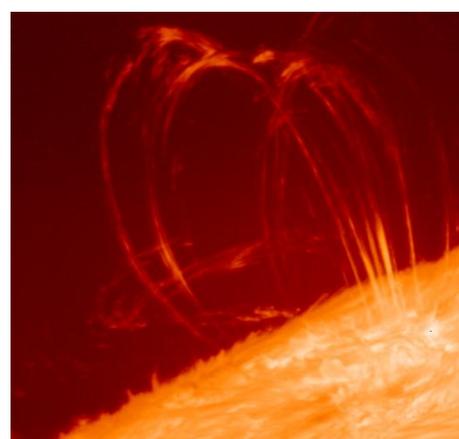
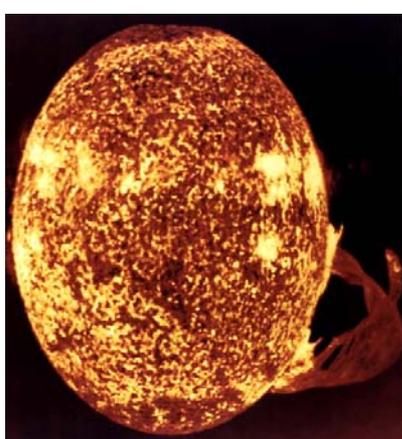
Spicole

⁹⁶ Ovviamente ci sono pure le *Aurore Australi*.

Sono delle vere e proprie lingue di fiamme, ognuna delle quali si innalza fino a 10 mila Km di altezza ed ha un diametro di parecchie centinaia di Km. Le *Spicole* hanno una vita di circa 5 minuti e sono strette parenti della *Granulazione Fotosferica*, ma stanno ad un livello superiore, nella *Cromosfera*. Anche le *Spicole* sembrano essere il prodotto di una continua ebollizione.

Le Protuberanze

Le *Protuberanze* sono delle enormi esplosioni di gas incandescente proiettate dalla *Cromosfera Solare* a elevate distanze dal Sole. Esse sono visibili solo durante le eclissi di Sole, oppure mediante un filtro birifrangente con una banda passante centrata sulla riga H alfa dell'idrogeno. Intensi campi magnetici incanalano il movimento di salita e di ricaduta delle *Protuberanze* interagendo con il campo gravitazionale del Sole. Per questo i getti di materia solare prima si irradiano nello spazio e poi ricadono al suolo. L'osservazione diretta delle *Protuberanze* rappresenta uno spettacolare esempio della prodigiosa attività del sole, eppure, per moltissimo tempo, esse, per lungo tempo visibili soltanto durante le eclissi, sono passate del tutto inosservate; si è addirittura dubitato della loro esistenza fisica.



Protuberanze Solari

Oggi, però, particolari filtri solari, alcuni dei quali anche economici e facilmente adattabili ai telescopi amatoriali, hanno reso facile l'osservazione, la fotografia e la cinematografia delle *Protuberanze*. Soltanto così si è potuto osservare questo particolare fenomeno in tutta la sua bellezza e particolarità.

Conclusioni

Il nostro breve viaggio nel mondo delle stelle e del nostro Sole termina qui.

In questa mia breve dispensa, ho cercato di riassumere i punti più salienti e significativi dell'argomento, pur nella consapevolezza che un tema così esteso ed importante, non può, e soprattutto non deve, essere affrontato con premura, leggerezza e superficialità.

Perché importante?

Perché è la luce delle stelle che ci svela i misteri dell'Universo.

E' dalla luce delle stelle che noi tutti dipendiamo.

E' per la luce che noi tutti viviamo.

E' dalla luce che noi traiamo la vita.

E' dalla vita che noi traiamo fiducia e speranza.

Che valore avrebbe la nostra esistenza senza la speranza che tutto abbia valore e significato?
Nell'Universo, tutto ciò che si crede irrimediabilmente perduto in realtà genera nuova vita; solo la violentissima morte di alcune stelle ne permette la nascita di altre⁹⁷; e soltanto i pianeti prigionieri di una stella sopravvivono nello spazio, permettendo ad esseri viventi come noi di fare altrettanto. Nell'Universo nulla si crea e nulla si distrugge, ma tutto si trasforma.
Questo ci hanno insegnato le stelle.
Tante cose ci hanno insegnato le stelle.
Mi domando: non saranno le stelle il modo in cui Dio ha scelto di mostrarci il vero significato della vita, strettamente e necessariamente ancorato alla luce, che sola e soltanto può impedire che i nostri umani tormenti ci distruggano?
Non sarà la luce delle stelle la rappresentazione materiale della Sua Santa Luce Divina?
Io credo che... sì, potrebbe essere.
Per questo quando sono triste e penso alle persone che non sono più con me, su questa Terra, punto gli occhi al cielo, mi immergo nell'immensità del cosmo e, con il cuore traboccante di speranza e di fiducia, guardo le stelle...

⁹⁷ Questo noi lo abbiamo imparato, per esempio, dalle *Supernovae*, la cui violentissima morte esplosiva genera nuove stelle e, con le nuove stelle, nuova luce per illuminare l'Universo.