

C. Barbieri

Appunti per le lezioni alla

Scuola di Studi Superiori 'Giacomo Leopardi' dell'Università di Macerata

febbraio 5-7 2014

Paura e fiducia: l'astronomo di fronte al cosmo

Paura e fiducia: l'astronomo di fronte al cosmo	1
Introduzione	3
1 – Sistema solare e sistemi stellari, la Via Lattea	4
1.1 Rapido excursus su cosa si sapeva del Sistema Solare e delle stelle nella prima metà del XIX secolo	4
1.2 – Sviluppi successivi	5
1.3 – La Luna	6
1.4 – I canali marziani e i 'marziani'	9
1.5 – 1838, l'anno di svolta per le distanze stellari	10
1.6 - Seconda metà del XIX secolo, la nascita dell'elettromagnetismo e della chimica, l'astrofisica	12
1.7 - Struttura e evoluzione delle stelle	13
1.8 - Fasi finali della vita stellare	16
1.9 - La disposizione delle stelle nella Via Lattea	18
2- Galassie e loro sistemi, l'universo, la cosmologia	20
2.1 - La scoperta delle galassie	20
2.2 – Varie domande e un po' di filosofia	21
2.3 - Gli anni fatidici: 1895 – 1930	23
2.4 -Sviluppi recenti	26
2.5 - L'Universo sente la presenza dell'uomo?	29
2.6 – Universo o Multiversi?	30
3 - Telescopi e loro strumentazione, Radioastronomia, astronomia dallo Spazio extraterrestre	31
3.1 - Richiamo al primo cannocchiale di Galileo e alla soluzione a specchi di Newton	31
3.2 - Aumento del diametro dei telescopi a partire dal XIX secolo	31
3.3 – I radiotelescopi	31
3.4 - astronomia dallo spazio extraterrestre	32
3.5 - la missione Rosetta e gli asteroidi pericolosi	33
4 - Astrologia, mitologia, altre civiltà intelligenti? Paure e fiducia	37
4.1 - Astronomia, umanesimo, astrologia	38

4.2 - Comete e superstizioni, paure e speranze – la cometa di Halley.....	39
4.3 - Alieni.....	44
4.4 - Astronomia e religione.....	48
Conclusioni.....	50
Referenze bibliografiche.....	51
Esercizi	54



Introduzione

Inizio con 'L'Infinito' di Giacomo Leopardi (scritto a Recanati, 1819)

Sempre caro mi fu quest'ermo colle,
e questa siepe, che da tanta parte
dell'ultimo orizzonte il guardo esclude.
Ma sedendo e mirando, interminati
spazi di là da quella, e sovrumani
silenzi, e profondissima quiete
io nel pensier mi fingo, ove per poco
il cor non si spaura. E come il vento
odo stormir tra queste piante, io quello
infinito silenzio a questa voce
vo comparando: e mi sovvien l'eterno,
e le morte stagioni, e la presente
e viva, e il suon di lei. Così tra questa
immensità s'annega il pensier mio:
e il naufragar m'è dolce in questo mare.

Fin dalle mie prime letture questo canto mi è stato appunto molto *caro*, e contiene tanti elementi che hanno accompagnato i lunghi anni della mia vita astronomica. Un ultimo orizzonte che col passare dei decenni si è allargato a abbracciare un Universo straordinariamente grande e complesso, il sedersi dietro a telescopi sempre più perfezionati, la speranza di trovare qualcosa di inatteso mediante le proprie ricerche, lo stupore che davvero talvolta confina con la paura nello scoprire tanta varietà di oggetti celesti e perché no in futuro altre forme di vita e di intelligenza con cui comunicare. Ora, io non sono né un letterato né un filosofo, e neppure un teorico. Più che altro ho costruito telescopi e loro strumenti per applicazioni sia terrestri che spaziali, ma vi assicuro che gli elementi portanti di questo ciclo di lezioni, paura da un lato, speranza e fiducia dall'altro, in una forma o nell'altra sono stati sempre presenti nella mia attività. E lo stesso si può dire di tutta l'astronomia, dalle sue origini fino all'epoca attuale che sembra così tecnologica da parer arida e priva di ulteriori quesiti filosofici o etici, e che invece ha allargato a dismisura la consapevolezza della nostra ignoranza, e vorrei dire anche della necessità di dover ricorrere come in passato a discipline 'umanistiche', filosofia, metafisica, per poter progredire.

I fenomeni celesti hanno però una connotazione tutta propria relativamente alla dualità paura - fiducia, presente non solo agli addetti ai lavori ma a tantissime persone in tutte le epoche e civiltà. Chi osservi il cielo stellato in una località buia, esperienza ormai sempre più rara, non può non rimanere indifferente davanti a tale spettacolo. E dalla contemplazione estetica il passo a interrogarsi non solo sulla natura degli astri ma sulle relazioni tra la terra e il cielo e sul ruolo dell'umanità in questo scenario è breve.

A questo interesse diffuso ancor oggi tra tantissime persone è dedicato in gran parte l'ultimo capitolo. Nei primi capitoli ho voluto riassumere, molto schematicamente, alcune tappe fondamentali del progredire della scienza astronomica, partendo proprio dalle conoscenze all'epoca di Leopardi. Credo che il lettore troverà da solo i collegamenti tra la paura nell'avventurarsi in terre incognite e in taluni casi di sgomento nel vedere crollare teorie che sembravano immutabili, e dall'altro nella fiducia nei propri mezzi di osservazione e di pensiero che consente di superare critiche e gelosie e ostilità.

1 – Sistema solare e sistemi stellari, la Via Lattea

conoscenze astronomiche agli albori del XIX secolo, Sole e sistema solare. Sviluppi nel XIX e XX secolo: distanze alle stelle, la nascita dell'astrofisica, determinazione della composizione chimica delle stelle e loro sistemi, evoluzione stellare, struttura della Via Lattea

1.1 Rapido excursus su cosa si sapeva del Sistema Solare e delle stelle nella prima metà del XIX secolo.

Salto completamente figure illustri quali Copernico, Galileo e Keplero, dato che su di essi esiste una sterminata letteratura, ma sono scienziati nelle cui opere sicuramente sono presenti richiami al tema 'paura – fiducia'. Pensiamo alla fiducia di Galileo nel proprio strumento, che rivela entità celesti reali a dispetto dello scetticismo di tanti, ma d'altra parte alla paura delle conseguenze pratiche, che inducono ad esempio Copernico a permettere la pubblicazione del proprio libro *'De revolutionibus'* solo verso la fine della propria vita. Certamente la 'fiducia' deve aver superato la 'paura' in un grande maceratese contemporaneo di Galileo, il gesuita Matteo Ricci (v. esercizi)

Rimando al terzo capitolo la descrizione di quali telescopi si usarono da Galileo sino alla tutto il XIX secolo e poi ai grandi sviluppi strumentali del XIX secolo.

Richiamo qui alcune tappe importanti per lo sviluppo della astronomia a partire dal XVII-XVIII secolo:

- Dalla metà del XVII secolo l'osservazione astronomica diventa telescopica, si abbandonano i grandi strumenti meccanici di cui i più perfetti furono costruiti da Tycho Brahe a Hven.
- Cassini (fine del 1600): determinazione della distanza Terra-Sole e della velocità della luce
- Halley (1705): la prima cometa periodica; scopre anche che le stelle non sono davvero 'fisse', ma hanno 'moti propri' sulla sfera celeste
- 1725-1748: Bradley scopre sia l'aberrazione della luce che la nutazione dell'asse terrestre e completa la spiegazione di Newton dell'effetto di precessione degli equinozi già descritto da Ipparco nel II secolo a.C.
- 1755: il filosofo Immanuel Kant propone l'ipotesi nebulare di formazione dei pianeti, ripresa poi dal matematico Pierre Simon de Laplace verso la fine del 1700. Nonostante varie difficoltà anche molto gravi di questa teoria, l'origine della formazione dei pianeti a partire da una estesa nebulosa rotante con al centro il sole rimane ancor oggi di grande attualità.
- 1781: William Herschel a Bath scopre Urano, il primo pianeta 'telescopico'. Tuttavia la vera natura planetaria del nuovo corpo celeste fu riconosciuta solo nel 1783, e si dovette aspettare il 1850 per averne il nome definitivo. Probabilmente Urano era stato osservato anche da Galileo e altri dopo di lui. Ruolo di Caroline Lucretia Herschel, prima donna ammessa alla Royal Astronomical Society.
- 1801: scoperta di Cerere. Il primo asteroide della fascia principale fu scoperto dal sacerdote teatino Giuseppe Piazzi a Palermo, la notte di Capodanno del 1801, e da lui chiamato Cerere in onore della Sicilia. Si noti la data, la scoperta precede di circa un mese la famosa dissertazione dottorale del filosofo G.W.F. Hegel: 1801 Jena, *Dissertatio Philosophica de Orbitis Planetarum – Philosophische Erörterung über die Planetenbahnen* (Acta humaniora VCH, Weinheim), v. esercizi. La scoperta di Cerere sprona il giovane Carl F. Gauss a sviluppare la teoria del moto dei corpi celesti e il metodo di determinazione degli errori mediante i minimi quadrati.
- 1846, scoperta di Nettuno, celebrata come un trionfo della meccanica celeste. Infatti il pianeta fu ricercato nella posizione prevista da Adams e Le Verrier, e in cui poi fu scoperto da Galle, per rendere conto delle perturbazioni del movimento di Urano.

Quindi, all'epoca la struttura del sistema solare era già nota con molti dettagli: i pianeti sono disposti su orbite pressoché complanari che essi percorrono nello stesso verso antiorario (verso che gli astronomi chiamano più precisamente *diretto*, varie lune dei pianeti esterni hanno però orbite descritte in verso opposto). Le tre leggi di Keplero, applicabili a tutto rigore solo a due corpi gravitazionalmente interagenti, sono state perfezionate introducendo le perturbazioni. Le rispettive distanze dal Sole sono note in unità terrestri, e si possono descrivere con una semplice legge armonica nota come legge di Titius-Bode. Queste

caratteristiche sembravano indicare un ordine straordinario e apparentemente stabilissimo, inquadrabile in una teoria di origini comuni da una nebulosa proto-solare.

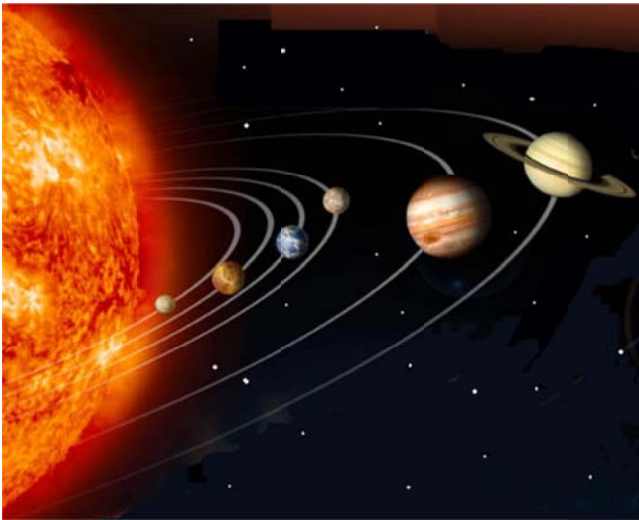


Figura 1 – Il Sistema solare ai tempi di Galileo e Keplero. In effetti, nemmeno Galileo stesso e nemmeno Keplero, conoscevano le distanze tra la Terra e il Sole e gli altri pianeti.



Figura 2 – Il Sistema solare nella seconda metà del XIX secolo, (non in scala, molto compresso). Le dimensioni vere erano ben conosciute, grazie a G. D. Cassini.

1.2 – Sviluppi successivi

Oggi il sistema solare si è arricchito di nuovi corpi. Oltre alla fascia principale di asteroidi tra Marte e Giove si trovarono altri corpi nei punti di Lagrange del sistema Sole – Giove. Dopo la scoperta di Plutone nel 1930, si formularono due teorie di grande importanza, cioè l'esistenza di una seconda fascia di grandi corpi al di là di Plutone, la fascia di Kuiper, e di una grande riserva di comete, la nube cometaria di Oort proprio ai confini del sistema solare. Il XXI secolo ha portato a cambiare la classificazione sia di Plutone che di Cerere, non più rispettivamente nono pianeta e primo asteroide, ma rappresentanti della nuova classe di pianeti nani. Inoltre l'interesse scientifico si è spostato da quello dinamico a quello fisico, con lo studio dettagliato delle atmosfere e delle superficie, grazie anche alla astronomia dallo spazio extraterrestre di cui parleremo nel terzo capitolo.

Non v'è pianeta del sistema solare che non sia stato visitato da almeno una sonda, a parte Plutone (Il lettore interessato potrà seguire negli anni futuri i risultati della missione spaziale 'New Horizon' della NASA, diretta verso il sistema di Plutone ove arriverà nel luglio del 2015 per poi entrare nella fascia di Kuiper, http://www.nasa.gov/mission_pages/newhorizons/main/index.html). I siti internet della maggiori agenzie spaziali contengono bellissime immagini, ricordo solo che due sonde NASA portano il nome di

Galileo e Cassini rispettivamente, mentre tra alcuni anni partirà verso Mercurio la sonda europea BepiColombo, che ha il nome del grande meccanico italiano Giuseppe Colombo, di cui ricorre questo mese il trentesimo anniversario delle morte. Queste considerazioni sono meglio esposte nel power point 'Il nuovo sistema solare'.



Figura 3 – Il Sistema solare oggi. Al di là della fascia di Kuiper si estende una vastissima regione di cui non si sa quasi nulla.

Rimane la grande incognita di cosa esiste tra la fascia di Kuiper e la supposta nube cometaria di Oort, una vera terra incognita in cui solo strumenti più potenti degli attuali potranno avventurarsi, anche se qualche informazione vi viene dalle sonde Voyager (v. terzo capitolo).

Vorrei infine ricordare che è stata, e lo è ancora, molto fruttuosa l'idea di confrontare la Terra (o meglio il sistema Terra-Luna) con gli altri pianeti, aprendo quindi la strada a una 'planetologia comparata' che oggi si allarga al confronto tra il nostro sistema solare e gli altri che vengono scoperti a un ritmo impressionante.

1.3 – La Luna

Il tema 'Leopardi – Luna' è certamente molto sfruttato e non è questo il luogo per riprenderlo, ma la domanda:

*'che fai tu, luna, in ciel?
Dimmi, che fai,
Silenziosa luna?*

contiene una straordinaria molteplicità di risposte scientifiche, alcune forse ignorate dai più. Al punto che ci sono libri che trattano di cosa sarebbe successo alla Terra se non ci fosse la Luna, facendo confronti con due pianeti a noi vicini ma senza lune, cioè Venere e Marte (le cui due lunette Phobos e Deimos non hanno rilevanza in quello che diremo). La Luna merita dunque un discorso a parte.

Intanto è ancora l'unico corpo celeste visitato dall'uomo (le missioni Apollo degli Anni '70 dello scorso secolo) e poi perché proprio le imprese Apollo hanno dato la stura a un incredibile numero di tesi irrazionali, certamente alcune motivate dalla paura dell'incognito. Secondo tali tesi complottistiche, la NASA avrebbe concepito un gigantesco piano per ingannare il mondo intero. Anche la NASA ci ha messo del suo, con troppe reticenze iniziali e anche con clamorosi errori, ad es. lo smarrimento di alcune registrazioni originali o dei semi di albero portati sulla Luna, trapiantati a terra ma nessuno si ricorda dove. Il lettore interessato può leggere varie contro-argomentazioni sul sito NASA:

http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast23feb_2/ .

e nel libro di P. Attivissimo citato nelle Referenze.

Più recentemente, la sonda NASA Lunar Reconnaissance Orbiter (LROC, <http://lroc.sese.asu.edu/index.html>) fornisce eccellenti immagini dei siti di atterraggio degli Apollo e anche della missione cinese Chang'è 3, ma tant'è, come diceva bene Galileo, 'l'è gran fatica sbalordir balordi'. Non sono pochi quelli che sostengono ancor oggi che la Terra sia piatta.

E' un fatto che a parere di molti è stato un grave errore interrompere le missioni lunari, partite sotto la spinta della 'paura' degli USA nei confronti dello strapotere spaziale dell'URSS ai primi anni '60 dello scorso secolo, in favore di quelle marziane, errore cui adesso si sta rimediando anche sotto la spinta delle missioni cinesi che probabilmente porteranno la prima donna sulla Luna entro un decennio.

La Luna ha comunque forti influenze (v. Barbieri, 2000) che interessano tanti aspetti, l'agricoltura, la zoologia, la sociologia. Non v'è dubbio che la luna piena si ritrovi alla base di tante credenze, ad es. alla frequenza dei parti o ai periodi migliori per imbottigliare il vino. La durata del ciclo mestruale viene spesso confrontato con la durata del mese lunare. Alcune associazioni tra la luna e l'uomo sono anche paurose, pensiamo ai cosiddetti 'licantropi'. Forse qualche studente interessato potrebbe verificare il tipo di pratiche e superstizioni del territorio. (v. Esercizi)

Approfondiamo ora la discussione degli effetti astronomici della Luna sulla Terra, in particolare della precessione degli equinozi (di cui parleremo anche a proposito della astrologia) e della variazione della distanza della Luna dalla Terra nel corso degli ultimi 500 milioni di anni.

La precessione degli equinozi, scoperta da Ipparco oltre 2000 anni fa, parzialmente spiegata da Newton e poi integrata da Bradley con la scoperta della nutazione, è effetto della forza gravitazionale combinata della Luna e del Sole sul rigonfiamento equatoriale terrestre. Spesso si fa l'analogia con una trottola, ma in effetti i due versi sono opposti (v. Figura 4).

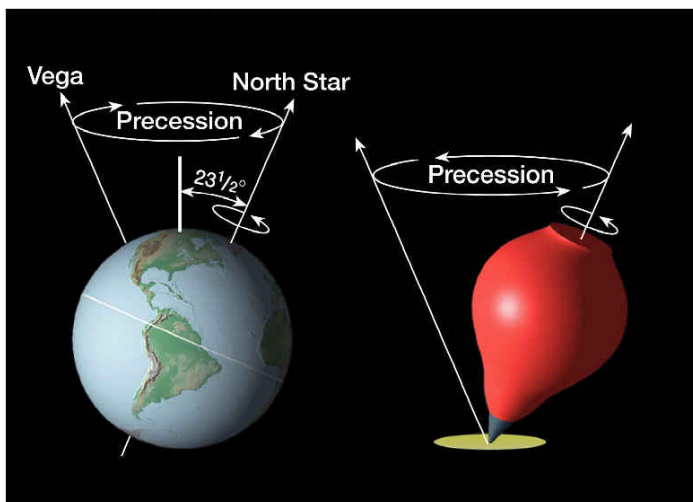


Figura 4 – Analogia tra la precessione degli equinozi e quella di una trottola.

Le osservazioni moderne hanno verificato che in effetti l'insieme dei movimenti della Terra a causa di Luna e Sole (e in misura molto minore ma pur tuttavia misurabile anche dei pianeti più vicini) è molto più complicato, come si vede schematicamente in Figura 5. Il fatto è che la Terra non è per niente un corpo 'rigido' come vorrebbe la Meccanica Celeste per semplificare la trattazione matematica, ma composto di vari gusci solidi con diversa rigidità, di oceani liquidi e di atmosfera gassosa, e ciascun guscio reagisce in modo diverso alle forzanti esterne. Per di più la distribuzione delle masse varia nel tempo, ad es. forti terremoti redistribuiscono masse attorno all'asse di rotazione, venti regolari come i monsoni cambiano direzione ogni 6 mesi, la neve nelle regioni artiche ha un accumulo stagionale, e così via. Questa complicazione è però oggi ben osservabile e tra le stazioni più adatte a questo tipo di misura dobbiamo citare quella dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) a Matera, che ben meriterebbe una visita didattica.

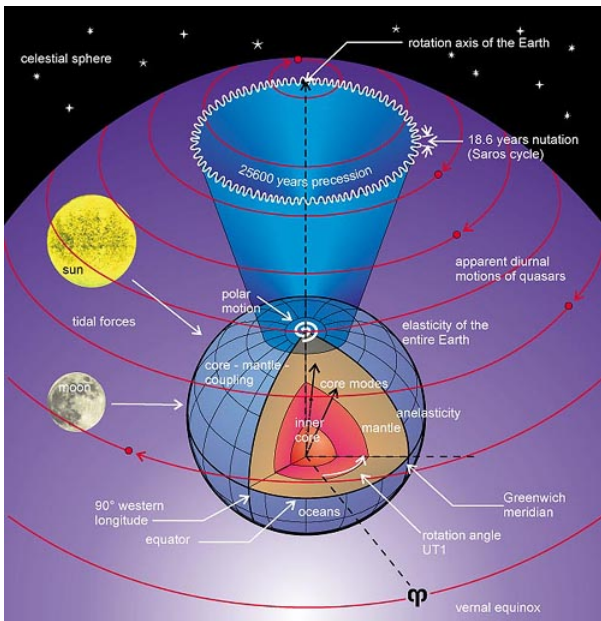


Figura 5 – L’insieme dei movimenti della Terra sotto l’azione di Luna e Sole.

Dissipiamo al riguardo due equivoci comuni:

- la precessione dipende dalla forza di gravità, e quindi dalla massa e dal quadrato della distanza del corpo forzante. E’ sbagliato: quello che conta è la differenza di intensità tra un estremo e l’altro della figura terrestre, e quindi l’effetto precessionale dipende dalla terza potenza della distanza, non dalla seconda. Quindi la leggera Luna ha effetto circa doppio di quello del molto più massiccio ma molto più lontano Sole. Lo stesso rapporto di importanza si ritrova evidentemente nelle maree (quelle a tutti noti di mare e quelle forse più ignorate di terra).
- un terremoto altera la direzione nello spazio dell’asse di rotazione terrestre (come si affannano a dire i mezzi di informazione): è sbagliato, nessuna forza interna al corpo può mutare la direzione dell’asse, ma può alterare bensì la posizione del solido terrestre rispetto a tale asse. Proprio la stazione di Matera ottenne la miglior evidenza di tale effetto dopo il famigerato Tsunami di qualche anno fa.

Quindi l’asse di rotazione della Terra si muove, lentamente ma non troppo, rispetto alle stelle, compiendo un intero giro in circa 26.000 anni e descrivendo un cono di semi-apertura 23.5 gradi (anche questa apertura è lievemente variabile nei secoli). Oggi l’asse punta circa verso la cosiddetta stella polare, ma tra 13.000 anni punterà verso la brillante stella Vega, ai tempi di Omero era abbastanza distante dalla stella polare che però era ancor utile per la navigazione. Nell’emisfero australe all’epoca presente non c’è nessuna stella brillante verso il polo celeste Sud.

Mi preme qui sottolineare che questa stabile inclinazione dell’asse di rotazione terrestre rispetto al piano di rivoluzione attorno al Sole ha un benefico effetto sulla costanza del clima, e quindi è favorevole allo sviluppo graduale della vita. Questa ad es. non è la situazione di Marte, il cui asse di rotazione può compiere forti escursioni di decine di gradi in poche decine di migliaia di anni.

Dai primi del XIX secolo si sa che la distanza Terra-Luna aumenta gradualmente, secondo le misure più recenti di circa 3.8 cm ogni anno! Questo effetto in larga parte è dovuto proprio alla dissipazione di energia di rotazione a causa delle maree. Una conseguenza è che anche la durata del giorno lentamente si allunga, e diminuisce il numero di giorni nell’anno. Un esercizio interessante potrebbe essere fare i conti della situazione 65 milioni di anni fa. Conti però non realistici, perché la situazione della terra era ben differente, come si vede in Figura 6.

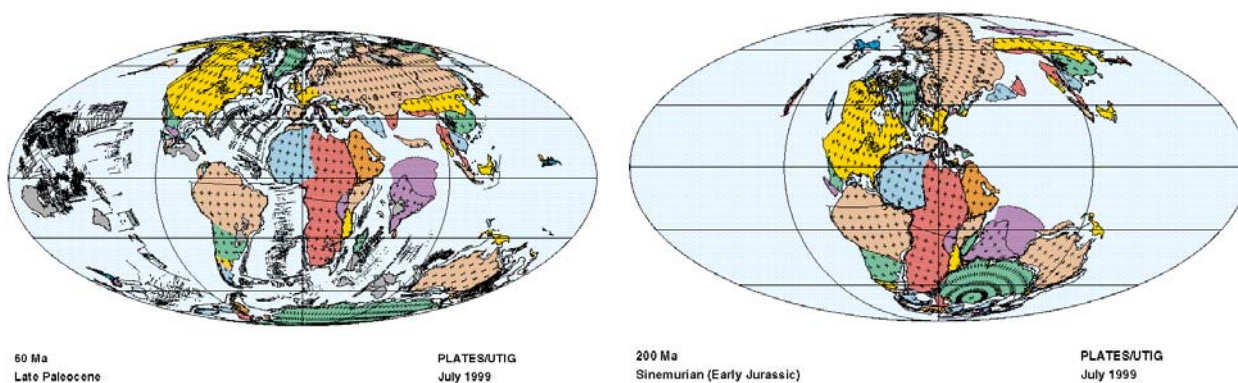


Figura 6 - La posizione relativa delle terre emerse 60 milioni di anni fa (a sx) e 200 milioni di anni fa (a dx).

La Tabella 1 mostra una stima della durata del giorno e del numero di giorni nell'anno nelle epoche passate:

Tabella 1 – Stima della durata di giorno e anno in ere passate

Periodo	era (milioni di anni)	Durata dell'anno in giorni	Durata del giorno in ore
Oggi	0	365	24
Cretaceo superiore	70	370	23.7
Triassico superiore	220	372	23.5
Devoniano superiore	380	399	22.0
Devoniano inferiore	410	410	21.4
Cambriano	510	424	20.7
Ediacariano	600	417	21.0
Criogeniano	900	486	18.0

Per un appassionato di archeologia può essere interessante chiedersi quale fosse la situazione 5000 o 6000 anni fa, cioè all'epoca delle prime registrazioni scritte (ad es. in tavolette sumere) delle circostanze delle eclissi. Il confronto tra i calcoli precisi che si possono fare oggi e quanto riportato dalle tavolette evidenzia una discrepanza di varie ore, effetto appunto della diversa durata del giorno. Si veda in Morrison and Stephenson, 2004, che tuttavia esprimono grande cautela nel trarre conclusioni dalle eclissi prima del 1000 a.C. Certamente il tema 'paura – fiducia' troverebbe un grande campo di indagine dalle credenze legate alle eclissi di luna e di sole in varie civiltà.

1.4 – I canali marziani e i 'marziani'

A Giovanni Virginio Schiaparelli dobbiamo anche l'osservazione sistematica di Marte, con la ben nota vicenda della scoperta di canali. Schiaparelli si era proposto di condurre una vera e propria determinazione cartografica della superficie del pianeta, usando il rifrattore Merz di 22 cm installato agli inizi del 1875 all'Osservatorio di Brera.

In effetti riuscì a determinare con grande precisione la direzione dell'asse di rotazione, e a individuare tutta una serie di punti di riferimento. Approfittando della favorevole opposizione del 1877 produsse un dettagliatissimo atlante della superficie del pianeta, presentato l'anno successivo alla Accademia dei Lincei. In particolare la superficie appariva solcata da una rete di diritte linee scure, che Padre Secchi chiamò 'canali'. L'impressione fu tale che il Parlamento finanziò l'acquisto di un rifrattore Merz-Repsold da 50 cm, installato nel 1882. Ma i particolari osservati da Schiaparelli erano tanto minuti che sembravano impossibili da risolvere con il suo telescopio. Vincenzo Cerulli si era costruito a Teramo un osservatorio privato (Collurania), con il quale aveva invano tentato di riprodurre le osservazioni di Schiaparelli, arrivando alla conclusione che i pretesi canali non erano altro che una illusione ottica: l'osservatore tende a collegare i punti al limite della risoluzione con linee diritte, un processo che il Cerulli chiamò di integrazione ottica. Purtroppo il caso dei canali di Marte venne aggravato dalle osservazioni di Percival Lowell, che pure si era dotato di un osservatorio privato in Arizona, uno dei migliori dell'epoca. Lowell era convintissimo dell'esistenza dei canali e pubblicò vari libri al riguardo, in cui sosteneva che i canali fossero delle imponenti opere di ingegneria idraulica progettate dai marziani per meglio gestire le scarse risorse idriche del pianeta.

L'esistenza dei marziani, una superciviltà in grado di invadere la terra, fu alimentata dalla celebre trasmissione radiofonica di Orson Welles del 1938 *La Guerra dei Mondi*, trasmissione che scatenò il panico in buona parte degli Stati Uniti, facendo credere alla popolazione di essere sotto attacco da parte dei marziani. Tragica coincidenza, di lì a poco sarebbe esplosa la II guerra mondiale. Riparleremo di UFO nell'ultimo capitolo.

Nessuno dei pretesi canali di Schiaparelli e Lowell è sopravvissuto alle osservazioni dallo spazio, già le prime immagini del Mariner 9 nel 1972 mostravano una superficie ben diversa; l'unico dettaglio in comune, oltre alle facilmente visibili cappe polari, è rimasta la gigantesca Valle Marineris.

Una scoperta sicura fu invece quella delle due piccole lune di Marte, Deimos e Phobos, effettuata nel 1877 da Asaph Hall con il telescopio rifrattore di Washington, una delle ultime scoperte dei rifrattori, ormai soppiantati dai telescopi riflettori. Altrettanto sicure altre due scoperte verso il 1890, una prima dovuta a W. H. Pickering, che le dimensioni delle cappe polari hanno un andamento stagionale, e una seconda, dovuta a H. Vogel, che effettivamente il vapor acqueo è presente (anche se molto minoritario rispetto al CO₂) nella atmosfera marziana.

1.5 – 1838, l'anno di svolta per le distanze stellari

Quindi nell'anno in Leopardi scriveva l'Infinito si conoscevano già vari elementi del nostro Sistema Solare, **ma ancora non si aveva idea delle distanze alle stelle. Dovevano essere molto grandi, ma quanto?**

Se consideriamo l'usuale rappresentazione cartesiana della distanza di un oggetto dall'origine (che possiamo porre nella posizione occupata dall'osservatore) mediante la terna di coordinate (x,y,z) , vediamo facilmente che la distanza è data da:

$$d = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

O anche, se passiamo in coordinate polari (r, λ, φ) :

$$x = r \cos \varphi \cos \lambda \quad , \quad y = r \cos \varphi \sin \lambda \quad , \quad z = r \sin \varphi$$

Come misurare r ? la risposta più ovvia è: misurando l'angolo di parallasse (metodo delle parallasse trigonometriche). Ma qui appunto nasce una difficoltà quasi insormontabile, cioè che le basi rispetto alle quali condurre la misura, il diametro della Terra o meglio ancora il diametro dell'orbita terrestre (v. Figura 7) sono piccolissime rispetto alla distanza anche delle stelle più vicine.

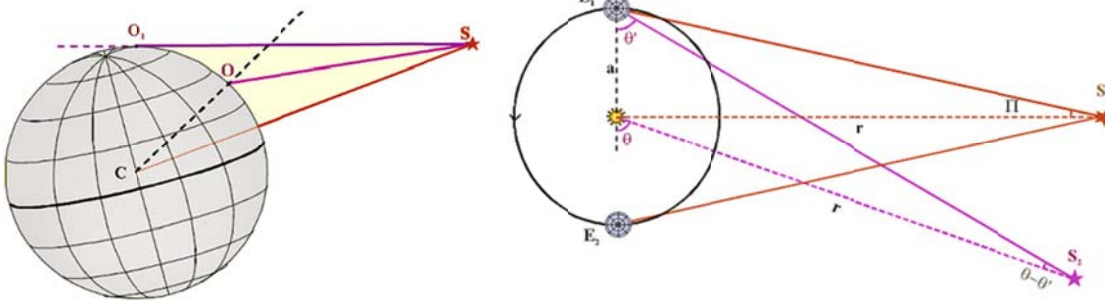


Figura 7 . L'angolo di parallasse: a sx. usando come base il diametro della Terra (parallasse diurna); a dx. usando come base la posizione della Terra a 6 mesi di distanza (parallasse annua, la stella non deve necessariamente essere sul piano dell'orbita terrestre).

Finalmente la grande svolta del 1838, grazie a Bessel, e subito dopo a Anderson e Struve: le stelle più vicine distano almeno 200.000 volte la distanza Terra-Sole, la stragrande maggioranza sono a distanze del tutto immisurabili anche con i mezzi più sofisticati. Finalmente dopo il 1838 si poté esprimere in km la a-dimensionale unità di misura delle distanze celesti, cioè il parsec, che è la distanza sotto cui dalla stella il raggio dell'orbita terrestre sottende esattamente un secondo d'arco. Dunque fu superato un altro scalino della impervia 'scala delle distanze astronomiche': grazie alla conoscenza in km della distanza Terra Sole (Unità Astronomica, circa 1.5×10^8 km) si poté esprimere in km il parsec, $1 \text{ pc} \approx 3.14 \times 10^{13}$ km. I multipli del pc sono indicati con kpc (mille), Mpc (un milione) e Gpc (un miliardo), multipli usati rispettivamente entro la nostra Via Lattea, per le galassie più vicine e infine per le distanze cosmologiche.

Dal parsec possiamo derivare una seconda unità di misura delle distanze, l'anno-luce, che è la distanza percorsa nel vuoto dalla luce in un anno ($1 \text{ pc} \approx 3,3$ anni-luce). Ora, a tutto rigore è erroneo considerare l'anno-luce una unità di misura del tempo, tuttavia distanza e tempo sono strettamente legate, al punto che vale la pena soffermarsi sul significato di contemporaneità se applicato alla osservazione del firmamento. Noi certamente osserviamo in questo istante tutto l'Universo visibile, ma la luce dei vari oggetti è partito a tempi diversissimi, sempre più distanti nel passato quanto più l'oggetto è distante nello spazio: 8 minuti fa dal Sole, 4 anni orsono dalla stella più vicina, qualche miliardo di anni fa dagli oggetti più distanti oggi conosciuti.

Credo che in molti pensatori dell'epoca si sia avvertito un senso di sgomento dalla prima misura di quanto enormi siano le distanze stellari, certamente il Sole, la Terra, l'uomo stesso perdono di importanza in tale immensità. Tale senso di sgomento era già presente in un poema di John Milton due secoli prima, *Paradise Lost*, nel capitolo VIII (v. <http://www.paradiselost.org/>). Nel 1638 Milton aveva probabilmente visitato Galileo (già processato) a Firenze. Ma ancora si era lontani dal capire quanto davvero sia grande l'Universo e come la nozione di 'centralità' sia illusoria. Ne ripareremo nel capitolo sulla cosmologia.

Per terminare questo paragrafo, va rilevato che la qualità delle misure di posizione e distanza (dette anche misure astrometriche) fatte da terra è severamente limitata sia dalla nostra atmosfera che dalla impossibilità di vedere tutta la sfera celeste. Osservazioni dallo spazio superano entrambe le difficoltà. L'Europa e l'Italia in essa, tramite l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e italiana (ASI) hanno una importanza

enorme in questo campo, prima con il satellite Hipparcos, e oggi con il satellite GAIA, lanciato con successo il 18 dicembre 2013. Il sito: http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Gaia contiene anche una bella storia delle misure astrometriche nei trascorsi millenni.

1.6 - Seconda metà del XIX secolo, la nascita dell'elettromagnetismo e della chimica, l'astrofisica

Nella seconda metà del XIX secolo continua a svilupparsi la Meccanica Celeste, ma assistiamo anche all'impetuoso sviluppo dell'Elettromagnetismo e della Chimica. Cito solo alcuni nomi, Maxwell, Hertz, Roentgen, Fraunhofer, Arrhenius, Janssen. I rapporti tra spettroscopia, chimica e astronomia divennero così strettissimi e fruttuosissimi, e possiamo affermare che l'astrofisica (come fu chiamata questa nuova astronomia, dedicata all'indagine fisica e chimica delle stelle, oggi il termine è usato in modo più generale e ha perso l'originale senso letterale), sia nata tra il 1860 e il 1890 in gran parte per merito di astronomi italiani. Oltre ai nomi già citati elenchiamo quelli di William Huggins e Norman Lockyer, di Giovan Battista Donati a Firenze, di Angelo Secchi e Lorenzo Respighi a Roma.

Il quadro chimico si cominciava appena a delineare quando Angelo Secchi applicava uno spettrografo di buona qualità a un modesto telescopio di 24 cm di diametro, e dopo vari anni di assidue osservazioni visuali riusciva a ordinare lo spettro di ben 4000 stelle in 4 tipi spettrali fondamentali:

stelle bianche (Vega, Altair, Sirio) spettro quasi continuo solcato da poche righe scure tra cui notevoli quelle dell'Idrogeno;

stelle gialle (come il Sole, Capella, Polluce), spettro continuo solcato da righe intense ma anche da una miriade di righe più sottili;

stelle giallo arancio (Betelgeuse, Aldebaran, Arturo), spettro con numerosissime righe sottili ma anche larghe righe sfumate (dette bande);

stelle rosse (R Leporis, 152 Schiellerup), in cui appare molto debole l'emissione continua nel blu, diminuiscono le righe sottili e aumentano le bande diffuse.

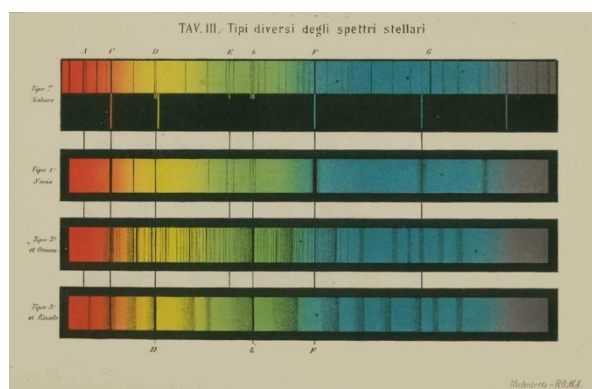


Figura 8 – Riproduzione di spettri di A. Secchi, osservati visualmente e disegnati e colorati su carta.

Questa classificazione è poi stata gradualmente raffinata (in particolare da Morgan e Keenan attorno al 1950), grazie anche alla introduzione sempre più diffusa delle emulsioni fotografiche, ma è sufficiente per gli scopi presenti. Dunque le stelle normali mostrano uno spettro composto di un continuo indice della temperatura superficiale T (con fondamento teorico nelle leggi del corpo nero, messe a punto da Stefan e

Boltzmann, Wien e poi infine da Planck proprio nel 1900) e da un insieme di righe e bande dovute alla presenza di vari gas (atomici o molecolari, neutri o ionizzati) nell'atmosfera della stella.

Lo spettro dà quindi modo di conoscere direttamente la temperatura superficiale e la composizione chimica della stella, ed è bene ricordare la straordinaria omogeneità chimica dell'Universo oggi conosciuto, espressa nella seguente tabella (che dà percentuali rispetto all'Idrogeno):

Tabella 2 – Composizione chimica universale

Elemento	Numero	Massa
Idrogeno (H)	100.0	100.00
Elio (He)	8.5	34.00
Carbonio (C), Azoto (N), Ossigeno (O), Neon (Ne)	0.116	1.70
'Metalli' (tutto il resto)	0.014	0.50
Totale	108.630	136.25

La composizione chimica dell'universo, e quindi dei suoi componenti fondamentali, cioè le stelle, è dominato dall'Idrogeno, con una buona percentuale di He e tracce di tutto il resto. Una situazione quindi ben diversa da quella della Terra e dei pianeti terrestri (Mercurio, Venere, Luna, Marte), la cui composizione odierna, dominata da elementi pesanti quali Calcio, Ferro, Silicio, Alluminio etc., è dovuta all'effetto combinato della prossimità al Sole (il cui calore ha rimosso molto velocemente gli elementi volatili) e alla ridotta gravità (che non consente di trattenere gli elementi più leggeri, che quindi evaporano).

Un altro risultato importante di quegli anni è la constatazione della validità delle leggi fisiche in tutto l'Universo conosciuto, la gravitazione universale, l'elettromagnetismo, la nascente meccanica quantistica, tutte hanno lo stesso comportamento osservato sulla Terra e nel sistema solare.

Può essere interessante ricordare gli interessi astronomici di un altro grande filosofo dell'epoca, cioè F. Nietzsche (v. Referenze).

1.7 - Struttura e evoluzione delle stelle

Le osservazioni e la teoria dimostrano che l'Universo originario (di cui parleremo meglio nel paragrafo sulla cosmologia) era composto solamente di H e He. Da dove allora provengono gli elementi più pesanti? E ancor prima di questa, un'altra domanda: qual è il meccanismo che produce l'energia irradiata dal Sole e dalle altre stelle, per quanto tempo può durare? Domande rimaste forzatamente senza risposta sino alla nascita della Meccanica Quantistica e della Fisica Nucleare tra il 1900 e il 1940.

Senza entrare nei dettagli, dalle leggi di irraggiamento del corpo nero ricaviamo che l'energia L complessivamente emessa da una stella (che possiamo considerare una sfera gassosa in equilibrio meccanico) sotto forma di radiazione elettromagnetica (quindi luce, calore, raggi X etc.), dipende da due variabili, temperatura superficiale T e raggio R :

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4 \text{ dove } \sigma \text{ è una costante detta di Stefan-Boltzmann.}$$

Se usiamo il Sole come riferimento avremo allora:

$$L/L_o = \left(\frac{R}{R_o}\right)^2 \cdot \left(\frac{T}{T_o}\right)^4$$

da cui vediamo come sia possibile avere stelle intrinsecamente molto luminose o perché hanno raggi molto grandi o perché hanno temperature superficiali molto grandi, e inversamente per stelle poco luminose. In effetti le osservazioni provano che ci sono stelle con temperature superficiali che vanno da 1000 a 100.000 gradi e raggi da 0.01 a 1000 volte quello solare. Questi fatti osservativi sono riassunti in un celebre diagramma prodotto per la prima volta verso il 1916 da due astronomi, il danese Hertzsprung e l'americano Russell, da cui il nome di diagramma H-R, di cui vediamo qui due rappresentazioni grafiche.

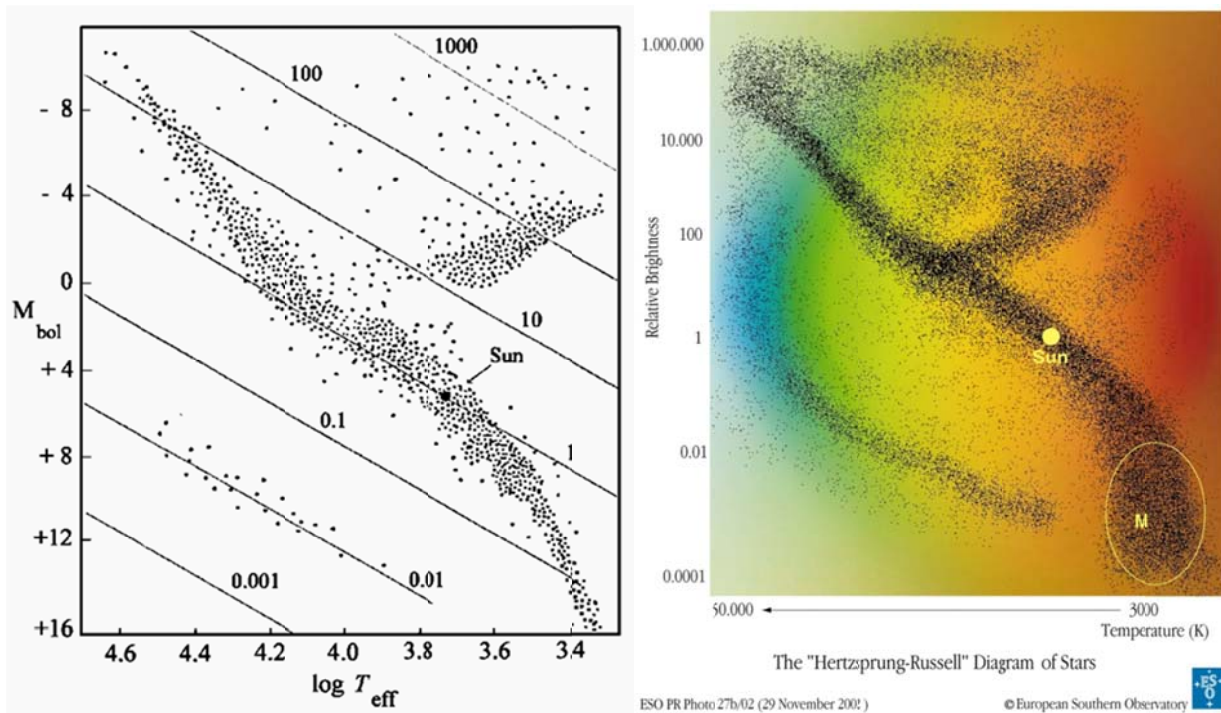


Figura 9 – Il diagramma H-R in due diverse rappresentazioni grafiche. In ascissa il logaritmo in base 10 della temperatura, in ordinata la luminosità. Le linee di pendenza 2 indicano i raggi relativi a quello solare.

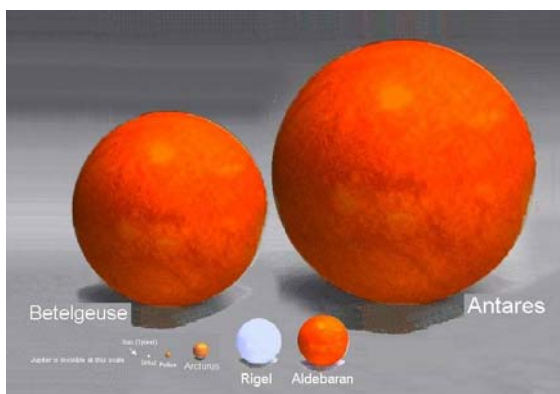


Figura 10 - Una rappresentazione grafica dei diversi raggi stellari. Su questa scala, le stelle di raggio inferiore a quello solare (che sono la stragrande maggioranza) sono puntiformi.

Per quanto riguarda la produzione di energia, essa avviene tramite **la fusione di H in He** e poi via via da He in elementi più pesanti, nel caldissimo interno delle stelle. Per dare un'idea, il Sole ha una temperatura superficiale sui 6000 K (scala Kelvin, uguale a quella Celsius C tranne il punto zero, $K = 0$ corrisponde a circa

-273 C), ma il nucleo centrale è a circa 12 milioni di K. Questo meccanismo assicura a stelle come il Sole circa 10 miliardi di anni di vita; stelle molto più calde dureranno corrispondentemente molto di meno, con una esplosione finale che rilascia nello spazio circostante gli elementi pesanti prodotti nel loro interno. Da questo mezzo interstellare arricchito di elementi pesanti si possono formare nuove stelle, e il ciclo continua con un graduale aumento di elementi pesanti sino ad arrivare alla composizione della Tabella 2. Si veda in Castellani, e in Coyne e Omizzolo (Referenze).

Dunque fusione, e non fissione, con un meccanismo che è abbastanza inefficiente. Ricordiamo la celebre equazione di Einstein che esprime l'equivalenza tra massa m e energia E :

$$E = \Delta m \cdot c^2 \quad \text{dove } c \text{ è la velocità della luce nel vuoto.}$$

Se 4 protoni (cioè 4 nuclei di H) si fondono per produrre un nucleo di He, la perdita di massa è del 7 per mille, e questa è l'energia sviluppata da tale fusione (non tutta questa energia va in luce e calore, una piccola frazione si perde come neutrini, questa elusiva particella su cui poi torneremo). Contrariamente a quanto si possa supporre, l'efficienza è dunque bassa, e fortunatamente è così, la massa del nucleo solare (mettiamo il 10% di tutta la massa del Sole) può irraggiare energia per 10 miliardi di anni a ritmo pressoché costante. Questa energia prodotta nelle zone centrali si diffonde poi lentamente, mediante sia conduzione che convezione, verso la superficie da dove infine esce nello spazio esterno alla emperatura osservata di 6000 K.

La generazione di energia per mezzo di reazioni nucleari è indubbiamente un tema in cui il dualismo 'paura - speranza' si è fatto acutissimo. Si veda ad es. in Armaroli e Balzani (2008) e nell'esercizio corrispondente.

Dato che le rocce lunari si sono solidificate circa 4.5 miliardi di anni orsono, ne deriviamo l'idea che oggi siamo a circa metà della vita del Sole e che quindi abbiamo davanti ancora alcuni miliardi di anni di irraggiamento solare sostanzialmente stabile. Una conclusione certamente rassicurante.

Le teorie della struttura stellare e della loro evoluzione nel tempo sono state grandemente facilitate da due fatti:

- esistono stelle variabili, cioè non strettamente in equilibrio termo-meccanico: ogni situazione di disequilibrio dà informazioni preziose sulla struttura interna
- le stelle tipicamente non sono isolate, la grande maggioranza fa parte di sistemi binari o di molteplicità ancora maggiore. Inoltre, tipicamente si raggruppano in due grandi varietà di ammassi, quelli aperti, composti da migliaia di stelle, e quelli globulari, composti invece da centinaia di migliaia o addirittura milioni di stelle. La loro prossimità in cielo fa presumere che le stelle dell'ammasso si siano formate allo stesso tempo. In altre parole, i diagrammi H-R dei diversi ammassi forniscono delle ideali isocrone della struttura stellare. Dalla teoria, e anche dalla osservazione di stelle doppie o multiple, è poi possibile determinare un altro parametro fondamentale delle stelle, cioè la loro massa. Sempre con riferimento al Sole, troviamo anche in questo caso una grande dispersione di valori, da qualche centesimo fino a qualche migliaio di masse solari (ricordiamo che Giove, il pianeta più massiccio, pesa circa 0.001 volte il Sole).



Figura 11 – A sx, l’ammasso aperto delle Pleiadi, visibile anche a occhio nudo. A dx, l’ammasso globulare M15 in una splendida immagine dell’Hubble Space Telescope.

Vorrei sottolineare che la frase spesso ripetuta, che il Sole è una stella ‘normale’, non è affatto corretta: intanto è una stella singola e non doppia o multipla come la gran parte delle altre, poi non è situata entro a un ammasso e infine la sua luminosità è pressoché costante e tutt’altro che mediocre. Almeno il 95% delle stelle normali hanno raggi più piccoli e luminosità molto più basse. Come vedremo più avanti, queste caratteristiche del Sole sono estremamente favorevoli alla vita, così come la conosciamo. Così come il Sole, anche la Terra è tutt’altro che un pianeta normale, dovremmo infatti considerarla più correttamente come ‘pianeta doppio’, con una luna massiccia che ha una diretta e importantissima influenza sul clima terrestre e quindi sulla abitabilità, tramite la precessione degli equinozi.

Concludiamo questa sezione con una osservazione quasi filosofica, il nostro corpo è composto di tanti elementi, in gran parte sintetizzati all’interno delle stelle, per cui la frase ‘siamo figli delle stelle’ ha un notevole senso scientifico, e per così dire ristabilisce su basi corrette il legame tra l’uomo e gli astri.

1.8 - Fasi finali della vita stellare

Per quanto di lunga durata, i vari processi di fusione hanno una vita finita. Quando l’energia interna non è più sufficiente a bilanciare la gravità, la struttura della stella entra in veloci fasi di disequilibrio, i cui dettagli dipendono dalla massa della stella e dalla sua prossimità a una eventuale compagna. Mi limito qui a citare la morte più spettacolare, quella che va sotto il nome di supernova, di cui esistono alcune varietà e di cui parleremo ancora in Cosmologia. Il disequilibrio è così forte che la quasi totalità della stella si dissolve dando origine a gas diffuso e arricchito appunto degli elementi pesanti prodotti all’interno. Il repentino aumento di luminosità è davvero impressionante, e permane per vari mesi dopo l’esplosione iniziale.

Tra le tante, cito qui la supernova nella Nebulosa del Granchio, in inglese ‘Crab Nebula’, anche per il suo interesse storico.

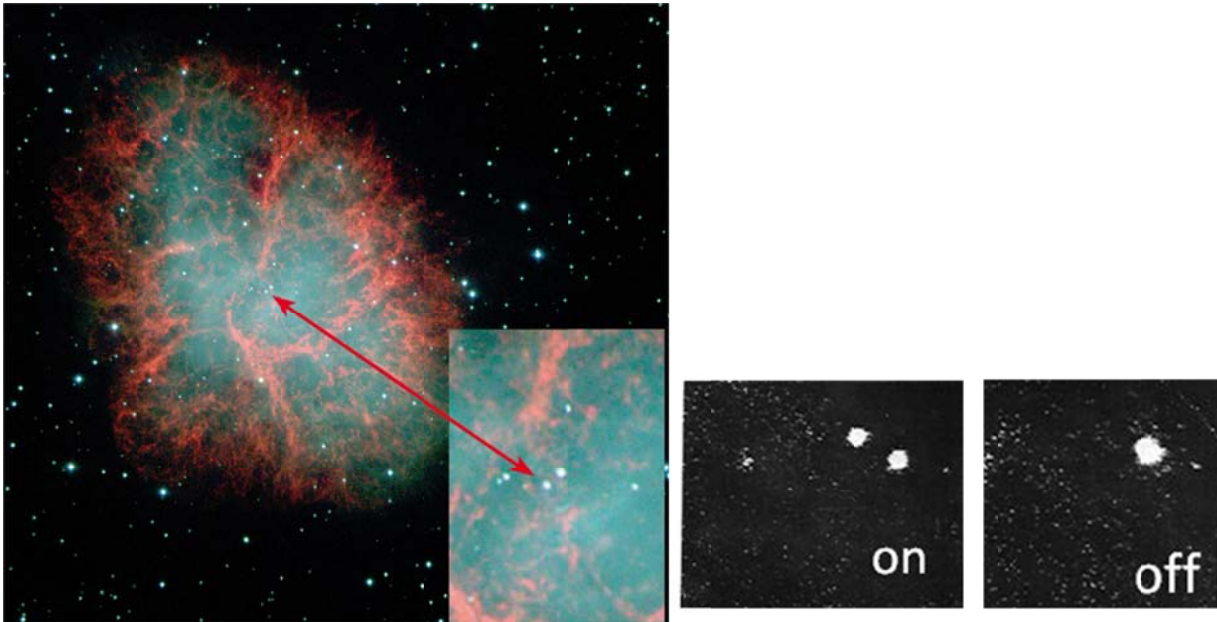


Figura 12 – La nebulosa del Granchio (detta anche M1, è il primo oggetto del catalogo di Messier). Nel riquadro la pulsar ottica.

La figura mostra i resti gassosi (i filamenti indicano la struttura del campo magnetico che intrappola i gas neutri e ionizzati generati dalla esplosione). La supernova è molto recente, essendo stata osservata a occhio nudo dagli astronomi cinesi e giapponesi nel 1054. Fu così brillante da essere visibile anche in pieno giorno. Per una disamina storica si veda in Collins et al, 1999 (Referenze), ma varrebbe la pena approfondire l'argomento della assenza di notizie certe da fonti italiane o europee in generale (v. esercizi). Sia come sia, è verosimile che una tale apparizione sia stata per molti motivi di terrore e per altri invece di buon auspicio, come successe certamente per la cometa di Halley rappresentata nell'arazzo di Bayeux durante la sua apparizione del 1066, cioè 12 anni dopo quella della SN del Granchio.

La SN è importantissima per un secondo motivo, cioè quello di ospitare la più brillante pulsar ottica. Le pulsar sono una delle scoperte della seconda metà degli anni '60 del secolo scorso, l'acronimo significa 'pulsating radio stars'. Infatti i radiotelescopi dell'epoca scoprirono dei segnali con una periodicità così regolare da far sospettare trasmissioni da una civiltà intelligente, e inizialmente furono chiamate appunto segnali da 'little green men'. Chiaramente era una delle sorprese che la natura ci regalò in quegli anni, le pulsar, le quasar e la radiazione di corpo nero di cui parleremo in cosmologia, grazie alla radioastronomia.

Ben presto, i telescopi ottici scoprirono che anche otticamente la pulsar del Granchio ha una eccezionale proprietà, la stellina centrale, resto della tremenda esplosione osservata nel 1054 (circa 7000 anni dopo quando effettivamente avvenne) si accende e spegne 30 volte al secondo.

La spiegazione del fenomeno sta nel fatto che l'esplosione ha lasciato una piccolissima stella composta solamente di neutroni, rotante a alta velocità e con un diametro di appena 10 km. Dalla stella esce in continuazione un fascio di elettroni relativistici che emettono radiazione molto ben collimata, un po' come fa un faro girevole. L'osservatore terrestre vede così il fascio solo quando la radiazione gli passa sopra. E' interessante ricordare che l'esistenza di stelle a neutroni era stata predetta con decenni di anticipo da un grande 'eretico' del XX secolo, Fritz Zwicky, svizzero emigrato in California al celebre osservatorio di Mt. Palomar dove riuscì a litigare con quasi tutto lo staff. E di solito aveva ragione, ma questo lo si capì molti anni dopo.

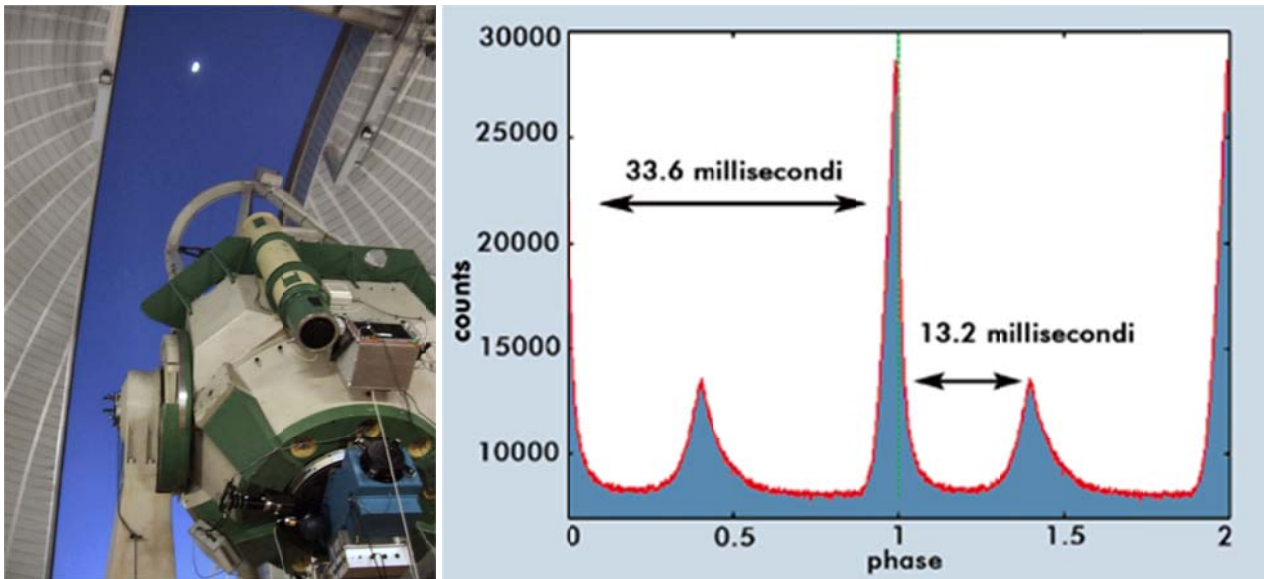


Figura 13 – La curva di luce della pulsar Granchio con il 182cm ‘Copernico’ di Asiago – Cima Ekar

La fine di una stella come stella di neutroni è davvero peculiare, ma non è il caso più estremo. Se la massa supera circa le 3 masse solari la gravità vince su qualunque forza interna e la stella è costretta a collassare su stessa fino a oltrepassare la minima dimensione possibile, quella detta ‘raggio di Schwarzschild’: la stella diventa un cosiddetto ‘buco nero’ da cui non può uscire neppure la luce. Naturalmente i buchi neri sono oggetto di voli fantascientifici, come macchine del tempo, viaggi superluminali e così via. Il caso più estremo a me noto è di quel tizio che si appellò a una Corte di Giustizia negli Stati Uniti per impedire la costruzione del Large Hadron Collider al CERN di Ginevra, per timore che potesse essere generato un buco nero che avrebbe inghiottito tutta la Terra. Così come vanno le cose, ritengo che il tale abbia sbagliato nazione, probabilmente in Italia un TAR gli avrebbe dato ascolto (si veda anche l’ultimo capitolo).

La realtà è che i buchi neri sono stati davvero osservati, anche se indirettamente dalle perturbazioni che causano alla materia circostante. Se ne conoscono di varie dimensioni, da quelle stellari su su fino a quelle di una intera galassia, e sono un potentissimo mezzo per conoscere il comportamento della materia in condizioni fisiche estreme.

1.9 - La disposizione delle stelle nella Via Lattea

A partire dalla seconda metà del XX secolo, alle osservazioni ottiche si sono affiancate quelle a radiofrequenza, che hanno permesso di allargare le conoscenze a altri oggetti che popolano l’Universo, cioè oltre alle già citate pulsar e quasar anche alle grandi nubi di gas interstellare totalmente invisibili nell’ottico. Come tutto il resto dell’Universo, anche queste nubi sono essenzialmente composte di Idrogeno. La loro temperatura e la loro densità hanno valori bassissimi, per fissare le idee -170 C e 100 atomi di H per centimetro cubo (un ‘vuoto’ più vuoto di quanto si possa fare in laboratorio). Tuttavia esse emettono, grazie a un meccanismo totalmente quantistico, radiazione a lunghezza d’onda di circa 21 cm (1420 MHz). Tale radiazione può essere analizzata per determinare sia la densità e temperatura che la velocità radiale della nube stessa tramite l’effetto Doppler (v. anche in Cosmologia). Questi studi, unitamente a quelli ottici, hanno permesso di determinare con notevole precisione la struttura della Via Lattea, di cui Galileo aveva scoperto lo sterminato numero di stelle che la compongono.



Figura 14 – la Via Lattea, in un mosaico di straordinaria bellezza da Cerro Paranal (Cile). Sulla sx si vedono i 4 telescopi del Very Large Telescope della European Southern Observatory.

Il Sole dista circa 8 kpc dal centro e ruota attorno a essa con una velocità di circa 250 km/s. Ciò significa che il Sole impiega circa 250 milioni di anni a compiere un giro completo. Quando scomparvero i dinosauri, circa 65 ml di anni fa, il Sole era a circa 90° da dove si trova ora.

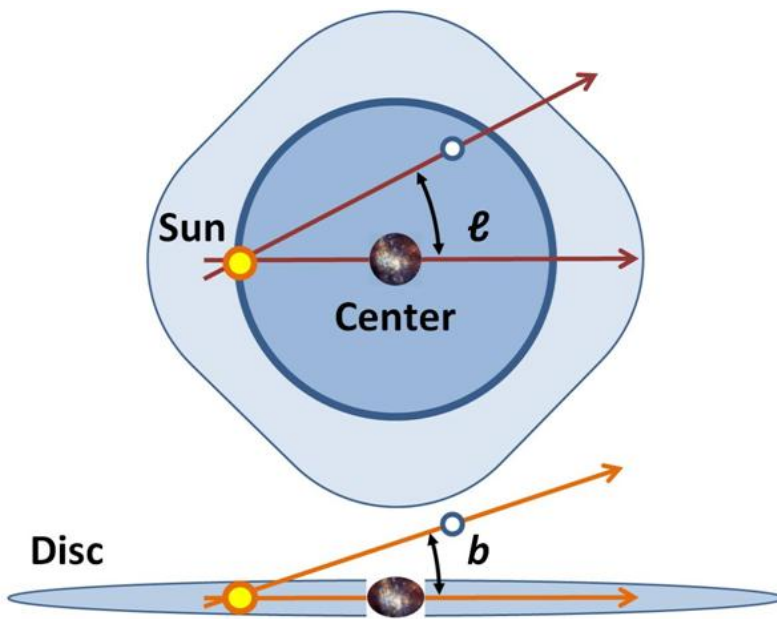


Figura 15 – La struttura della Via Lattea, in una ideale rappresentazione da sopra e di taglio, che evidenzia anche il sistema di coordinate galattiche indicate con (l, b).

Le osservazioni consentono di determinare non solo dimensioni e figura, ma anche la massa totale della Via Lattea, circa 10^{11} masse stellari, da qui il detto '100 miliardi di stelle'. Come abbiamo visto, questa affermazione è suggestiva, ma tutt'altro che corretta. La massa della Via Lattea equivale sì a quella di 100 miliardi di Soli, ma la gran parte delle stelle normali è molto meno massiccia, per cui il numero di stelle è forse 100 volte maggiore. Se anche una piccolissima frazione di tali stelle è accompagnata da pianeti, il numero di pianeti (abitabili o no) nella nostra Via Lattea è davvero straordinariamente grande.

2- Galassie e loro sistemi, l'universo, la cosmologia

La scoperta delle 'nebulose extragalattiche' o meglio oggi delle galassie, sistemi di decine o centinaia di miliardi di stelle di cui la Via Lattea è solo un esempio. La scoperta dell'espansione dell'Universo. La scoperta del corpo nero cosmologico. Materia e energia oscura. perché l'Universo sembra 'sentire' la presenza dell'uomo, esistono più Universi?

2.1 - La scoperta delle galassie

Il catalogo di Messier aveva fornito una prima lista di oggetti dall'aspetto non stellare, e i cataloghi successivi ne avevano grandemente allargato il numero. Con il progredire della qualità delle immagini, e in particolare con l'avvento della fotografia che gradualmente soppiantava l'osservazione a occhio nudo e il disegno a pastello (se ne veda un bell'esempio in Figura 16), la natura di alcune di queste 'nebulosa' diveniva oggetto di forte dibattito.



Figura 16 – in alto il telescopio di Lord Rosse a Birr Castle (Irlanda centrale). In basso a sx: il disegno a matita di Lord Rosse della galassia M31, a dx la stessa galassia fotografata a Asiago.

Alcuni sostenevano la loro appartenenza alla nostra Via Lattea, altri avevano sposato l'idea kantiana di 'Universi isola'. Le varie opinioni al riguardo furono riassunte in un celebre dibattito che ebbe luogo alla National Academy of Sciences a Washington nell'aprile 1920, tra Harlow Shapley e Heber D. Curtis. Il secondo sostenne l'ipotesi corretta: molte di queste nebulose sono in realtà immensi insiemi di stelle, gas diffusi e nubi di polvere aventi forma, dimensioni e masse paragonabili a quelle della nostra Via Lattea. Non è raro trovare ancor oggi la dizione di 'nebulose extragalattiche' al posto di quella 'galassie'. Le più vicine a noi sono le due Nubi di Magellano, visibili nell'emisfero australe, e la grande M31 in Andromeda.



Figura 17 - M51, una galassia a spirale, simile alla Via Lattea, e vista dal di sopra. La galassia non è isolata, ha una compagna gravitazionalmente legata ad essa.

Lo studio delle galassie, della loro massa e forma e evoluzione chimica, morfologica e dinamica, degli ammassi in cui sono di solito inglobate, è uno dei settori più attivi dell'astrofisica contemporanea. Qui però le utilizziamo solo come indicatori di distanza e di struttura di tutto l'Universo, entrando quindi decisamente nel campo della cosmologia.

2.2 – Varie domande e un po' di filosofia

- Come è fatto l'Universo?
- Quanto è grande?
- Ha avuto un inizio e avrà una fine?
- Dove si situa l'uomo?

Tanti interrogativi che l'uomo si è sempre posto e cui ha dato risposte diverse a seconda delle conoscenze di quella particolare epoca. Faccio un breve richiamo a Nicola Cusano (1401 - 1464) e alcune sue proposizioni interessanti:

In un universo infinito non esiste alcun centro. Il centro è ovunque, perché Dio è ovunque.

La matematica è il linguaggio della natura e di Dio.

Infinitamente grande e infinitamente piccolo coincidono (coincidentia oppositorum)

La ragione umana è limitata e non arriverà mai a conoscere un Dio infinito (De docta ignorantia).

Queste proposizioni torneranno in varia forma nella seguente esposizione.



Figura 18 – ritratto di N. Cusano

Poniamoci ora una prima domanda apparentemente banale: perché di notte il cielo è buio? La risposta sembra ovvia, dato che di notte il Sole illumina l'altro emisfero. Tuttavia, a ben pensarci, se davvero esistessero gli 'infiniti mondi', anche di notte, in qualunque direzione si guardi, si troverebbe un numero infinito di stelle, e il cielo dovrebbe essere uniformemente illuminato, proprio come di giorno. E' il cosiddetto '*paradosso di Olbers*' del 1823, ma la domanda era già stata formulata in precedenza, ad esempio da Keplero e Halley.

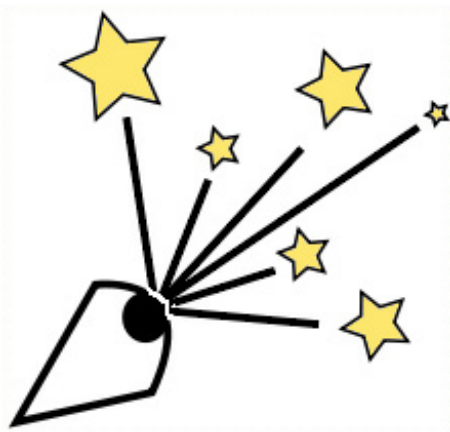


Figura 19 – Il paradosso di Olbers

C'è poi una seconda domanda, anch'essa apparentemente banale: se è vero che la forza di gravità agisce su tutti i corpi terrestri e celesti, perché l'Universo non cade verso un centro? Risposta di Newton: se ogni punto è il centro di una distribuzione infinita di massa non esiste un punto centrale su cui cadere.

In effetti sino a pochi decenni fa non è stato possibile dare risposte convincenti né alla prima né alla seconda domanda. Oggi la moderna Cosmologia ci dà le conoscenze e gli strumenti di pensiero e di osservazione necessari per avviarci verso soluzioni soddisfacenti (ma certamente non definitive).

2.3 - Gli anni fatidici: 1895 – 1930

In quegli anni avvenne una completa rifondazione della fisica e della astronomia. Cito quattro di tali rivolgimenti:

1. 1895: Albert Michelson dimostra mediante il suo interferometro *che l'etere non esiste* e apre la strada al superamento dello spazio galileiano e del tempo newtoniano. Abbastanza ironica la sua affermazione che ormai la fisica non aveva più nulla da scoprire se non spingere la precisione a ulteriori decimali, mentre lui stesso spalancava uno sviluppo straordinario. Non sempre i grandi hanno ragione.
2. 1900: Max Planck fonda la Meccanica Quantistica, che a prima vista si applica solo all'infinitamente piccolo, e che risponde a alcune domande sino a quel punto senza risposta. Infatti agli inizi del 1900 la fisica e la chimica non riuscivano a spiegare dati di fatto apparentemente semplici:
 - Il colore delle fiamme e delle stelle, e più in generale l'emissività spettrale del corpo nero.
 - La tavola periodica degli elementi di Mendeleef
 - Le righe spettrali tipiche di ciascun elemento chimico, quali l'Idrogeno, il Ferro, il Calcio, il Sodio

Planck provò a spiegare tali dati osservativi con una ipotesi assolutamente arbitraria (lui stesso lo chiama un espediente nato dalla disperazione), cioè di energia non come fluido continuo ma composta di entità discrete, i quanti (ad es. i quanti di luce o come si disse più tardi 'fotoni'). Da tale ipotesi, ripresa poi da Niels Bohr nel primo modello di atomo di Idrogeno, nacque la Meccanica Quantistica.

- 3 1905: Albert Einstein scopre l'effetto fotoelettrico (la dimostrazione pratica dell'esistenza del fotone) e formulò la teoria della relatività ristretta (sempre 1905) e poi quella della relatività generale (1914).

La relatività ristretta: la durata di un avvenimento dipende da chi lo guarda, per un osservatore lo stesso evento può durare un tempo infinitesimo, per un altro un tempo pressoché infinito. Scompare il tempo assoluto di Galileo e Newton, non è possibile separare lo spazio dal tempo, ma si deve ragionare con un continuo quadri-dimensionale.

La relatività generale: la geometria dello spazio-tempo dipende dal contenuto di materia: la materia determina la geometria, lo spazio può avere una arbitraria curvatura.

La dipendenza della geometria dalla materia fu formulata mediante le cosiddette 'equazioni di campo di Einstein', ma nacque subito un dilemma matematico di difficile soluzione: applicando tali equazioni di campo a tutto l'Universo, la matematica non trova soluzioni stabili, l'Universo come un tutto o si espande o si contrae. Einstein introdusse allora nelle equazioni una arbitraria costante, chiamata 'costante cosmologica' e indicata con la lettera greca λ , che aveva la sola funzione di stabilizzare l'equilibrio dell'Universo, ma cui non si poteva associare alcun significato fisico. Ritorneremo più avanti su questa costante cosmologica. Ricordiamo a questo punto che il grande matematico russo Alexander Fridman aveva riscritto verso il 1928 le equazioni di Einstein per un universo non statico, ma in espansione o contrazione. Insomma i tempi erano maturi **per un cambiamento filosofico epocale**: l'Universo non deve necessariamente essere in equilibrio.

- 4 Il punto di svolta osservativo avvenne appena un anno dopo il lavoro teorico di Fridman, grazie al telescopio di Mt. Wilson e a Edwin Hubble.

Il telescopio di Mt Wilson (situato sui monti sopra a Pasadena, nei pressi di Los Angeles), con specchio di 2.5 m di diametro (cioè 100 pollici), era allora il più grande e perfezionato. Edwin Hubble poté così cominciare a fotografare gli spettri delle galassie più lontane.



Figura 20 – il telescopio di 100 pollici di t. Wilson

I gas delle atmosfere delle stelle (Idrogeno, Calcio, Sodio etc.) producono delle tipiche righe spettrali che consentono una facile e precisa misura della velocità della galassia, tramite l'effetto Doppler.

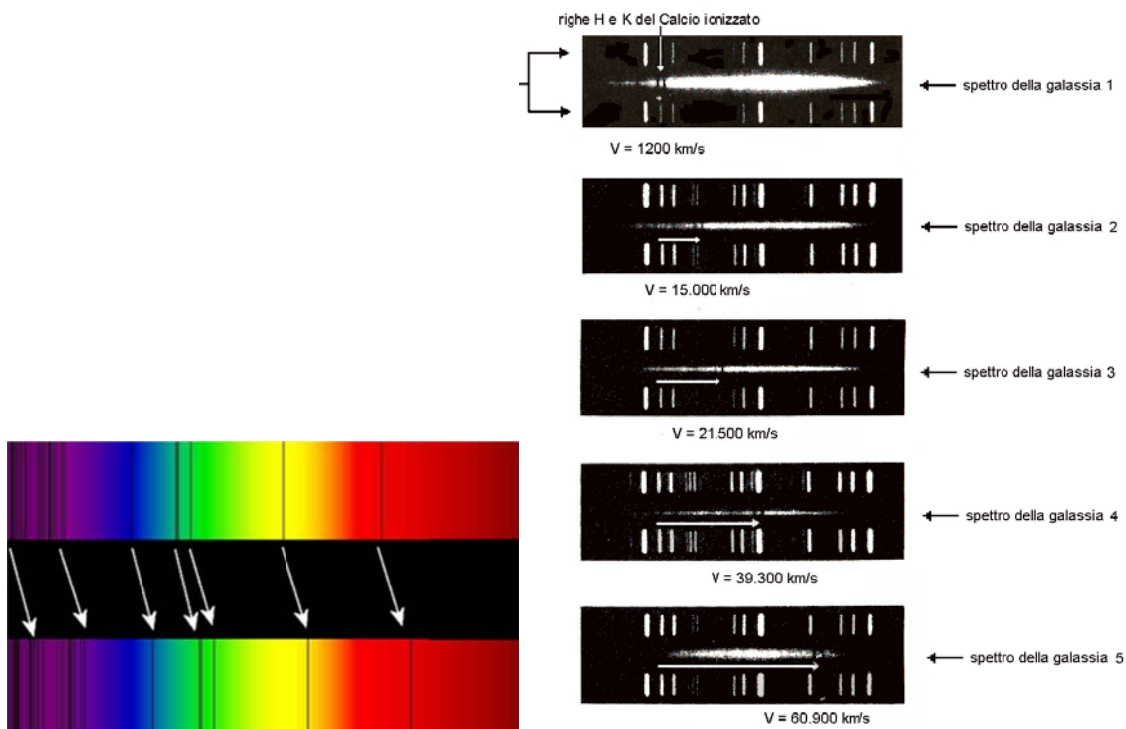


Figura 21 - Effetto Doppler: se la galassia si allontana le righe si spostano verso il rosso (*red-shift*), se si avvicina si spostano verso il blu, ma le galassie più lontane mostrano solo velocità in allontanamento.

Le equazioni di campo di Einstein per un Universo in espansione a partire da uno stato iniziale di altissima densità e temperatura furono sviluppate ulteriormente da tanti matematici. Ricordo solo George Lemaitre, sacerdote belga, che coniò il termine 'le grand bruit' che adesso tutti chiamano con la traduzione inglese fattane da Fred Hoyle, 'Big Bang'. Negli anni '50 del secolo scorso, la tentazione di trovare conferme nel Big Bang della storia della creazione narrata nella Bibbia (Genesi), e quindi anche una dimostrazione dell'esistenza di Dio, fu chiaramente fortissima.

Padre Lemaitre intervenne subito su Pio XII, per non confondere il 'fiat lux' con il Big Bang, per evitare di ripetere gli errori fatti secoli prima con Galileo: la scienza ha strade sue proprie, e 'verità' che possono essere superate da osservazioni e teorie successive (G. Coyne, 1994).

Un esempio di apparente contrasto: l'età dell'Universo. Le equazioni matematiche contengono un importantissimo parametro, detto costante di Hubble H, che essenzialmente misura l'età dell'Universo. La Figura 22 mostra come le stime dell'età della Terra siano cambiate negli ultimi 2000 anni.

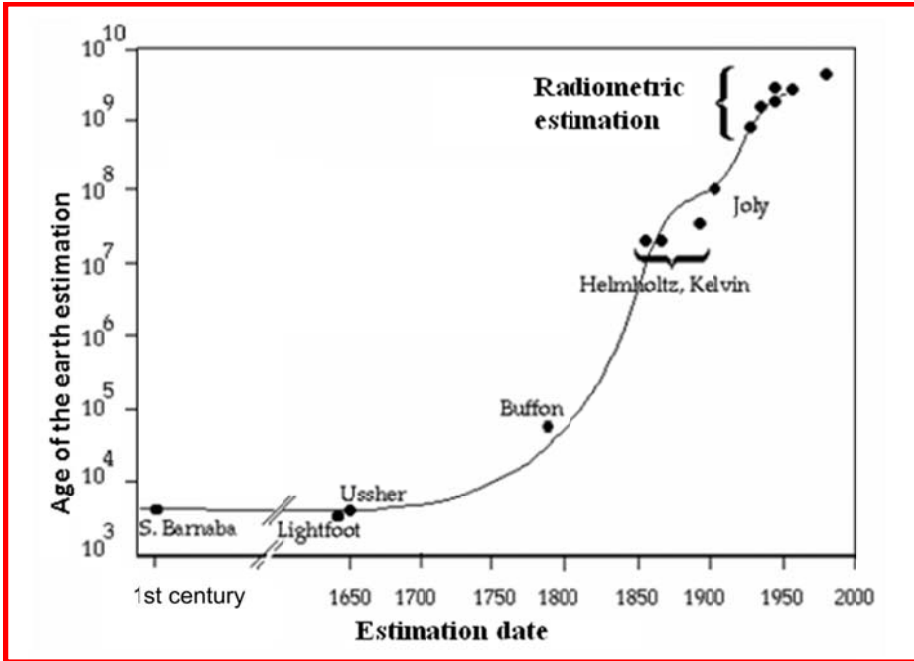


Figura 22 – L'aumento delle stime dell'età della Terra.

Chiaramente tale età non può essere inferiore a quella di tutto l'Universo, che secondo le misure più recenti è di circa 13,7 miliardi di anni.

Torniamo all'espansione dell'Universo come determinata da Hubble. In prima approssimazione, la velocità di espansione, misurata mediante il redshift, è proporzionale alla distanza. O meglio, per redshift grandi (il maggiore misurato oggi è attorno a 10) si può trovare una relazione tra redshift stesso e distanza in funzione della metrica dell'Universo. Quindi il redshift è il miglior (in pratica, l'unico) indicatore delle distanze cosmologiche.

Andando a ritroso nel tempo, l'Universo deve nascere da una fase iniziale di altissima densità e temperatura, cioè dal Big Bang, per poi evolvere verso quanto si osserva oggi. Le osservazioni mediante la 'luce' ci consentono di visualizzare l'origine e l'evoluzione nel tempo della struttura dell'Universo solo a partire da una fase che possiamo situare a circa 400.000 anni dall'inizio, quando cioè materia e radiazione si disaccoppiano e l'Universo diviene trasparente. Commenteremo tra breve le fasi precedenti a questa epoca critica (v. Figura 23).

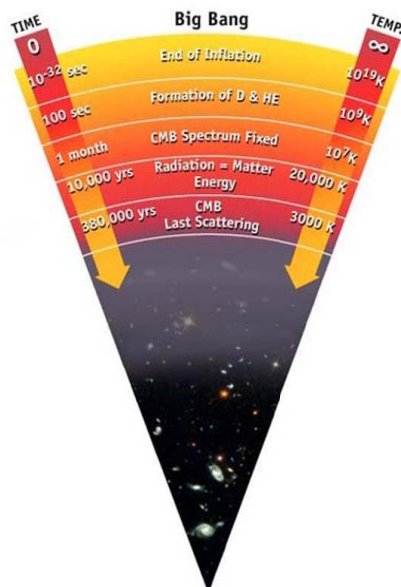


Figura 23 – L’evoluzione dell’Universo di Big Bang in poi. In effetti mediante la radiazione elettromagnetica possiamo osservare direttamente cosa succede solo fino a 380.000 anni dall’inizio.

L’espansione dell’Universo rimuove il paradosso di Olbers:

- Man mano che la distanza aumenta, l’espansione porta la luce sempre più verso il lontano infrarosso, invisibile ai nostri occhi.
- Se dunque l’universo si espande dal Big Bang in poi, ci dobbiamo aspettare uno sfondo infrarosso la cui temperatura iniziale era caldissima ma che poi progressivamente si raffredda a causa dell’espansione. Questo sfondo infrarosso (previsto da Gamow già intorno al 1940) fu scoperto del tutto fortuitamente nel 1965 da due ingegneri dei laboratori Bell (USA), dai nomi rispettivamente Arno Penzias e Robert Wilson, che poi ebbero il premio Nobel.
- Tale radiazione riempie tutto l’Universo, e ha bassissima temperatura, appena 2,73 gradi Kelvin sopra allo zero assoluto: nella familiare scala Centigrada, la temperatura di questo ‘corpo nero primordiale’ è dunque di -270 C
- Le piccolissime fluttuazioni di temperatura osservate nel corpo nero sono per così dire i semi delle grandi strutture osservate all’epoca presente. Le proprietà del corpo nero cosmologico sembravano offrire una prova decisiva della correttezza delle teorie cosmologiche sviluppate per tutto il XX secolo.

2.4 -Sviluppi recenti

Tuttavia, vari recenti elementi, sia osservativi che teorici, riaprono varie questioni e fanno emergere interrogativi profondissimi:

- dalla curva di rotazione delle galassie si ha evidenza di molta ‘materia oscura’, di cui non sappiamo la natura

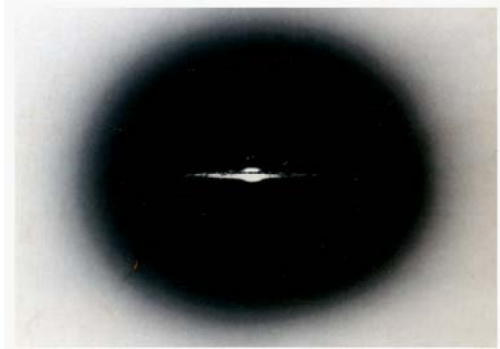


Figura 24 - In chiaro: materia visibile, in scuro l'enorme alone di 'materia oscura' che circonda la galassia visibile.

- Le Supernovae indicano che all'epoca presente l'espansione è accelerata da una enorme quantità di 'energia oscura', di cui pure non sappiamo ancora nulla, se non che si manifesta come *forza repulsiva*. Le supernovae distanti **sono infatti più distanti** di quanto ci si potesse aspettare: dunque lo spazio-tempo si è espanso più delle previsioni!

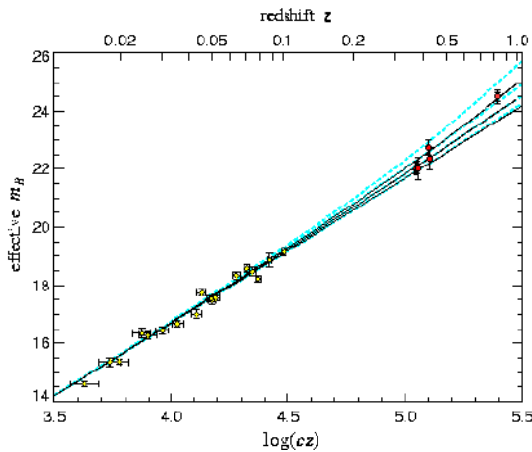


Figura 25 – Le galassie distanti sono più distanti di quanto ci si aspetta.

Si è detto che Einstein (prima della scoperta dell'espansione dell'Universo) aveva inserito una 'costante cosmologica' λ per mantenere l'Universo statico. La misteriosa energia oscura è analoga a λ , ma 10 volte più intensa, e va nel senso opposto a quanto dovrebbe fare la gravità, cioè accelera l'espansione.

Materia oscura e energia oscura sembrano essere *i due più gravi problemi* della fisica contemporanea, e spalancano paurosamente l'estensione della nostra ignoranza: quello che conosciamo per mezzo della luce e della materia 'ordinaria' non arriva al 5% del contenuto dell'Universo.

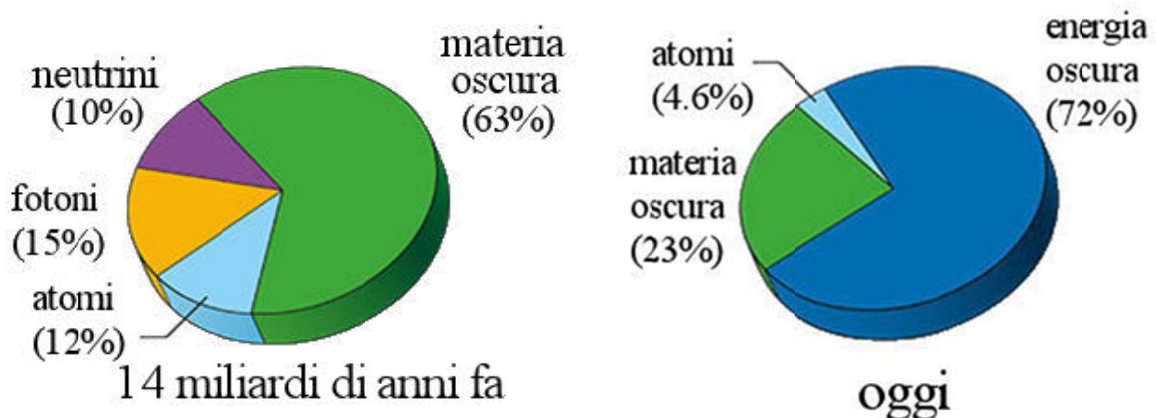


Figura 26 - Il contenuto dell'Universo, alle origini e oggi.

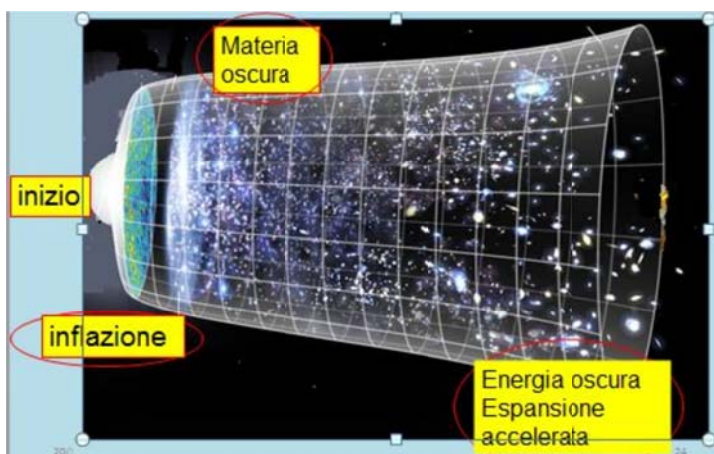


Figura 27 – La nuova cosmologia.

Come si è detto, le **osservazioni** non sono in grado di descrivere cosa avvenne nei **primi istanti di vita dell'Universo**. I grandi acceleratori di particelle, in particolare l'LHC (Large Hadron Collider) al Centro Europeo CERN a Ginevra, possono consentirci di superare questa barriera osservativa, spingendosi a **energie pari a quelle dei primissimi istanti di vita dell'Universo**. Già dal dicembre 2011, gli esperimenti ATLAS e CMS a LHC suggerivano la presenza di **'una nuova particella'** di altissima energia. Finalmente, il 3 luglio 2012 ne veniva ufficialmente annunciata l'esistenza, ipotizzando che potesse trattarsi del tanto cercato **'bosone di Higgs'**. Purtroppo, questa elusiva particella ha ricevuto il nome sbagliatissimo di 'particella di Dio'. Nome sbagliato, sia perché nessun fisico ha avuto questa pretesa di onniscienza sia perché offende il senso religioso di tanti. Perché il nome di 'bosone'? Le particelle elementari si dividono in due grandi famiglie, quella dei 'bosoni', la cui distribuzione obbedisce alla statistica di Bose-Einstein, e quella dei 'fermioni', che invece obbediscono alla statistica di Fermi. Sono fermioni gli elettroni, i protoni, i neutroni, i neutrini, i quarks. L'esempio più conosciuto di bosoni sono i fotoni, cioè i quanti di luce. Altri bosoni sono le particelle chiamate W e Z, che furono scoperti al CERN da Carlo Rubbia nel 1983, cui poi fu attribuito il premio Nobel nel 1984.

Se osserviamo la Figura 27, notiamo che è presente uno strano termine, 'inflazione', che è in effetti la cattiva traduzione dall'inglese 'inflation', che esprime piuttosto l'atto di gonfiare un pneumatico che una fase economica. Tale periodo inflattivo fu introdotto da A. Guth nel 1980 per rimuovere un drammatico paradosso: il fondo cosmico ha temperatura straordinariamente uniforme, il che significa che tutte le varie parti dell'Universo devono essere venute in contatto tra loro nei primi istanti di vita dell'Universo. Ma i calcoli dimostrano che non hanno avuto tempo sufficiente per farlo! E allora? Guth introdusse una specie di deus ex machina, cioè una fase inflattiva: tra 10^{-35} e 10^{-32} secondi dopo l'istante iniziale (notate i numeri straordinariamente piccoli) l'universo subì una brusca variazione di fase che portò a un suo istantaneo raffreddamento e diminuzione di dimensioni. In tale piccolissimo intervallo di tempo l'Universo ebbe modo di omogeneizzare la temperatura, per poi avere un enorme aumento di dimensioni (circa 10^{50} volte, da un diametro più piccolo di quello dell'atomo di H fino a circa 10 cm) e continuare 'tranquillamente' la sua espansione. La successione 'implosione + espansione' è abbastanza comune, avviene ad es. nel raffreddamento subitaneo di acqua sotto lo 0 centigrado o nell'esplosione di una bomba o nell'interno della stella alla fine delle fase di bruciamento termonucleare.

A proposito di numeri piccoli, quanto piccoli possono essere gli intervalli di spazio e di tempo? Possiamo continuare a dividere l'intervallo ad arbitrio? La risposta è no, almeno non nel presente quadro delle

conoscenze teoriche e sperimentali. I valori più piccoli vengono detti 'lunghezza di Planck' e 'tempo di Planck', e valgono rispettivamente 1.6×10^{-35} m e 5×10^{-44} s, enormemente piccoli anche rispetto a dimensioni e tempi dell'inflazione (v. anche esercizi).

Potrebbe quindi darsi che le leggi dell'infinitamente piccolo, cioè della Meccanica Quantistica, si riflettano anche su scala cosmologica, in particolare per capire meglio questa misteriosa 'origine'. A questo riguardo dobbiamo fare una sottile differenza di significato: il 'vuoto' per i fisici non è affatto il 'nulla' dei filosofi, è anzi sede di continue fluttuazioni di energia che occasionalmente possono dare origine a particelle elementari.

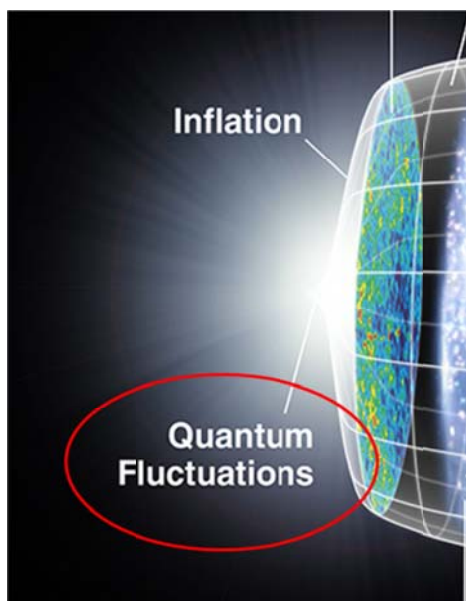


Figura 28 – Fluttuazioni quantistiche all'origine dell'Universo?

Il lettore interessato può trovare informazioni molto aggiornate sul sito web del satellite Planck dell'Agenzia Spaziale Europea http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Planck, con lievi correzioni ai numeri espressi in Figura 26.

2.5 - L'Universo sente la presenza dell'uomo?

L'interrogativo, davvero affascinante, è presente da molti decenni. I valori delle costanti fondamentali della natura (costante gravitazionale di Newton, carica elettrica dell'elettrone, massa del protone, costante di struttura fina etc.) sono così ben accordati tra loro che anche minime deviazioni avrebbero conseguenze drammatiche non solo sulla struttura dell'Universo ma anche su quella del nostro corpo, sulla stessa nostra esistenza e intelligenza, e quindi sulla possibilità per l'Universo di esser osservato. Vari pensatori, sia astronomi che filosofi, hanno allora prospettato un 'Principio Antropico', che è per così dire l'antitesi del principio 'copernicano' che nega all'uomo uno spazio o un tempo privilegiato. Alcuni pensatori hanno espresso il principio in forma debole (questa situazione nasce inevitabilmente dalla catena di effetti di selezione che hanno portato alla nostra vita) e altri in forma forte (la vita intelligente 'doveva' emergere). Naturalmente è fortissima la tentazione di saltare a un 'disegno intelligente' che modelli tutto l'esistente, e a cui converrebbe allora dare tout court il nome di 'creato'. Osservazioni molto raffinate hanno sinora escluso una variazione dei valori di tali costanti nei miliardi di anni trascorsi dal Big Bang. Personalmente, mentre lascio volentieri ai filosofi approfondire i vari significati di principio antropico, mi auguro di vedere migliorare le misure dei valori delle costanti fondamentali con i nuovi strumenti astronomici dell'immediato futuro.

2.6 – Universo o Multiversi?

In Meccanica Quantistica, ogni misura definisce uno stato ben determinato, ma che si materializza da una infinita molteplicità di stati possibili. Spingiamo queste considerazioni sulla molteplicità dei risultati possibili, sul ruolo dell'uomo, al loro limite estremo: siamo sicuri che il 'nostro' Universo sia il solo? forse ci è dato osservare solo uno degli infiniti universi che possono esistere: dal concetto di 'uni'verso si passa a quello di 'multi'verso.

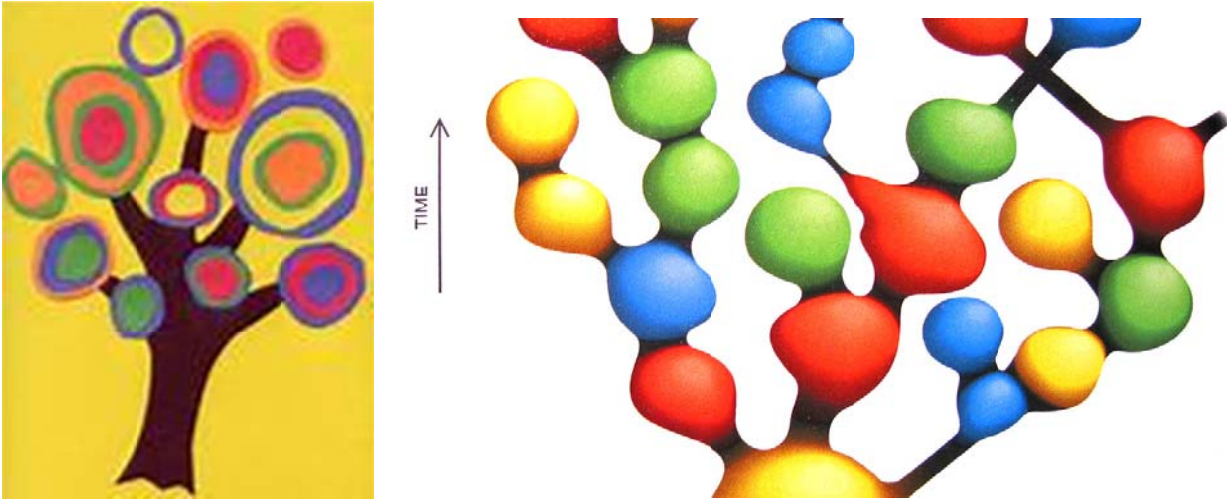


Figura 29 – A sx un quadro di Kandinski, a dx la rappresentazione grafica delle gemmazioni di successivi universi.

Dopo l'inflazione, l'universo si divide in diversi domini entro cui le proprietà delle particelle e della radiazione, e forse anche il numero di dimensioni, possono essere differenti. Quindi l'Universo diviene un 'multiverso' fatto di diversi universi con differenti leggi fondamentali. E' come se avessimo a che fare con gigantesco frattale che non cessa mai di crescere. Ogni bolla si gonfia e produce nuove bolle che a loro volta si espandono, ad infinitum. Quindi l'evoluzione non avrà mai fine, e potrebbe non avere mai avuto un inizio. Tra i proponenti di questa possibilità citiamo il fisico teorico russo Andrei Linde, che dopo essere stato al CERN a Ginevra, ora è alla Stanford University, e che fa il parallelo tra i quadri di Kandinski e l'ipotesi di multiverso. Esiste un potentissimo strumento matematico per descrivere questa nuova cosmologia, detto 'teorie delle stringhe', che spera di unificare la relatività generale e la meccanica quantistica in una teoria quantistica della gravitazione. La realtà non è più descrivibile nemmeno dalle quattro dimensioni spazio-temporali di Einstein, ma ci vogliono probabilmente 11 dimensioni, e noi con le nostre osservazioni le facciamo per così dire collassare a 4, ma la nostra è una delle infinite possibilità. Possiamo entrare in contatto con questi universi? Secondo alcuni teorici, una interazione possibile è attraverso la gravità, cioè tramite la materia oscura.

E la teologia... Può Dio creare più Universi? Addirittura, li può lasciare liberi di evolversi senza nemmeno conoscere in anticipo come lo faranno? Vengono in mente tanti nomi, dal vescovo Etienne di Parigi del 1277 a Giordano Bruno a Leibniz, dalle formidabili anche se pre-scientifiche intuizioni.

Siamo comunque ancora nel quadro di speculazioni, affascinanti sì, ma sempre speculazioni. Come progredire? Come sempre, saranno le osservazioni a indicarci come superare le incertezze presenti, costruendo strumenti sempre più potenti e capaci di muoversi lungo varie direzioni. Ne parleremo nel prossimo capitolo.

3 - Telescopi e loro strumentazione, Radioastronomia, astronomia dallo Spazio extraterrestre

Questo capitolo è meglio visto come power point, ma alcune considerazioni meritano di essere scritte.

3.1 - Richiamo al primo cannocchiale di Galileo e alla soluzione a specchi di Newton

v. power point

3.2 - Aumento del diametro dei telescopi a partire dal XIX secolo

Una prima motivazione per tale aumento è abbastanza facilmente comprensibile: dai corpi celesti anche più splendidi (a parte il Sole e la Luna piena) arriva una piccolissima quantità di energia luminosa per unità di tempo e per unità di area. Aumentare l'area di raccolta è quindi essenziale. Dato che l'apertura utile del telescopio è espressa dal suo diametro D , vediamo che la luce raccolta L dipende da D^2 . Ad es. per una lente o specchio circolare di raggio R si ha:

$$L = \pi \cdot R^2$$

Solo che quando R raggiunge circa 1 metro (e ciò avvenne alla fine del XIX secolo), la soluzione a lenti diviene impraticabile, e si adotta la soluzione a specchi.

Quando poi R raggiunge 8 metri (verso il 1990), anche la soluzione a specchio monolitico deve essere abbandonata in favore di una soluzione a specchio sintetizzato componendo specchi più piccoli.

Si devono al riguardo citare i lavori di Guido Horn D'Arturo a Bologna a partire dal 1930, il nefasto effetto delle leggi razziali del 1938 e la paura dei colleghi che ne presero il posto di professore universitario. Horn d'Arturo non fu il solo grande italiano a dover patire le stupide leggi razziali (qui il discorso sulla paura suscitata dalle differenze di razza e credo potrebbe riempire volumi), per quanto riguarda la fisica e l'astronomia vanno citati Bruno Rossi e Enrico Fermi

Una seconda motivazione è più difficile da capire, ed ha a che fare con l'ottica ondulatoria che limita severamente la capacità di un obiettivo di distinguere due punti vicini. Tale capacità, che possiamo chiamare 'potere risolvete', migliora solo con la prima potenza del diametro. L'angolo più piccolo vale dunque:

$$\theta = \theta_0 / D$$

La terza motivazione è ancor più difficile, data la sua origine quantistica. Certi fenomeni di ottica quantistica si possono mettere in evidenza solo aumentando ancora il diametro, dato che dipendono da D^4 . L'Europa sta ora costruendo un telescopio di apertura 39 metri, 4 volte maggiore dei telescopi esistenti.

3.3 – I radiotelescopi

La radioastronomia nasce alla fine della II guerra mondiale, così come la scienza spaziale, entrambi frutti benefici di un periodo disastroso per tutta l'umanità.

Ricerca di segnali intelligenti nella banda radio.

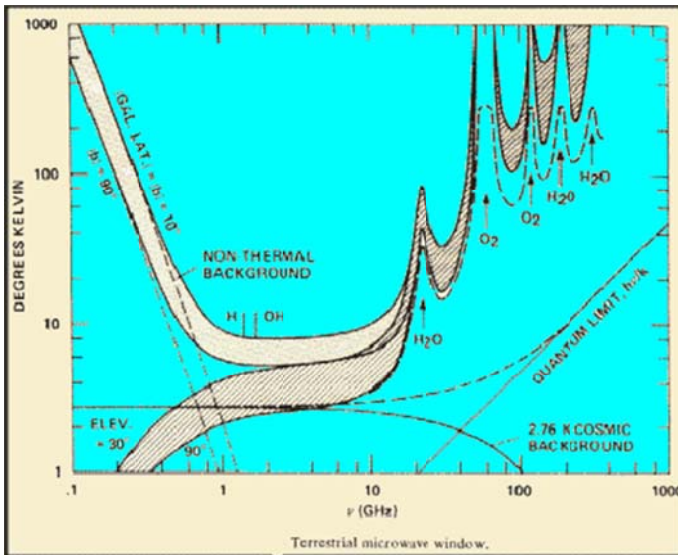


Figura 30 – La banda tra 1 e 10 GHz è la più adatta alla ricerca di segnali deboli, anche se in questa vecchia figura manca il rumore dei nostri cellulari.



Figura 31 – L'ambizioso progetto Square Kilometer Array

3.4 - astronomia dallo spazio extraterrestre

Motivazioni:

assenza di atmosfera terrestre e piena risoluzione angolare del telescopio

capacità di osservare tutto lo spettro elettromagnetico (rimane una zona inesplorata, quelle delle onde più lunghe, bisognerebbe costruire grandi antenne sulla Luna, possibilmente sulla faccia nascosta).

Più in generale l'accesso allo spazio ci consente due nuove modalità di osservare il cosmo:

1. miglior capacità di affiancare il canale materiale a quello elettromagnetico
2. passare dalla semplice 'osservazione' a una vera e propria 'esplorazione'.

Per quanto riguarda il punto 1, materiale extra terrestre arriva continuamente a terra sotto forma di meteoriti, ma la possibilità di atterrare sui corpi celesti più vicini ha aumentato le capacità di analizzare la

materia della Luna, di Marte, di qualche asteroide. Ricordiamo le missioni Apollo degli Anni '70 del secolo scorso, che riportarono a terra 380 kg di rocce lunari, le varie missioni NASA su Marte, il tentativo giapponese con Hyabusa di riportare a terra materiale dall'asteroide Itokawa (la missione Hyabusa, http://www.jaxa.jp/projects/sat/muses_c/index_e.html , è uno straordinario mix di ambizioni, frustrazioni, speranze che ci insegnano se non l'altro la tenacia degli scienziati giapponesi).

Il futuro è molto promettente, la Cina si propone di portare a terra materiale lunare già nel 2015, l'Europa sta programmando una vera e propria campagna di trivellazione in profondità di Marte per la fine di questo decennio.

Per quanto riguarda il punto 2, chiaramente è possibile affidare l'esplorazione a mezzi robotici semoventi, ma dopo 40 anni è proprio tempo di rimandare l'uomo sulla Luna, e poi su Marte. Lo scenario internazionale nel frattempo è profondamente mutato, da un lato sono entrati attori nuovi a fianco dei consolidati americani, europei, russi, giapponesi, la Cina, l'India, il Brasile, perfino l'Iran; dall'altro, alle organizzazioni governative stanno affiancandosi imprese private, che vogliono accedere allo spazio per scopi dichiaratamente commerciali. Questo scenario mi ricorda le grandi imprese commerciali del XVI, XVII e XVIII secolo, che di solito prendevano a bordo anche qualche astronomo o scienziato. Grandi speranze da un lato, ma forti preoccupazioni dall'altro: a mia conoscenza non esiste un trattato vero e proprio che regoli l'utilizzo del suolo lunare o marziano o la proprietà di un asteroide da parte delle Nazioni, e men che meno da parte dei privati (v. esercizio).

3.5 - la missione Rosetta e gli asteroidi pericolosi

Vengo ora alla missione Rosetta, che al momento in cui scrivo queste note mi riempie di paure e di speranze. Paure che spero dissipate, almeno in buona parte, ai primi di febbraio.

Rosetta mi dà modo di entrare decisamente nel campo delle 'paure' suscitate dagli asteroidi. Rimando invece le paure suscitate dalle comete al capitolo successivo.

Relativamente alle 'paure', userò il termine 'asteroide' in modo abbastanza generico, in modo da comprendervi anche le meteoriti, ma per quanto riguarda Rosetta 'asteroidi' significa i due corpi della fascia principale tra Marte e Giove da essa sorvolati, Steins nel 2008 e Lutetia nel 2010.



Figura 32 - Steins, il primo asteroide sorvolato da una sonda europea. Il corpo assomiglia a un 'diamante', con un grande cratere polare e altri più piccoli. Le dimensioni sono circa 6 km.



Figura 33 – Lutetia, un grande asteroide (120 km di diametro) sulla cui superficie si sono notati straordinari dettagli.

Indubbiamente la Terra ha subito in passato un intenso bombardamento da corpi celesti di grandi dimensioni.



Figura 34 - un asteroide diretto verso la Terra.

Tra questi impatti remoti ricordo l'evento nello Yucatan circa 65 milioni di anni fa, cui alcune teorie associano l'estinzione dei grandi dinosauri. E' interessante ricordare al riguardo l'importanza scientifica dello strato di Iridio nelle campagne attorno a Gubbio (v. esercizi). Un altro impatto oggetto di grandi flussi turistici è il Meteor Crater in Arizona (30.000 anni fa).

Ma ancor oggi il pericolo di impatto non è trascurabile. Tra la miriade di corpi minori che popolano il sistema solare interno, un numero non piccolo ha orbite che incrociano pericolosamente, e ogni pochi anni, quella della Terra (oggi se ne conosce un migliaio, ma il censimento è tutt'altro che completo, in pratica non conosciamo quelli più piccoli di circa 100 metri).

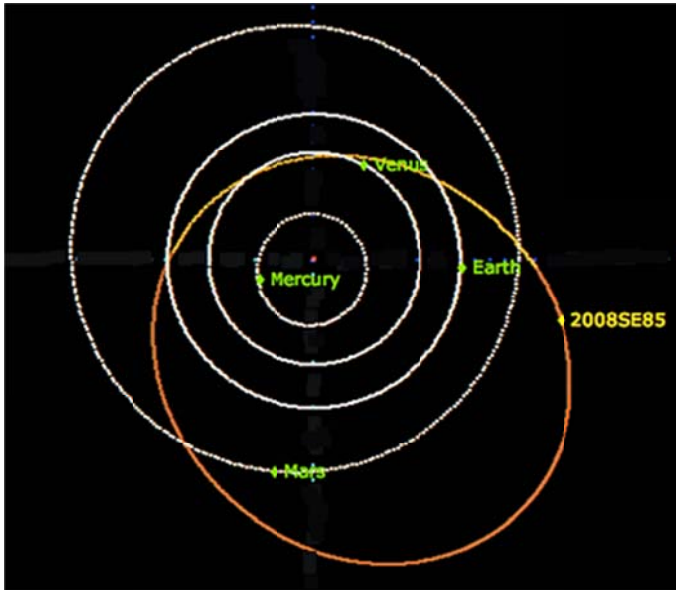


Figura 35 – Esempio di orbite di corpi celesti che incrociano l’orbita della Terra.

Tra gli impatti più recenti ricordiamo quelli di Tunguska (1908) e Chelyabinsk (2013). Quello di Tunguska è stato oggetto di numerose spedizioni anche italiane, in particolare dell’Università di Bologna.

Quello di Chelyabinsk ha avuto una copertura osservativa straordinaria grazie all’angolo di entrata in atmosfera e al numero di webcam installate sulle auto russe. Ma fu visto anche dal Meteosat. La meteora aveva un diametro di circa 18 metri, per un peso di 11.000 tonnellate. Entrò in atmosfera a 18.6 km/s ed esplose a una quota di 23.3 km. L’energia rilasciata fu di circa 30 volta quella della bomba che distrusse Hiroshima.

Per confronto, il meteorite che cadde nello Yucatan più o meno 65 milioni di anni fa, aveva circa un diametro di circa 10 km, e un’energia di un milione di bombe atomiche.

Va detto subito che eventi catastrofici sono rari, mettiamo uno al secolo. Tuttavia è bene essere preparati, e mettere subito in opera, con una collaborazione necessariamente internazionale, alcune azioni precise:

- Scoprirli: la scoperta è il punto più difficile per oggetti con dimensioni inferiori a 100m, ed è qui che gli astronomi e gli astrofili hanno un compito fondamentale.
- Caratterizzare la loro struttura e composizione mineralogica: questo è un altro compito di grandi telescopi terrestri e spaziali.
- Verificare le possibilità di distruggerli o di rimuoverli dalle loro orbite: qui bisogna coinvolgere i militari.
- Preparare dei piani di ‘mitigazione’ degli effetti, coinvolgendo le scuole, la protezione civile, etc., come si fa per i terremoti.

Un testo utile per gli interessati è quello di D. K. Yeomans, 2013 (v. referenze).

E’ bene comunque precisare che il calcolo dell’evenienza di tale impatto è difficile, e ancor più difficile è la previsione di ‘dove’ il corpo impatterà. Teniamo conto infatti che l’imprecisione di appena 1 secondo significa un errore di decine di chilometri sulla superficie. Mi permetto qui di aprire una parentesi su come la sentenza dell’Aquila è stata vista su media internazionali (un esempio in Figura 36).

Galileo and the Aquila quake

The defendants were sentenced because the public places a value on scientific assurances.



Juliette Kayyem

The conviction of seven Italian geological and disaster experts for their negligence.

Society has come to believe that science can help citizens make judgments about where to live, how to act, and whether to evacuate. Unlike in the time of Galileo, society has come to accept the value of evidence and deduction. The court's ruling is a reminder to the scientific community that along with their God-given skills comes a certain amount of civic responsibility.

Science was not on trial; scientists were. The facts of the case are much more complicated than its critics care to explain. The judges did not argue

dispute about its accuracy. These technical experts, and public safety will have to respond, at least in part, to the mystery around the quake.

Does this type of naturally drop hints before the earthquake? The Italian scientists the spring of 2009 at the government officials. For they had been hit by small tremors. Leaders asked the court to provide a risk assessment. The evidence suggests that an

Is failure to predict a crime?

If the court ruling in Italy against scientists for failure to predict an earthquake is not overturned, it will be very harmful for public safety.

Florin Diacu

FLORIN DIACU is a professor of mathematics at the University of Victoria and the author of "Megadisasters: The Science of Predicting the Next Catastrophe."

International Herald Tribune, 29 Oct'12

Figura 36 – Come la sentenza dell'Aquila fu vista dall'International Herald Tribune.

So che in alcune Università statunitensi furono assegnati temi per discutere di scienza contro giustizia (nel caso specifico giustizia dello Stato italiano, non della Chiesa). Naturalmente non voglio discutere il giudizio, che certamente non fu motivato dalla incapacità di predire il terremoto, ma devo rilevare che anche oggi lo studio della Terra, del sistema solare, dei pianeti delle stelle vicine possono far emergere difficili problematiche filosofiche e etiche, perfino giuridiche, e addirittura riaprire il conflitto tra scienza e fede, come nei secoli passati.

4 - Astrologia, mitologia, altre civiltà intelligenti? Paure e fiducia

Questo capitolo illustrerà alcune nozioni legate al binomio speranza – paura che si riscontrano in tante, troppe persone. Dopo essere sopravvissuto alla maledizione dei Maya del 2012 (v. esercizi), non mi faccio tante illusioni che questo ciclo di sciocchezze non riappaia tra qualche anno, magari come profezie di un oscuro popolo asiatico.

Premetto alcune considerazioni su costellazioni e zodiaco. Gli antichi avevano riconosciuto nella disposizione delle stelle visibili a occhio nudo varie figure collegate con la mitologia di quella particolare civilizzazione. Figure di animali o di eroi o di divinità, raggruppate in ‘costellazioni’ o anche ‘asterismi’ che avevano notevole importanza pratica, ad es. per individuare l’inizio delle stagioni o per navigare. Chiaramente ciascun popolo aveva le proprie costellazioni. Su questo sfondo di ‘stelle fisse’, che costituisce una ideale ‘carta geografica celeste’ si muovono poi gli astri erranti, Sole, Luna, pianeti maggiori, e talvolta si osservano fenomeni sporadici, imprevedibili e meravigliosi come le comete o impressionanti come la pioggia di ‘stelle cadenti’ in certi periodi dell’anno.

Oggi, l’Unione Astronomica Internazionale ha sistematizzato queste costellazioni in un numero abbastanza limitato, appena 88, cui sono stati dati nomi latini e confini precisi. Rimaniamo però in quelle ‘classiche’ nella nostra civiltà greco-latina-araba, per fissare le idee le 48 già elencate da Tolomeo. Un piccolo numero di queste si situano nella fascia di cielo compresa tra i due tropici attraversata dal Sole nel corso dell’anno. Queste costellazioni hanno per lo più il nome di animali, e perciò sono dette costellazioni dello Zodiaco. Eccone l’elenco:

Capricornus, Aquarius, Pisces, Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo, Libra, Scorpio, Ophiuchus, Sagittarius

Sono dunque 13, non 12 come credono gli astrologi. Il Sole nel corso del suo apparente percorso annuo si proietta successivamente in tali costellazioni, e così fanno i pianeti maggiori dato che le loro orbite hanno giaciture non distanti da quella della Terra. Vi sono 4 date fondamentali per il percorso apparente del Sole, quando attraversa l’equatore celeste (i due equinozi, di primavera e autunno) e quando arriva alla massima e minima declinazione, cioè i due solstizi. Prendiamo l’equinozio di primavera, in quale costellazione si situa? NON in Ariete, come vogliono i nostri oroscopi, ma nei Pesci! E con il passare dei secoli tale attraversamento slitterà verso l’Aquario. Il motivo è semplice, è noto da oltre 2000 anni grazie a Ipparco, ed è la precessione degli equinozi (v. Figura 37).

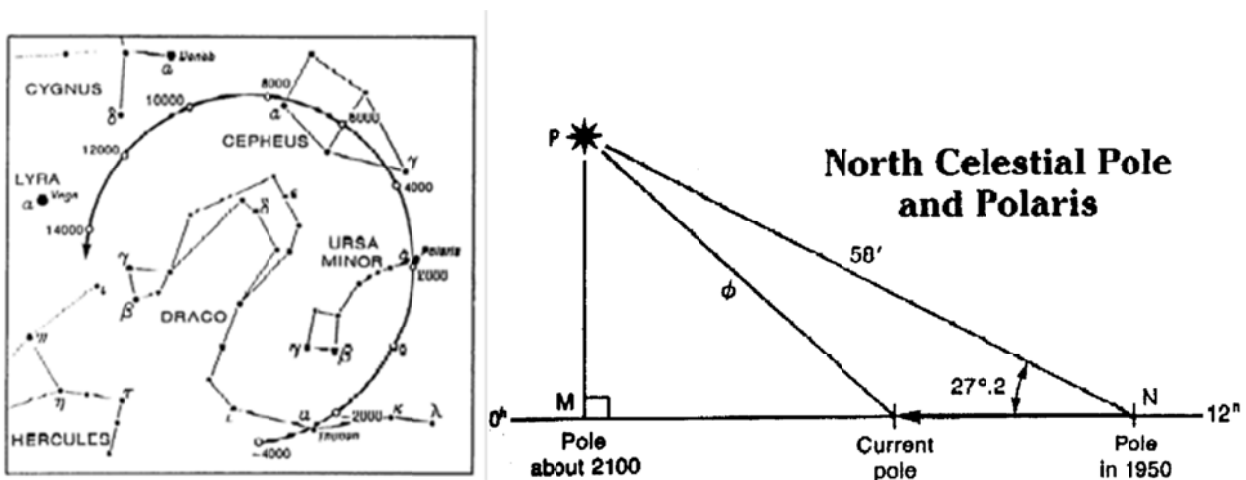


Figura 37 . La precessione degli equinozi a causa degli effetti di Luna e Sole sul rigonfiamento equatoriale della figura terrestre.

4.1 - Astronomia, umanesimo, astrologia

L'astronomia ha sempre attirato l'interesse degli umanisti, sia che si parli di filosofia, o di letteratura, di pittura, di musica, perfino di medicina. Possiamo quindi dire che tra tutte le discipline scientifiche l'astronomia è quella più prossima alla cultura umanistica, e questa posizione privilegiata dell'astronomia nell'umanesimo è testimonianza inequivocabile del fascino della nostra scienza. Devo però riaffermare una notevole preoccupazione per il futuro: l'inarrestabile aumento dell'inquinamento luminoso impedisce di vedere il cielo a una gran parte delle giovani generazioni. Si sommi a tale difficoltà visiva il fatto che i nostri bambini e ragazzi passano tante ore serali davanti a uno schermo televisivo. Spero che tra alcuni decenni qualche sociologo voglia esaminare se l'interesse per l'astronomia sia o meno scemato a causa di questi avversi fattori.

Parlando di umanesimo, nel senso di interessi umani, la domanda che mi viene rivolta in quasi tutte le conferenze che tengo in vari ambienti: 'professore, lei crede all'astrologia?' merita perlomeno una risposta meditata. Gli astronomi odierni hanno un grande debito di riconoscenza verso gli astrologi dei millenni passati, sia che fossero babilonesi o caldei, cinesi o coreani, arabi o Maya. Le comuni esigenze delle civiltà passate di tenere un calendario, di annotare eventi celesti che potessero influenzare l'esito delle imprese dei loro signori, di influire sulla vita degli individui con le semine e i raccolti, e così via, hanno consentito acquisizioni scientifiche di estrema importanza. Cito alcuni esempi della utilità delle misure antiche:

- Ipparco scoprì lo slittamento delle costellazioni rispetto all'equinozio, cioè la precessione degli equinozi (che è il lento movimento dell'asse terrestre rispetto alle stelle) usando le posizioni di Timocari antecedenti le sue di quasi 150 anni.
- Il confronto con le posizioni determinate duemila anni prima consentì a Halley di scoprire il moto proprio delle stelle 'fisse'.
- Le date delle eclissi di qualche millennio orsono hanno consentito di misurare le variazioni del periodo di rotazione della Terra.
- La registrazione della stella nuova nel Toro da parte degli astrologi cinesi nel 1054 ha permesso di datare l'evento 'pulsar' nella nebulosa del Granchio.
- La cometa raffigurata nell'arazzo di Bayeux e poi nella tavola di Apiano permise a Halley di scoprirne la periodicità.

Né sono passati molti secoli da quando nello studio di ogni medico figurava un calendario con i principali eventi astronomici. Si possono leggere al riguardo le pagine dedicate da Alessandro Manzoni alla peste nei Promessi Sposi.

Però tutto questo importantissimo, insostituibile retaggio storico non mi impedisce di scagliarmi veementemente contro questi supposti 'astrologi' moderni. Non riconosco loro nemmeno il diritto di fregiarsi del titolo di astrologi, quelli del passato guardavano davvero il cielo, quelli di oggi sono per lo più dei ciarlatani che credo non abbiamo mai sentito parlare di Gregorio XIII e della sua riforma del calendario, e siano mai usciti dal caldo degli studi televisivi da cui dispensano sciocchezze inaudite per osservare davvero il firmamento. Ho sentito alcuni di loro usare persino Plutone nei loro oroscopi, dato che il nome evoca tutta una ridda di superstizioni, Plutone che non solo nessun astrologo o astronomo ha mai visto prima del 1938, ma che dalla sua scoperta non ha nemmeno compiuto mezzo giro lungo la sua orbita, per cui nessuno può dire se e come influenzi qualsivoglia accadimento. E oggi non è più nemmeno un pianeta.

Non posso nemmeno dimenticare quel furbo statunitense che alcuni anni orsono vedeva e vendeva a caro prezzo la faccia di Gesù Cristo su Marte. Ci dobbiamo chiedere se davvero Galileo continui a non insegnare.

Il gioco di luci e ombre sulla superficie lunare illuminata dal sole a differenti angoli con il passare del tempo, produceva un chiaroscuro sotto cui Galileo scopriva l'esistenza di monti e valli e crateri, altro che figure mistiche!

La conseguenza vera di questo discorso sull'astrologia intesa come astronomia del passato, è quanto dico sempre ai miei studenti: ogni misura di un evento celeste va fatta con la miglior tecnologia a nostra disposizione, e discussa con tutto il rigore possibile. La storia ci dimostra che tra qualche secolo o millennio i nostri dati potranno assumere un significato che noi nemmeno immaginiamo, ma che continueranno a essere validi solo se non ci accontentiamo della mediocrità. Sforziamoci di misurare angoli sempre più piccoli, intervalli di tempo sempre più precisi, luminosità sempre più accurate, con strumenti sempre diversi e migliori, o avremo fallito lo scopo ultimo della nostra scienza.

4.2 - Comete e superstizioni, paure e speranze – la cometa di Halley

Diamo ora qualche cenno sulle caratteristiche delle comete, cioè di quegli astri chiamati di cui già 2000 anni fa Seneca si chiedeva (*Quaestiones Naturales* vol. VII) la natura, il motivo del cammino così diverso da quello delle stelle e dei pianeti, le dimensioni; domande cui ancor oggi possiamo dare solo risposte parziali. Per ogni epoca, inclusa la presente, le comete hanno rappresentato un evento straordinario, considerato a volte portatore di buoni o più comunemente di cattivi presagi. Nella storia mesopotamica, europea, cinese, coreana, le comete sono state associate sia a grandi battaglie e a catastrofi che a eventi gioiosi; questo millenario legame tra comete e presagi ha avuto se non altro il merito di fornirci date di apparizione, descrizioni morfologiche, frequenze di occorrenza, importanti per l'odierno studio scientifico. Anche ai nostri giorni il passaggio di una grande cometa suscita l'interesse di una larghissima parte dell'opinione pubblica. Alcuni studenti ricorderanno ancora le due grandi comete, la Hyakutake e la Hale Bopp, apparse tra il 1995 e il 1997, osservate da miliardi di persone, alcune decine di milioni delle quali coordinate in modo razionale da vari Osservatori Astronomici e associazioni di astrofili, con un uso intensivo di telescopi amatoriali, reti informatiche e altri mezzi di informazione in tempo reale. Pensiamo a quali impressione avrà suscitato nei secoli e millenni passati una cometa quale la recente Mc Naught.



Figura 38 – La cometa Mc Naught, una tra le più spettacolari. Nell'immagine di sx, ripresa dall'Osservatorio ESO a Cerro Paranal, sono ben visibili le due galassie vicine chiamate 'nubi di Magellano'. La coda era tanto estesa da apparire sopra all'orizzonte anche in California. Nell'immagine di dx si vede ancor meglio l'effetto del vento solare sui gas della coda.

Apparsa nel 2007, la Mc Naught ha mostrato una tra le code più estese e spettacolari tra quelle recenti, visibile contemporaneamente a osservatori in Cile e in California.

Diamo alcuni cenni storici per dimostrare come il tentativo di comprendere la natura delle comete abbia sempre dato un potente impulso alla ricerca astronomica, fisica e anche filosofica. Citeremo varie volte la cometa di Halley, il cui periodo di riapparizione di circa 76 anni, pari alla durata della vita di un uomo, ha scandito per così dire le mutate condizioni sociali e tecnologiche a ogni suo ritorno nei pressi della Terra; ritorni tutti registrati negli ultimi 23 secoli, a partire dal 240 avanti Cristo.

Secondo alcuni autori le registrazioni più antiche di comete sono nelle Storie cinesi del 2300 avanti Cristo (a.C.), e di sicuro le comete figurano in documenti del periodo Shang databili attorno al 1100 a.C. (dobbiamo al gesuita padre Gaubil, morto a Pechino nel 1759, il *Catalogue des Cometes vues en Chin*). Più o meno del 1100 a.C. sono vari documenti caldei. Assieme alle osservazioni dovettero iniziare ben presto le speculazioni sulla loro natura, in particolare presso i filosofi greci. A chi ipotizzava fossero corpi celesti (come i Pitagorici, o Ippocrate) o congiunzioni di più stelle o pianeti (Anassagora, Democrito) si contrapponevano quelli che pensavano piuttosto a fenomeni atmosferici. Tra questi il più illustre fu certamente Aristotele, discepolo di Platone, che ebbe la ventura di osservare la grande cometa del 371 a.C. e che nella sua *Meteorologia* (circa 350 a.C.) poneva le comete sotto alla Luna, assieme alla Via Lattea che pensava fatta della stessa sostanza ignea. Le associava anche a forti venti e a periodi di siccità. In effetti le comete, con la loro improvvisa apparizione, moti irregolari, enormi variazioni di splendore e aspetto, mal si inquadravano nella sua complessiva visione di corpi celesti fissi e immutabili. Tolomeo nell'*Almagesto* ignorò del tutto le comete, che qualche secolo dopo (circa nel 700) furono invece prese in considerazione in scritti del celebre monaco irlandese Beda il Venerabile, che tanto contribuì a dar loro un significato diabolico e malefico. L'apparire delle comete venne registrato anche in varie opere letterarie e d'arte. Ad es. il passaggio del 684 della Halley fu raffigurata nel *Liber Chronicorum* pubblicato a Norimberga nel 1493; il passaggio del 1066 nell'arazzo di Bayeux, quello del 1145 nel *Salterium* di Eadwine, e infine la cometa fu rappresentata, con ogni verosimiglianza, da Giotto nella Cappella degli Scrovegni intorno al 1304.



Figura 39 – La cometa di Halley nell'arazzo di Bayeux (passaggio del 1066). L'arazzo descrive i fatti relativi alla conquista normanna dell'Inghilterra nella battaglia di Hastings . La cometa fu beneaugurante per Guglielmo il conquistatore normanno, ma di pessimo auspicio per l'anglo-sassone Harold. Si noti la rappresentazione della cometa come macchina complicata.



Figura 40 – Cometa nella raffigurazione di Giotto nella cappella degli Scrovegni di Padova (passaggio della Halley nel 1301, dipinto del 1304). Ma il passaggio più prossimo alla data convenzionale della nascita di Cristo avvenne in effetti nel 12 a.C.. Sulla natura della 'stella' citata dall'evangelista Matteo c'è una vastissima letteratura, ma nessuna certezza almeno a mio parere.

Arriviamo al 1400, secolo in cui, grazie anche alla riapparizione della Halley nel 1456, Paolo Toscanelli, Puerbach e Regiomontano manifestarono un genuino interesse scientifico, con descrizioni e misure abbastanza accurate. In un suo testo del 1538, G. Fracastoro osservò come le code di tutte le comete osservate siano dirette dalla parte opposta al Sole; quasi contemporaneamente la stessa constatazione era fatta da Pietro Apiano, che disegnò in modo preciso l'aspetto della cometa di Halley nel 1531 e le relazioni con la posizione del Sole rispetto alla coda. Ma ecco finalmente la grande cometa del 1577, apparsa pochissimi anni dopo la Supernova del 1572, due eventi che furono fondamentali per riaprire il dibattito sulla natura e posizione degli astri. All'epoca era in attività, sull'isolotto di Hven, Tycho Brahe, cui una straordinaria abilità osservativa e la perfezione delle sue mire meccaniche permetteva di misurare posizioni con precisioni migliori di 1 primo d'arco. Le sue misure, associate con le misure di posizione ottenute da altri astronomi a Praga, circa 600 km di distanza da Hven, permisero di stabilire con assoluta certezza che la cometa era molto più distante della Luna, e che probabilmente era in moto su una curva non circolare. La cometa di Halley riapparve nel 1607, e fu osservata con gran diligenza da Keplero, il quale poi ebbe modo di osservare 3 comete tutte apparse nel 1618. Queste tre comete diedero luogo a una polemica con Galileo, il quale nel Saggiatore si sforzò di provare in vari modi che non v'era alcuna prova sicura della natura extra-terrestre (su questo argomento, così come su quello delle maree, Galileo era pertanto in errore). Ma la disputa fu ben presto superata grazie a Newton e Halley, cui si deve la virata verso le interpretazioni corrette di orbite, dimensioni, natura. Isaac Newton nei Principia, pubblicati la prima volta nel 1687, dimostrò con un originale metodo matematico che la cometa osservata nel 1680 aveva percorso un'orbita ellittica che l'aveva portata a piccolissima distanza dal Sole; con tale metodo Halley fu in grado di determinare le orbite di 23 comete. Decisiva fu poi l'apparizione della cometa del 1682, che Halley provò, mediante il metodo di Newton, avere gli stessi elementi orbitali delle comete del 1607 e del 1531, predicendone il ritorno nel 1758. L'avverarsi di tale predizione (la cometa fu osservata da Joahan Palitsch nel dicembre di quell'anno) confermò la validità generale delle leggi di Keplero e del quadro dinamico datone da Newton con la gravitazione universale. Ben a ragione la cometa fu chiamata da allora con il

nome di Halley! Nei successivi 150 anni il grande sviluppo della Meccanica Celeste, in cui al classico problema dei due corpi si aggiunse lo studio delle perturbazioni orbitali causate dai grandi pianeti, trovò nelle comete preziosi aiuti osservativi alle teorie. Bessel nel passaggio della Halley del 1835 introdusse il concetto di forza non-gravitazionale, come se le comete avessero un 'razzo' in grado di perturbare l'orbita gravitazionale. Fondamentale fu anche il contributo di Giovanni Schiaparelli, che intorno al 1860 provò in modo conclusivo la stretta relazione tra comete e meteoriti. Uno sciame di meteoriti è infatti spesso associato al passaggio della Terra attraverso il piano orbitale di una cometa periodica, come quella di Biela (sciame delle Andromedi, che fu spettacolare nel 1872). Un altro sciame, osservato da oltre 2000 anni, è quello delle Perseidi, originato dalla cometa Swift-Tuttle. Originariamente visibile attorno ai primi di agosto, il picco di scie luminose si era spostato al 10 agosto (notte di San Lorenzo) e oggi è piuttosto verso il 13. Verso la fine del XIX secolo, le relazioni tra le comete e la vita terrestre acquisirono un nuovo significato, molto più scientifico, che va sotto il nome di 'panspermia'.

Ma ritorniamo alle superstizioni dell'epoca recente, motivate paradossalmente dal progresso della chimica e della nascente spettroscopia astronomica. Nel 1864 Giovanni Donati scoprì nello spettro della cometa Tempel II tre bande di emissione, identificate da William Huggins con emissioni della molecola di Carbonio C₂. Furono poi identificate le bande del CN (il famigerato cianuro) e il doppietto D del Sodio. Questi lavori aprirono un nuovo indirizzo nello studio di questi corpi celesti, quello cioè della identificazione dei composti chimici e della determinazione delle condizioni chimico-fisiche, che danno luogo alle bande e righe osservate nello spettro e il calcolo di densità, pressione, temperatura con l'applicazione delle leggi della Termodinamica (leggi di Boltzmann e Kirchoff) e della Meccanica Quantistica. Ma proprio l'identificazione del cianuro causò incredibili episodi di isterismo collettivo in tutto il mondo 'civilizzato' durante il passaggio della Halley del 1908, quando la Terra attraversò proprio la coda della cometa. Nonostante gli astronomi si prodigassero per tranquillizzare la popolazione, i giornali dell'epoca amplificarono a dismisura gli inesistenti pericoli di soffocamento da cianuro. Gli adepti di alcune sette si suicidarono, altri si ritirarono in rifugi, alcuni furbissimi vendettero pillole anti-cometa o bottiglie di aria purissima. Ma c'erano anche donne speranzose di trovare un buon partito.



Figura 41 – Paure e speranze nel passaggio della Halley del 1910 (da Tamman e Véron, 1985).

Dopo le paure del 1908, il passaggio del 1986 portò invece una ventata di speranze, grazie alla scienza spaziale. Le agenzie sovietica, giapponese, americana e europea prepararono infatti una flottiglia di satelliti

da inviare verso la cometa (vedi Figura 42). La sonda europea Giotto si avvicinò a meno di 700 km dal nucleo, ottenendo immagini di straordinario contenuto scientifico.

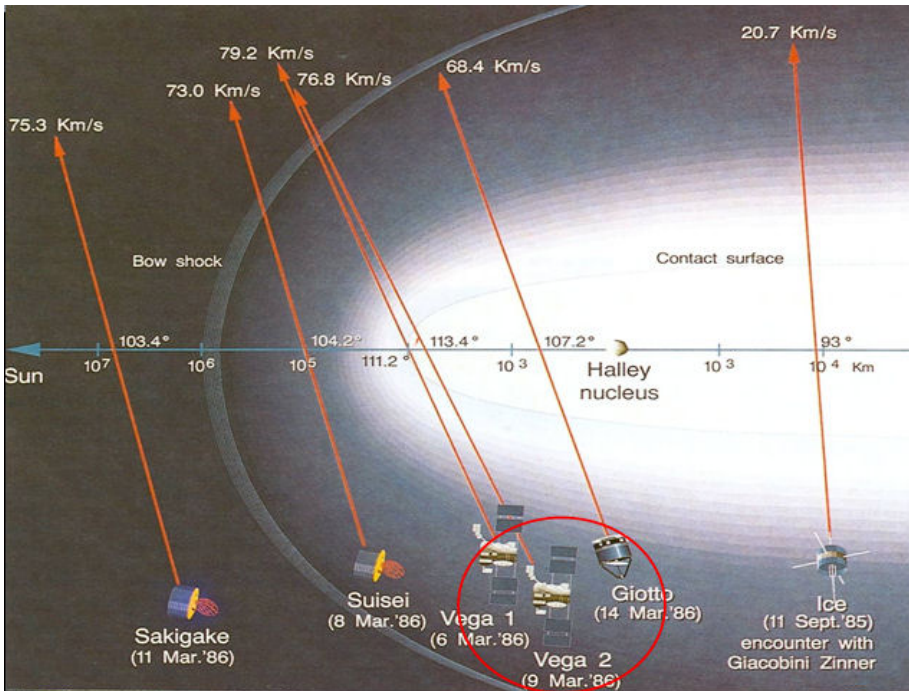


Figura 42 – La flottiglia di sonde spaziali verso la cometa di Halley (distanze in scala logaritmica).

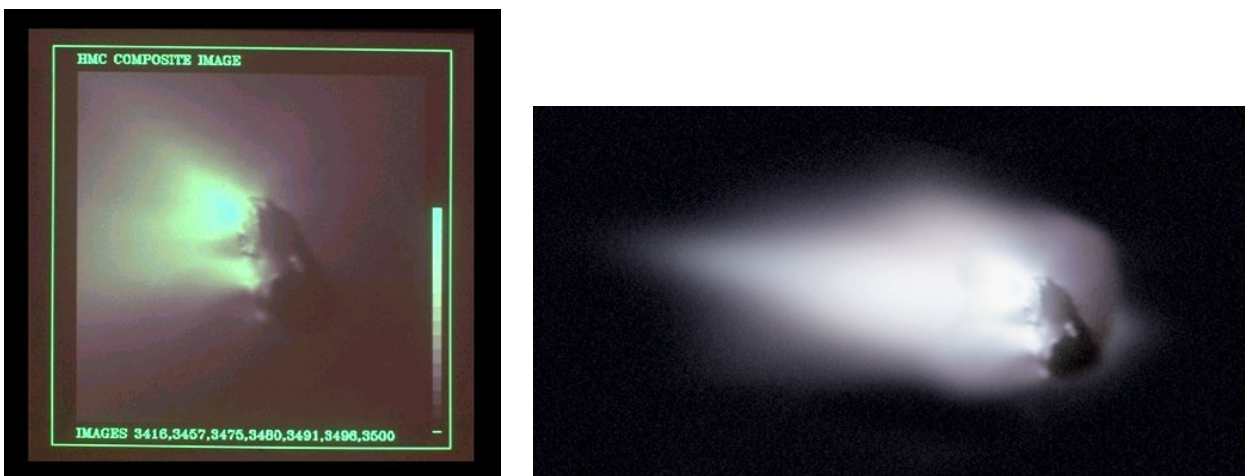


Figura 43 . L'ultima immagine del nucleo della Halley. A sx l'originale, a dx dopo esaltazione dei livelli di luminosità più bassi. In bianco i getti di vapor acqueo emessi da vari crepacci. In quei giorni la temperatura superficiale del nucleo cometario era superiore a 20 C.

Ma qui ci interessa piuttosto il significato politico di questo passaggio. Nonostante i tempi di assoluta mancanza di canali di comunicazione ufficiali tra USA, Giappone e Europa da un lato, e Unione Sovietica dall'altro (la guerra fredda era ancora molto viva, il muro di Berlino sembrava eterno), tra gli scienziati si instaurò una via attraverso cui scambiare informazioni. Infine, ai primi di marzo del 1986 le sonde sovietiche Vega comunicarono a Giotto la posizione precisa della cometa, in modo da poterne dirigere il cammino verso il nucleo. Al termine di tali eventi, il folto gruppo di scienziati europei, sovietici, giapponesi, americani coinvolti nella serie di missioni spaziali si ritrovò a Padova, per poi recarsi in delegazione a Roma dove furono ricevuti da Sua Santità Giovanni Paolo II.



Figura 44 - L'International Consultative Group nel 1986 a Padova, al termine della serie di missioni spaziali verso la cometa di Halley.

Durante l'udienza, al pontefice fu donato il libro 'Encounter '86', e fu straordinariamente commovente il parallelo tra le sonde e i Re Magi fatto dal capo della delegazione europea. Questa udienza fu un'altra tappa della straordinaria azione pacificatrice condotta da quel Pontefice.



Figura 45 – Il volume presentato a S. Santità Giovanni Paolo II.

Possiamo facilmente prevedere che nel suo prossimo ritorno del 2060 la Halley verrà ancora intensivamente studiata e rivelerà qualche altra inaspettata caratteristica.

4.3 - Alieni

Quella sulla esistenza di altre civiltà intelligenti è una domanda che mi viene rivolta spessissimo, e che dunque merita una risposta, almeno quella che io mi sento di dare. Ho già affermato che si prende sempre più coscienza che la comprensione del nostro Sistema Solare passa attraverso il confronto con i sistemi planetari esistenti attorno a altre stelle. Ho anche evidenziato il nuovo veicolo informativo: non è più solo la radiazione elettromagnetica che porta informazioni sull'universo, si è aperto anche il canale materiale. Canale in piccolissima parte aperto anche prima delle esplorazioni spaziali, ad es. con l'occasionale ritrovamento delle meteoriti o lo studio dei raggi cosmici, ma che l'epoca odierna comincia a esplorare con sistematicità. Vorrei ricordare al riguardo dei meteoriti, il famoso ALH84001, ritrovato in Antartide nel

1986. Un esame molto dettagliato da un lato confermò la provenienza da Marte, e dall'altro evidenziò la presenza di peculiari formazioni carbonacee simili a nano-batteri. Si accese immediatamente un aspro dibattito tra i sostenitori della presenza di vita batterica su Marte, fiorita circa 3.8 miliardi di anni orsono e successivamente estintasi, e chi al contrario sosteneva che l'evidenza fornita dal meteorite era del tutto inconcludente. L'opinione di questi ultimi è in gran parte prevalsa. Si ricordi che i dati dei Viking, le gloriose sonde scese già nel 1976 sulla superficie del rosso pianeta, tendevano a escludere la possibilità di vita marziana. Tuttavia, certamente il dibattito non è definitivamente chiuso nemmeno dalle più recenti missioni marziane.

Qui apro una parentesi che spero non sia troppo superficiale: esplorare il sistema solare, al limite anche sfruttare economicamente e colonizzare con insediamenti umani pianeti e asteroidi, cioè mondi in cui *noi siamo gli alieni*, sono a mio parere azioni del tutto legittime. Naturalmente si dovranno evitare errori macroscopici connessi con la incontrollata alterazione dell'ambiente originale; per fortuna la situazione non è quella della colonizzazione delle Americhe o dell'Australia, che videro la distruzione non solo di piante e animali ma addirittura di civiltà e di loro testimonianze. Nel caso di Marte, o degli asteroidi, o delle lune di Giove, le cautele dovranno interessare solamente aspetti ambientali e al limite di biologia cellulare, dato che non ci sono persone, animali o piante da rispettare. Vorrei anche far notare che l'esplorazione non avrebbe limiti insormontabili, né dal lato dell'energia né nelle risorse materiali necessarie per tale impresa; per quanto riguarda la prima, la sorgente nucleare è stata oggetto di discussioni furibonde e a mio avviso fuorvianti, in netto contrasto con l'atteggiamento di (seppur prudente) padronanza che l'uomo dovrebbe sempre mantenere nei riguardi della natura. Per le seconde, assodata da tempo la presenza nel Sistema Solare di tutti gli elementi chimici principali, negli ultimi decenni si è trovata anche una straordinaria abbondanza di acqua, tipicamente sotto forma di ghiacci sia nelle comete che sulle superficie di varie lune, compresa la nostra, e addirittura in forma liquida sotto la crosta di Europa (la seconda luna medicea di Giove) e di Encelado, una delle tante lune di Saturno. Le forme in cui si esplicherà tale attività umana di esplorazione del sistema solare sono largamente imprevedibili, ma l'impronta teorica e pratica da dare a questa possibile colonizzazione extra-terrestre dovrebbe far parte di una generale coscienza di quanto avverrà in un futuro non troppo remoto.

Torno alla speranza di farci conoscere da altre civiltà intelligenti (speranza remotissima, probabilità piccolissima ma non proprio nulla). Uno dei tentativi più audaci è affidato alle sonde Voyager della NASA, grazie a uno dei pensatori più prolifici del XX secolo, Carl Sagan. Le due sonde sono le macchine umane più distanti dalla Terra, e il loro viaggio non può essere fermato se non da un casuale improbabilissimo urto catastrofico. Recentemente la NASA ha emesso un comunicato piuttosto infelice in cui sembrava affermare che Voyager 2 è uscita dal sistema solare, o almeno così è stato letto da molti media. In effetti le due sonde sono ancora ben dentro alla sfera gravitazionale del Sole, e ancora distantissime dalla nube cometaria di Oort. L'informazione corretta è che le due sonde stanno attraversando una zona di spazio in cui la pressione del mezzo interplanetario interno equivale a quella del mezzo interstellare. Quello che ci interessa qui è considerare il loro viaggio futuro, che in circa 50.000 anni le porterà nei pressi delle stelle vicine. Ci sarà qualcuno là in grado di catturarle? Nella speranza di questo accadimento le sonde portano a bordo dei CD con varie informazioni sul nostro sistema solare, sulla nostra matematica, sulle nostre caratteristiche somatiche.

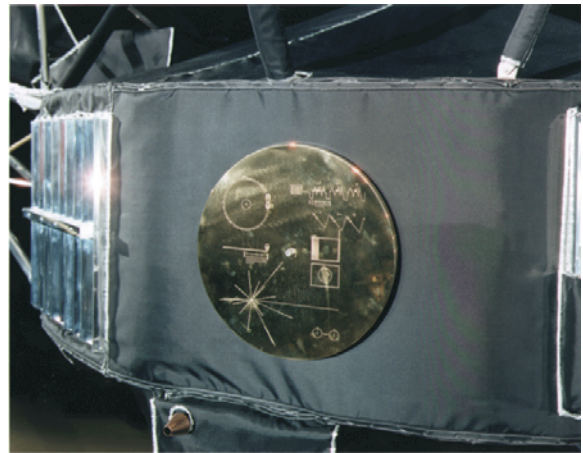
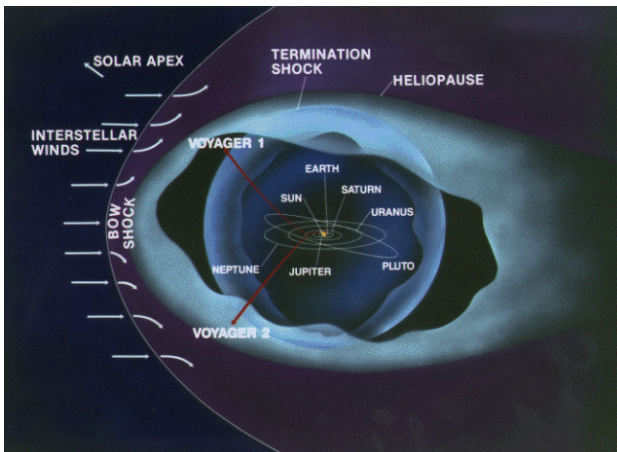


Figura 46 – A sx, la posizione attuale delle sonde Voyager 1 e 2 relativamente al sistema solare interno. A dx, il CD-Rom d'oro trasportato dalle sonde.

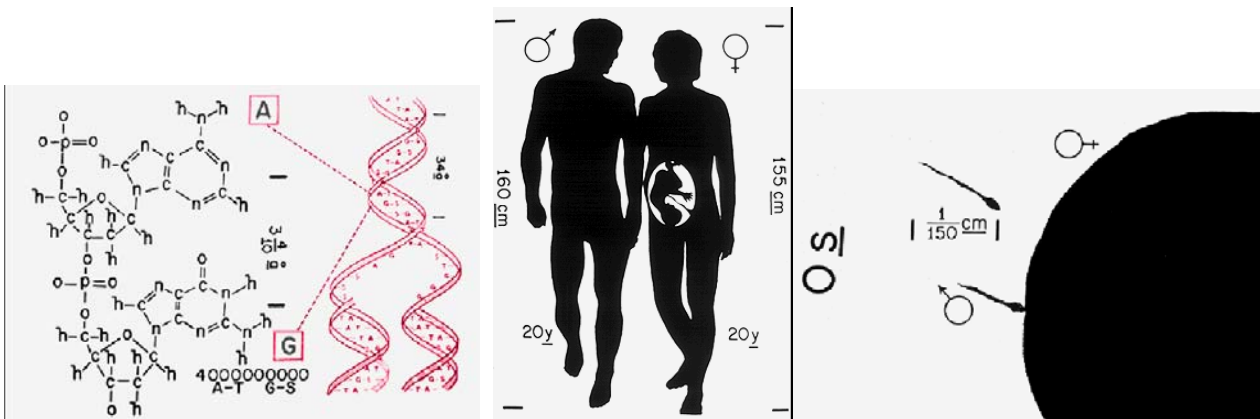


Figura 47 – Alcune immagini nel CD-Rom.

Sono poi incisi un centinaio di brani musicali, sia per orchestra che pe voci, a esprimere il significato della musica come linguaggio universale.

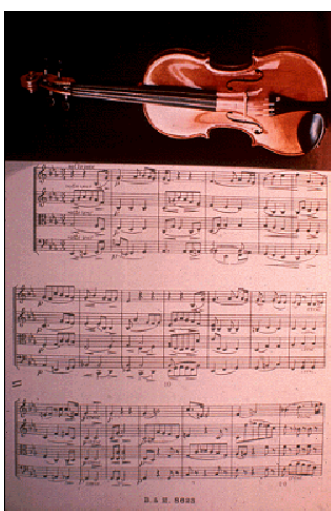


Figura 48 – La musica come linguaggio universale.

Naturalmente 50.000 anni sono tanti, e non è pensabile che dopo tanti anni qualcuno sulla terra si ricordi dei Voyager, ma chissà. Evidenzio però che la tecnologia attuale potrebbe facilmente inviare sonde con

velocità almeno 100 volte maggiore, diminuendo così il tempo di transito a pochi secoli, un lasso di tempo non maggiore di quello impiegato per costruire tanti nostri monumenti.

Torniamo ora ai 'veri' alieni, quelli che arrivano da chissà dove qui da noi, che di solito vengono visti in grande numero e con abbondanza di dettagli anatomici prima dell'uscita di qualche film o libro di fantascienza. Le loro astronavi hanno forme che violano tutte le più consolidate leggi aerodinamiche. Molti di loro erano qui in epoche remote, tracciarono strade nei deserti cileni, aiutarono i Maya a copiare le piramidi egizie, compirono altri consimili esercizi di carità interplanetaria. Uno dei rapporti più seri al riguardo (purtroppo oggi difficile da trovare nella sua interezza) è il rapporto Condon, coordinato dal fisico statunitense Edward Condon nel 1968, alla conclusione di un progetto chiamato Blue Book. Il lettore interessato può vedere in:

http://archive.is/20120719123429/http://www.af.mil/information/factsheets/factsheet_print.asp?fsID=188&page=1 , e <http://files.ncas.org/condon/text/sec-ii.htm>.

Personalmente ho trovato molto interessante tutta la discussione della psicologia di massa. In rete abbondano siti dedicati ai cosiddetti UFO (Unidentified Flying Objects), ma in compenso abbiamo un controsito, quello del CICAP (<http://www.cicap.org/new/index.php>).

Più seriamente ora, è possibile che siamo i soli essere viventi in questo sterminato universo (e per di più intelligenti, cioè capaci di comprenderlo)? quando esco dalla cupola del telescopio, dopo una notte di osservazione, e vedo sopra di me questo bellissimo cielo stellato, la mia risposta sentimentale è ovvia: no, non è possibile essere soli. Da qualche parte ci devono pur essere altri esseri pensanti, magari diversi da noi come forma ma non come sostanza. Il problema della esistenza di tali esseri è stato affrontato da grandi pensatori in tanti secoli passati. Cito, nella sua disarmante semplicità, quello che scrisse al proposito il Padre Angelo Secchi, circa 150 anni fa: ' è con dolce sentimento che l'uomo pensa a questi innumerevoli mondi, ove ciascuna stella è un sole che, come ministro della divina bontà, distribuisce vita e benessere a altri innumerevoli esseri, benedetti dalla mano dell'Onnipotente '.

La mia affermativa risposta di tipo sentimentale, quella ben più profonda di Padre Secchi, le tante altre che si potrebbero elencare, assumono oggi un significato diverso e molto più concreto: per la prima volta nella storia dell'umanità abbiamo i mezzi strumentali, non più solo i nostri ragionamenti o sensazioni, per cercare questi altri possibili essere viventi e comunicare con loro.

Ho già detto che il numero di pianeti extrasolari conosciuti cresce a un ritmo impressionante, diciamo uno alle settimana. Non passeranno molti anni prima che si scopra un pianeta simile alla nostra Terra e che si riesca vedere se ha un'atmosfera e come è composta. Più difficile sarà scoprire se sostiene la vita. Dunque, la ricerca di vita intelligente nell'universo è possibile, ben motivata sul piano delle aspettative scientifiche e filosofiche, ma certamente non è facile. Ci si sta provando, in una serie di tentativi raggruppati sotto l'acronimo 'SETI' (Search for Extra Terrestrial Intelligence), di cui esiste anche un istituto apposito in USA. Uno dei posti in cui si fa questa ricerca di segnali intelligenti extra-terrestri è l'Istituto di Radio Astronomia a Medicina, nei pressi di Bologna (si veda la Figura 49).



Figura 49 - La parabola di 32 m con cui si possono fare ricerche di segnali intelligenti extra-terrestri. Una seconda antenna simile a questa è a Noto, in Sicilia (foto cortesia INAF/IRA).

4.4 - Astronomia e religione

Un'altra domanda rivoltami comunemente è quella relativa all'astronomia e alla religione. Ho esitato a lungo se includere o no questo argomento, che tanto attiene alla sfera personale che mi sembra quasi irrispettoso dei sentimenti del lettore esprimere una mia opinione. Non c'è dubbio che il cielo degli astronomi non sia più oggi il cielo delle Sacre Scritture e dei teologi, né quello così ben strutturato di Dante Alighieri. Nella mia lunga carriera ho conosciuto illustri astronomi di ogni tendenza, da quelli dichiaratamente atei, agli agnostici, ai credenti di varie religioni, per cui qui la statistica non c'entra niente, è il proprio io che governa la vita e le credenze di ciascuno. Conosco perfino religiosi (addirittura cattolici! ho messo il punto esclamativo per sottolineare che spesso chi parla di 'oscurantismo' della Chiesa cattolica ignora l'enorme ruolo di tanti religiosi in tante discipline scientifiche) che sono ottimi astronomi e hanno grande influenza nell'ambiente internazionale. Per non mettere in imbarazzo colleghi ancora in attività, ricordo ancora una volta le due figure di religiosi di un passato recente che ho citato nei capitoli precedenti, Angelo Secchi e George Lemaitre. Tra i tanti testi, consiglio nelle referenze quelli di O. Pedersen, di G. Tanzella-Nitti e di P. Benvenuti.

Ma finalmente, dovrò pur dire qualcosa di personale. I rapporti tra Cristianesimo e Astronomia possono venire affrontati nel senso diretto, cioè dell'influenza dell'uno sull'altra. Beninteso, non voglio affermare che le Sacre Scritture contengano informazioni di tipo scientifico sull'universo, ma la fede cristiana, e quella giudaica da cui deriva, forniscono lo stimolo a affrontarne lo studio e anche gli adatti strumenti concettuali. Tantissimi lavori affrontano anche la questione inversa, di come invece l'Astronomia abbia avuto influenza sul Cristianesimo, e naturalmente ogni rapporto tra due ambiti di pensiero implica uno scambio di idee e esperienze a vantaggio di entrambi. Però il mio atteggiamento personale è di chi assume per vero, se si vuole per un atto di fede, quanto ci è stato rivelato, e per ciò stesso oggettivizza la realtà esterna, e si sente spronato a indagare il creato di cui fa parte, legittimato in ciò da un atto del Creatore che gli ha dato non solo l'esistenza ma anche l'intelligenza per capire l'esistente.

Vorrei anche richiamare l'attenzione su quanto inevitabilmente vi sia di 'datato' nel dibattito tra scienza e fede. Cioè, se avessi scritto queste pagine ai primi del 1900 invece che ai primi del 2000 non avrei saputo nulla delle reazioni termonucleari, della struttura interna delle stelle, dell'espansione dell'universo, della radiazione cosmica di fondo, ecc. e tuttavia mi sarei illuso di conoscere molto e di poter fare varie affermazioni pregnanti. Il XX secolo ha visto infatti una esplosione di conoscenze in un processo che non ha

precedenti nella storia, e che non è certo terminato. Da un lato, la contemporaneità di questi eventi ne impedisce un giudizio sufficientemente distaccato; dall'altro, l'influenza profonda del Cristianesimo sullo sviluppo della astronomia e della scienza in generale, e del reciproco influsso, può ancora esplicitarsi in modo oggi impensabile. Ripenso ad esempio a quanto ho già detto a proposito degli extra-terrestri.

Un'ultima considerazione personale. Quando si inaugurò il Telescopio Nazionale Galileo alle Canarie mi frullavano nella testa le parole dell'apostolo Paolo nella lettera ai Corinzi: *Videmus nunc per spéculum in aenigmate ...* Gli specchi dell'epoca di Paolo erano ben peggiori, dal punto di vista della qualità ottica, di quello davvero eccellente del TNG e di quelli dei telescopi moderni, ma la sostanza ultima di quella frase non cambia: la conoscenza delle cose ultime, di quelle sperate, è così limitata dai nostri mezzi, sia quelli strumentali che quelli cognitivi e logici, che solo lo scorrere del tempo e lo sforzo collettivo di tanti in tante epoche ci consente di avanzare nella conoscenza, in un processo senza fine di domande sempre nuove e risposte sempre parziali. Secondo l'ordine naturale delle cose tra non molti anni avrò direttamente dal Creatore le risposte ai tanti interrogativi esposti in queste pagine. Credo che sul piano personale, questo timore e finanche sgomento per il futuro da un lato, e dall'altro la speranza di cose promesse, sia l'accezione più profonda del dualismo oggetto di queste lezioni.

Conclusioni

Ho cercato di evidenziare quanti motivi di speranza e di timore siano presenti nella ricerca astronomica. Ci troviamo probabilmente in un'epoca di passaggio, la straordinaria ignoranza sulla natura della materia oscura e dell'energia oscura, l'incapacità di inserire la gravitazione in un quadro teorico generale, fanno presagire il superamento delle odierne teorie fisiche, una grande speranza cioè per il futuro. Sono altrettanto speranzoso che verranno scoperti pianeti extra solari con caratteristiche di abitabilità simili a quelle della Terra, molto verosimilmente entro pochi anni. Ho più dubbi invece sulla possibilità di scoprire altre civiltà intelligenti e di mettermi in comunicazione con loro, può ben darsi che siano 'loro' a scoprire noi per primi, e questa possibilità di interazioni interplanetarie non mi spaventa. So che al contrario avremmo tanto da guadagnare.

Purtroppo devo constatare quanto la 'paura' sia diffusa tra la gente, paura suscitata da una (temo) crescente irrazionalità, nonostante tutti gli sforzi di 'outreach' compiuti dalla scienza ufficiale. Purtroppo i media non aiutano, dando spazio a timori i più strampalati. Lascio l'indagine su questa tema spesso così deprimente a qualche studente di buona volontà.

Voglio indicare in conclusione due libri scritti da eminenti astronomi contemporanei, il primo da Sir Martin Rees e il secondo da R.M. Bonnet e L. Woltjier. Credo sia interessante chiedersi perché l'astronomia dia questa capacità di interrogarsi sul futuro, anche se oggettivamente le informazioni ci arrivano solo dal passato. Mi sono dato tante risposte, ma forse i commenti dei lettori mi saranno utili per focalizzarle meglio.

Il libro di Martin Rees ha un titolo inquietante: *Il secolo finale, perché l'umanità rischia di autodistruggersi nei prossimi 100 anni*. Secondo la sua analisi abbiamo solo il 50% di probabilità di farcela. Bonnet e Woltjier hanno scritto il libro dal titolo piuttosto ambizioso: *Surviving 1000 Centuries, can we do it?* che riprende alcuni dei temi cari a Vincenzo Balzani sull'astronave Terra. Il libro così chiude: *To the question 'Can we survive a thousand centuries?' we must admit honestly that we cannot today offer a positive answer because that answer is not only ours but must be given collectively. We do believe, however, that before the end of this century, humanity will be in a position to propose an answer that will, hopefully, be positive.*

Questo è il compito più importante che posso lasciarvi.

Referenze bibliografiche

- C. Barbieri, *Astronomia perché?* 2009, Editrice Compositori, Bologna
C. Barbieri, *Alla scoperta dell'Universo*, 2001, CLEUP, Padova
C. Barbieri, *L'influenza del Cristianesimo sullo sviluppo dell'astronomia*, nel volume 'Dopo 2000 anni di cristianesimo', CEI 2000. Mondadori
C. Barbieri, *Lezioni di Astronomia*, Zanichelli, 1999 e ristampe, Bologna
C. Barbieri, *Fundamentals of Astronomy* (Taylor and Francis, 2006)
C. Barbieri et al., *The Three Galileos* (1997 Kluwer);
C. Barbieri et al., *Earth-Moon Relationships* (2000 Kluwer);
C. Barbieri et. al, *400th Anniversary of the discovery of the Medicean Moons* (2010 Cambridge Univ. Press).

Su Copernico:

A more Perfect Heaven, Dava Sobel, Bloomsbury 2011 (v. anche in italiano)

Su Galileo:

Galileo's Daughter (o anche *Letters to Father*) di Dava Sobel (si cerchi anche in italiano)
Galileo, per il copernicanesimo e per la scienza, di Annibale Fantoli, Specola Vaticana
Il telescopio di Galileo, di Massimo Bucciantini, Michele Camerota, Franco Giudice (Piccola Biblioteca Einaudi)

Su Leopardi:

G. Leopardi, *Storia dell'Astronomia* (scritta nel 1813 a 15 anni, ma pubblicata postuma nel 1880).
E.F. Torsello, *L'astronomia di Leopardi*, in *l'Astronomia* nr. 294, aprile 2008
F. Vetrano, *Storia enigmatica di un Universo: il tempo personale di Giacomo Leopardi tra il nulla e l'eternità* in *Il Giornale di Astronomia*, 1998, n. 1, p. 32
F. Gàbici, *Astronomia e letteratura in Leopardi e Pascoli* (v. recensione di Gualandi sul *Giornale di Astronomia*, 2008, n. 3, p. 58)
Da vecchi numeri di *Coelum* (rivista che fu pubblicata dall'Osservatorio Astronomico di Bologna):
L'astronomia nella poesia di Giacomo Leopardi, MAZZUCCO ROMOLO, 1932,II,193
La storia dell'astronomia di Giacomo Leopardi, MAZZUCCO ROMOLO, 1932,II,249
Sugli errori popolari degli antichi, LEOPARDI GIACOMO, 1959,XXVII,76/1959,XXVII,112/1959,XXVII,140
Sugli errori popolari degli antichi, LEOPARDI GIACOMO, 1961,XXIX,45

Sulle missioni Apollo:

P. Attivissimo: *Luna: sì ci siamo andati*, <http://complottilunari.blogspot.it/2010/03/luna-si-ci-siamo-andati-faq.html>

Su Nietzsche e l'astronomia:

Pietro Gori, *La visione dinamica del mondo. Nietzsche e la filosofia naturale di Bosovich*.

<http://sait.oat.ts.astro.it/MSAIS/23/>

Helmut Heit and Lisa Heller, *Handbuch Nietzsche und die Wissenschaften des 19. Jahrhunderts*, Berlin-New York, Walter de Gruyter (2014), p. 155-169.2014

Irene Treccani: Nietzsche e l'astronomia del XIX secolo, Padova, Il Poligrafo, in via di pubblicazione.
Zarathustras Vorrede 1-5, in Ates Murat, *Nietzsches Sammelband*, in via di pubblicazione.
Nietzsche und die zeitgenössische Astronomie, in Helmut Heit and Lisa Heller, *Handbuch Nietzsche und die Wissenschaften des 19. Jahrhunderts*,
Beiträge zur Quellenforschung mitgeteilt, in «Nietzsche-Studien», 41 (2012): 382-383.

Nietzsche e la luce delle stelle, in «Giornale di Astronomia», 37/3 (2011), p. 26-33.

Evoluzione stellare:

V. Castellani, *Dieci Miliardi di Anni*, 1999, Piccoli Manuali della CLUEB, Bologna

V. Castellani, *Fondamenti di Astrofisica Stellare*, Zanichelli (si trova in rete <http://astrofisica.altervista.org/doku.php>)

G. Coyne e A. Omizzolo, *Viandanti nell'Universo*, Mondadori 2000

Problemi di generazione di energia

N. Armaroli, V. Balzani, *Energia per l'astronave Terra*, BOLOGNA, Zanichelli, 2008, pp. 239

Notizie storiche sulla Nebulosa del Granchio

Collins, George W., II; Claspy, William P.; Martin, John C. 1999, *A Reinterpretation of Historical References to the Supernova of A.D. 1054*, The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 111, Issue 761, pp. 871-880 (v. anche arXiv e-print (arXiv:astro-ph/9904285))

Notizie sulla astronomia e matematica dei Maya e dei pellirossa del Nord America

G. Romano, *I Maya e il Cielo*, CLEUP 1999

Mio padre è il cielo, CLEUP 1998

Introduzione alla matematica pre-colombiana, CLEUP 2000

Cosmologia

Coyne, G. S.J. 1994, conferenza tenuta al convegno internazionale *Terzo Millennio, l'Uomo, i limiti e la speranza*, Villa Monastero, Varenna

M. Livio, *The accelerating Universe*, John Wiley and sons

Le idee di A. Linde si trovano sul suo sito, <http://www.stanford.edu/~alinde/>

Una esposizione popolare di stringhe e multiversi è nella conferenza TED di Brian Greene, cui si può rimproverare tutto ma non la modestia:

http://www.ted.com/talks/brian_greene_why_is_our_universe_fine_tuned_for_life.html

Notizie storiche sulla Cometa di Halley

G.A. Tamman, P. Véron 1985, *Halley Komet*, Birkhäuser Verlag Basel

Notizie sulla distanza Terra – Luna:

<http://physics.ucsd.edu/~tmurphy/apollo/apollo.html> e referenze lì citate. V. anche http://en.wikipedia.org/wiki/Orbit_of_the_Moon

Sulla durata del giorno:

Morrison, L. V.; Stephenson, F. R. (2004), *Historical values of the Earth's clock error ΔT and the calculation of eclipses*, Journal for the History of Astronomy (ISSN 0021-8286), Vol. 35, Part 3, No. 120, p. 327 - 336

Sul pericolo rappresentato dagli asteroidi

D.K. Yeomas: *Nea- Earth Objects, Finding them before they find us*, Princeton University Press 2013

Su UFO e extraterrestri

Oltre ai siti citati, si può leggere l'ultimo libro di M. Hack e V. Domenici, *C'è qualcuno là fuori?*, Springer & Kupfer (2013), che confesso di non avere ancora letto. Forse qualche studente potrebbe riassumerlo.

Rapporti tra scienza e fede

O. Pedersen 1992, *The Book of Nature*, Libreria Editrice Vaticana, Città del Vaticano

Don G. Tanzella Nitti, vari scritti, si veda <http://disf.org/tanzella-nitti/libri.htm>

P. Benvenuti, *In Saecula Saeculorum*, 2012, Collana Stenone, Pharus Editore, Livorno

F. Serafini e P. Benvenuti, *Genesi e Big Bang, parallele convergenti*, 2013, Cittadella Editrice, Assisi

Su un futuro remoto:

M. Rees, *Il secolo finale*, Oscar Saggi Mondadori 2005

http://www.ted.com/talks/martin_rees_asks_is_this_our_final_century.html

R.M. Bonnet e L. Woltjier: *Surviving 1000 Centuries, can we do it?* Springer and Praxis, 2008

Esercizi

Notizie su Leopardi 'astronomo':

1 - Cercare notizie su Leopardi astronomo

Leopardi possedeva un telescopio, e su Leopardi 'astronomo' si sono scritti alcuni trattati, ma ne ho un elenco parziale (v. referenze). Studenti interessati all'argomento possono contattare il Prof. Fabrizio Bòboli all'Università di Bologna (fabrizio.bonoli@unibo.it).

2 - Cercare notizie su M. Ricci:

Chiedere all'Istituto Confucio.

Chiedere a ICRANet (Pescara, Prof. Remo Ruffini)

3 - Cercare referenze all'originale lavoro di I. Kant sulla formazione planetaria

4 – Verificare cosa dice davvero G.W.F. Hegel (1801 Jena, *Dissertatio Philosophica de Orbitis Planetarum – Philosophische Erörterung über die Planetenbahnen*, Acta humaniora VCH, Weinheim). Della *Dissertatio* conosco solo la traduzione in inglese dall'originale latino (David Healan, Berlin and Yokohama, 2006). Nel III capitolo Hegel sembra concludere che non ci possa essere un pianeta tra Marte e Giove, ma sarebbe bene verificare sull'originale a proposito dei 6 e non più 6 pianeti.

5 - Studiare la figura di un grande gesuita, Padre Angelo Secchi (Specola Vaticana) nel quadro della unità d'Italia nella seconda metà del XIX secolo

6 – cercare notizie sulla SN del Granchio. Il 1054 è un anno denso di avvenimenti in Italia e in Europa. Forse il lavoro di Collins et al. citato nelle referenze può ancor essere integrato. Si ricordi che a San Leone IX, morto il 19 aprile 1054, successe Vittore II, ma che una figura di riferimento era Ildebrando Aldobrandeschi di Sovana. Può ben darsi che ci siano riferimenti precisi alla SN in scritti non ancora noti, ad es. collegati con la beatificazione di Papa Leone IX.

7 – approfondire la figura di Nietzsche: l'indirizzo di P. Gori è: pietro.gori@gmail.com , quello di I. Treccani è: irene3ccani@hotmail.it

8 . Esercizio sulla cometa di Halley: cercare notizie su giornali e gazzette locali relative ai passaggi del 1759, 1810, 1906.

8.1 Cercare notizie sulla cometa della Natività.

8.2 cercare notizie sullo strato di Iridio di Gubbio e Luis Alvarez (premio Nobel 1968).

8.3 Cercare notizie sul meteorite di Fermo.

8.1 qualche studente interessato potrebbe verificare l'esistenza di trattati internazionali sull'utilizzo dello spazio extra-terrestre.

9 – questo esercizio è davvero molto difficile e adatto a studenti di fisica o di storia della scienza: il lettore interessato potrebbe ripensare ai paradossi della scuola di Zenone e dei filosofi eleatici (Achille e la tartaruga, la freccia che non raggiunge il bersaglio, etc.) e trovare la loro riformulazione quantistica.

10 – lo studente attento al tema delle risorse energetiche potrebbe approfondire la differenza tra reazione di fusione e reazione di fissione, e verificare in quali progetti l'Italia è coinvolta.

10.1 Confrontando la struttura esterna delle sonde NASA GALILEO e CASSINI con quella della sonda europea ROSETTA, ci si dovrebbe accorgere della drastica differenza. Spiegarne il motivo.

11 – La Cosmologia è una scienza? Domanda su cui si sono affaticate menti di illustri scienziati e pensatori. Sicuramente le osservazioni dello sfondo di radiazione infrarossa (satelliti COBE, W-MAP, Planck) ha reso la cosmologia di straordinaria precisione quantitativa. Se si potessero osservare, almeno in linea di principio, più universi cadrebbe l'obiezione della unicità dell'oggetto in esame, così come oggi la 'planetologia comparata' confronta il nostro sistema solare con una miriade di altri sistemi planetari.

12 – se qualcuno è interessato alla matematica dei Maya e al loro calendario (argomenti di straordinaria difficoltà) legga i libri di G. Romano citati in bibliografia.

13 – a proposito di astrologia, ho letto da qualche parte che conosciamo la data di nascita di Dante Alighieri solo grazie al suo oroscopo, ma non mi ricordo dove l'ho letto né so se è vero. Qualche studente potrebbe aiutarmi.

13.1 qualcuno potrebbe aver interesse a approfondire l'argomento dei gemelli, usato da Sant'Agostino contro l'astrologia

13.2 uno studioso del Rinascimento potrebbe voler leggere cosa scriveva Pico della Mirandola nelle sue *'Disputationes adversus astrologiam divinatricem'*, scritte tra il 1492 e il 1494, ma lasciate incomplete per la sua morte prematura.

14 – uno studente interessato potrebbe compilare l'influenza della Luna sulle credenze, superstizioni, pratiche agricole, frequenza dei parti etc. del territorio.

14.1 distanza Terra – Luna, calcolare la distanza alla Luna al tempo della estinzione dei dinosauri, nell'ipotesi (tutt'altro che vera, ma è solo un esercizio) che l'aumento continui al ritmo attuale di 3.8 cm/anno. Più difficile è calcolare (sempre in questa rozza ipotesi, e assumendo che la distanza Terra-Sole non sia variata) il valore della costante precessionale e la lunghezza del giorno e dell'anno in giorni terrestri.

14.2 circostanza delle eclissi in epoche assiro-babilonesi-sumere. Un appassionato di archeologia può fare i conti di quale fosse la situazione 5000 o 6000 anni fa, cioè all'epoca delle prime registrazioni scritte.