

Ivan Spelti

SETTE LEZIONI DI ASTRONOMIA

Corso introduttivo

EDIZIONI
DEL FARO 

Ivan Spelti, *Sette lezioni di astronomia*
Copyright© 2015 Edizioni del Faro
Gruppo Editoriale Tangram Srl
Via Verdi, 9/A – 38122 Trento
www.edizionidelfaro.it – info@edizionidelfaro.it

Prima edizione: novembre 2015 – *Printed in EU*

ISBN 978-88-6537-430-6

In copertina: Galassia di Andromeda (M31), foto di Giuseppe Pani e Silvano Pagliarini (A.R.A.) – Grafica di Marcello Mazzoni

ad Alessandro

SOMMARIO

Prefazione	13
1	
Astronomia antica	17
1.1 L'apparente infinito	18
1.2 Una parentesi moderna: i numeri nell'astronomia	20
1.3 Il cielo a occhio nudo	22
1.4 Babilonesi ed Egizi	23
1.5 Altre cosmologie	26
1.6 I Greci	31
1.7 Astronomia biblica	40
1.8 Astronomia islamica	42
1.9 Il Medioevo	44
Schede biografiche	50
2	
Rivoluzione copernicana	53
2.1 Niccolò Copernico (1473-1543)	53
2.2 Tycho Brahe (1546-1601)	55
2.3 Ludovico Ariosto (1474-1533)	57
2.4 Giordano Bruno (1548-1600)	60
2.5 Johannes Kepler (1571-1630)	61
Schede biografiche	65
3	
Galileo e Newton	69
3.1 Galileo Galilei (1564-1642)	69
Il telescopio	70
3.2 Isaac Newton (1642-1727)	78
Massa e Peso	80
Schede biografiche	83

4

Stelle, nebulose. L'astronomia osservativa nel 1700-1800	87
Il Settecento	87
4.1 William Herschel (1738-1822)	88
4.2 Charles Messier (1730-1817)	91
4.3 Primi anni dell'800	92
4.4 L'Ottocento	94
4.5 Primo Novecento	96
4.6 Diagramma H-R	97
4.7 Astronomia al femminile: Henrietta Leavitt	105
Schede biografiche	107

5

Relatività – Espansione dell'universo	111
5.1 Teoria della relatività generale	112
5.2 Spazi curvi e geometrie non euclidee	114
5.3 Equazioni del campo gravitazionale	118
5.4 Espansione dell'universo	120
5.5 Spazio-Tempo	125
5.6 Tempo e Velocità	128
Schede biografiche	131

6

Le moderne idee sulla struttura dell'Universo	137
6.1 Il <i>Big Bang</i>	138
6.2 Le prove	145
6.3 Come finirà	146
6.4 I dati	149
6.5 La sonda Planck	149
6.6 La materia oscura	151
6.7 Energia oscura	154
6.8 La radiazione cosmica di fondo	156
6.9 Il parametro omega (Ω)	158
6.10 Riassunto	160
Schede biografiche	161

Mondi extraterrestri	165
7.1 Il paradosso di Fermi	165
7.2 La formula di Drake	166
7.3 Le sonde	171
7.4 Progetto SETI	173
7.5 La vita	175
7.6 Il segnale	179
7.7 La ricerca dei pianeti che potrebbero ospitare la vita	180
7.8 Missione Kepler	182
7.9 La ricerca nel nostro sistema solare	184
Schede biografiche	191
Considerazioni finali	195
Ringraziamenti	197
Appendici (per chi vuole approfondire)	201
(A) Le potenze di dieci	201
(B) Eratostene: misura della circonferenza della Terra	204
(C) Parallasse delle stelle	206
(D) Precessione degli equinozi	209
(E) Lo spettro elettromagnetico	212
(F) Densità media dell'universo	217
(G) Cenni di fisica quantistica	218
(H) Il GPS	221
(I) Il principio antropico	226
(J) L'universo osservabile	232
(K) Unità di misura – Alcuni dati	234
Glossario	237
Bibliografia	251
Fonti delle illustrazioni – Crediti fotografici	257

SETTE LEZIONI DI ASTRONOMIA

Corso introduttivo

PREFAZIONE

Scrivere un libro parafrasando quello di Carlo Rovelli “Sette brevi lezioni di fisica” è compito arduo e impareggiabile per molti motivi. Intanto perché il bel libro di Rovelli è stato ed è, a ragione, un best-seller, in quanto presenta parte della scienza (la Fisica) in modo comprensibile anche al grande pubblico, a conferma delle sue doti di ottimo divulgatore; e poi perché le migliori qualità del libro consistono sia nell'importanza degli argomenti che nella espressa e dichiarata relatività del sapere scientifico, di cui egli è, come me, convinto sostenitore. Sicuramente, lui assolve molto meglio di me a questi progetti culturali dedicati al vasto pubblico.

Quanto poi al numero sette, senza evocarne le molte e supposte attribuzioni numerologiche, può essere sufficiente considerare che un libro diviso in sette unità rappresenta un minimo insieme completo per trattare un gruppo di argomenti distanti nel tempo, ma profondamente collegati da una visione unitaria del sapere.

Devo l'idea all'amico Antonio Petrucci, filosofo e storico, con il quale ho sviluppato un lavoro comune nella Libera Università il Crostolo (LUC) di Reggio Emilia, promotrice del corso: Antonio lo ha frequentato, e un giorno mi ha scritto: “Hai già pronto tutto il materiale in PowerPoint, perché non lo sintetizzi ed esprimi in sette brevi lezioni?”. Forse

attendevo quell'invito! Quanto al sintetizzarlo, è avvenuto l'esatto contrario, ma era prevedibile.

Con riferimento a Kant, Antonio aveva suggerito per il libro il bellissimo titolo "Il Cielo stellato sopra di noi: lezioni di astronomia". Se ho mantenuto il titolo iniziale di "Sette lezioni di astronomia" è stato unicamente per evidenziare l'effettivo svolgimento delle lezioni tenute per i corsisti della LUC.

Mi sono posto la domanda dell'utilità di una ulteriore pubblicazione sull'argomento, dal momento che ci sono moltissime opere complete ben migliori di questa: la risposta che mi sono dato è duplice. Il rispetto per i miei corsisti, che hanno apprezzato il taglio divulgativo-didattico delle lezioni meritandone un resoconto il meglio organizzato possibile e il desiderio di inserire nelle lezioni notizie e riflessioni integrative non sempre riscontrabili in opere similari.

Ogni libro di astronomia incomincia dicendo che "l'astronomia è la più antica delle scienze", che "guardare il cielo è stato ed è uno degli spettacoli più affascinanti", che "il senso di immensità e di mistero sembra travolgerci", e così via. Tutto verissimo e da inquadrare nel più vasto scenario delle origini e degli sviluppi della scienza.

La suddivisione del libro segue pertanto il percorso storico, dalla nascita delle idee sul cosmo alle moderne e attuali teorie, con un focus sugli ultimi centocinquanta anni che hanno portato all'impennata esponenziale delle conoscenze scientifiche nei vari campi della fisica in generale e dell'astronomia in particolare.

Il libro è dichiaratamente didattico e di primo livello, un corso introduttivo, pensato per il lettore appassionato di astronomia ma non particolarmente desideroso dell'impatto

con equazioni complicate: anche l'analisi delle equazioni di campo di Einstein sarà solo qualitativa e utilizzerò la parola "tensore" solo una volta, limitandomi a sottolineare il contributo dei grandi matematici italiani alla moderna teoria della gravità.

Ho quindi organizzato il materiale delle lezioni e non ho la pretesa di avere prodotto un lavoro completo ed esaustivo sui vari argomenti: non me ne vogliano, pertanto, gli addetti ai lavori che facilmente troveranno le lacune e omissioni che un corso di base comporta.

Ritengo che un testo come questo debba essere riccamente illustrato ed ho pertanto fatto in modo consistente ricorso al web per utilizzare libere immagini. Le schede biografiche sono state inserite al termine di ogni capitolo, al fine di non interferire troppo con lo sviluppo dei contenuti: la scelta non è completa, ma è stata inevitabile, a favore solo di alcune importanti figure.

Mantenere, nel possibile, uno stile colloquiale mi è parso rispecchiasse il carattere delle lezioni, in alcune parti piuttosto dense di contenuti non immediatamente digeribili e pertanto da affrontare anche con qualche concessione amicale che traspare nel libro.

Ho introdotto una consistente appendice, con alcuni calcoli, allo scopo sia di chiarire certi argomenti che di citarne altri (ad esempio, il principio antropico) per suscitare ulteriori interessi, e un glossario perché inevitabilmente nel corso dell'esposizione compaiono scoperte, concetti e termini di cui è bene dare i riferimenti.

Confido che il lettore trovi stimolante il quadro d'insieme proposto e desideri in seguito proseguire con testi e manuali in cui gli argomenti risultino ulteriormente approfonditi.

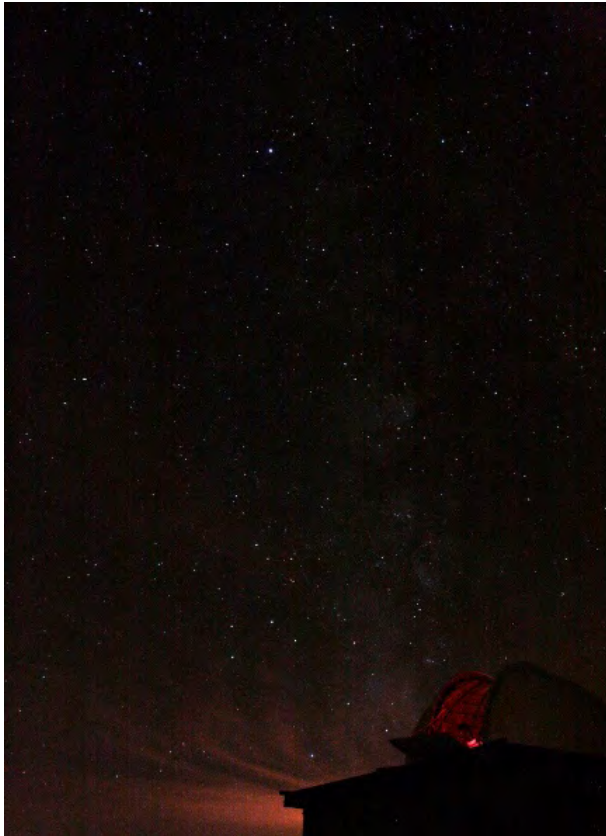
Per quanto non sia così importante, spero di poter contare su una base di almeno 80 lettori, i corsisti, consapevole che un libro dove non si parla di “sfumature di...” è sicuramente meno attraente di altri titoli. Ma tant'è! I lacci dell'astronomia, per quanto solidi, restano confinati a una visione sicuramente meno sensuale di altri argomenti.

Molti amici, ciascuno per la loro abilità e competenza, mi hanno aiutato leggendo con impegno la bozza iniziale arricchendola con molti suggerimenti. A fine testo, ne riporto i nomi e i ringraziamenti.

Sarò naturalmente grato a chi vorrà segnalarmi altri eventuali errori e omissioni, di cui sono il solo responsabile, direttamente al mio indirizzo: ivanspelti@libero.it

Ivan Spelti
Reggio Emilia, ottobre 2015

1
ASTRONOMIA ANTICA



Il cielo stellato
(gentile concessione A. Guatteri – A.R.A, 2014, Monte
Armidda, Lanusei, Osservatorio “F. Caliumi” – A.O.A)

I. I L'APPARENTE INFINITO

«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.»

Giacomo Leopardi, *L'infinito*

“La più sublime, la più nobile tra le fisiche scienze è senza dubbio l’Astronomia. L’uomo s’innalza per mezzo di essa al di sopra di se medesimo e giunge a conoscere la causa dei fenomeni più straordinari...”

Alcuni ricorderanno che Giacomo Leopardi, nella straordinaria e immensa biblioteca paterna, coltivava anche lo studio del cielo: scrisse perfino una “Storia dell’astronomia”. Del resto, lo spettacolo del cielo notturno ben si confaceva al suo narrare “l’infinito”. In una notte serena ognuno di noi, con una macchina reflex ben fissata puntata tra l’orizzonte e la parte di cielo sovrastante comprendente la Stella Polare, può fare un’esperienza affascinante: con alcune ore di pazienza, mentre la notte avanza, può fotografare le stelle scoprendo che intorno alla Polare si formano circonferenze concentriche, rilevabili con piccoli segmenti appena disgiunti.

La domanda è: le stelle “ruotano?” No, oggi sappiamo che è la Terra che ruota, ma l’apparenza suggerirebbe il contrario.

Vedremo che questo *problema dell’apparenza* delle cose è l’enorme problema che gli antichi quotidianamente si trovavano a fronteggiare.

Alla fine del nostro esperimento fotografico, tuttavia, non sono solo quelle tracce delle stelle a interessarci, bensì il fatto che le stelle “sembrano scomparire sotto l’orizzonte”, per ricomparire la sera successiva. Analogamente alle stelle, anche il Sole, la Luna, i pianeti, pur con le loro diverse apparenze, sembrano scomparire sotto l’orizzonte per ripresentarsi in seguito.

Sono fenomeni che definiamo “ciclici”. Ancora oggi, al bambino che ci chiede perché il Sole non c’è più dopo il tramonto diciamo che è “andato a dormire e tornerà domani”.

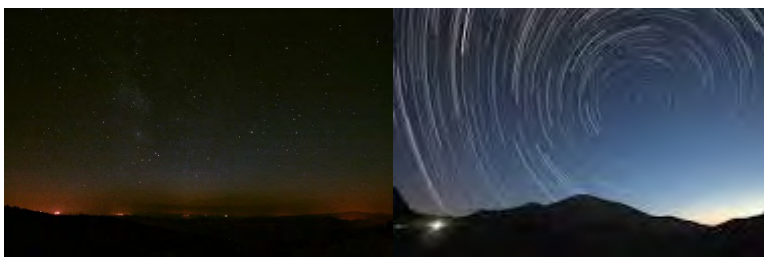


Fig. 1.1 – Il cielo di notte
(foto A. Guatteri) g.c.

Fig. 1.2 – Le tracce delle stelle

Giungere all’idea che le stelle e gli astri in generale “passano sotto”, si ripresentano, e perché lo fanno, ha richiesto migliaia e migliaia di anni ed è per questo che è necessaria una minima informazione sulla storia delle idee astronomiche, per niente semplici nel passato e collegate alla nostra evoluzione intellettuale di umani. Come si dice, dobbiamo partire da lontano e ripercorrere la *storia delle idee sul cielo*.

È difficile rivivere compiutamente il lungo periodo dell’uomo del Paleolitico (2.500.000-10.000 a.C.) e congetturare sulle idee di questi nostri antenati in merito a quello che pensavano su ciò che li circondava. Un cielo “misterioso” li sovrastava, fenomeni atmosferici e naturali spesso li atterri-

vano, l'ambiente era quasi sempre ostile. Osservavano, senza capire, il ciclo giornaliero del Sole e mensile della Luna, i moti periodici di cinque corpi celesti (che poi saranno chiamati pianeti), alcuni piuttosto strani, e cercavano di allenare gli occhi per distinguere centinaia e centinaia di puntini luminosi che sembravano fissi e incastonati nella volta celeste: le stelle.

In tempi più vicini, nel Mesolitico (10.000-8.000 a.C.), le cose iniziarono a migliorare con le prime costruzioni adatte a individuare la ripetitività dei moti degli astri, ma è solo nel Neolitico (8.000-3.000 a.C.) che delle osservazioni del cielo troviamo le prime tracce e documentazioni di un certo rilievo.

I simbolismi, l'embrione della scrittura e soprattutto la capacità di "contare", correlando i NUMERI agli eventi del cielo, apriranno la strada della conoscenza ai nostri antenati.

I.2 UNA PARENTESI MODERNA: I NUMERI NELL'ASTRONOMIA

Sappiamo che sono spesso molto grandi e fuori dalla comune comprensione. Parliamo oggi di centinaia di miliardi di galassie, altrettanto di stelle, distanti miliardi e miliardi di chilometri. Oppure di masse di miliardi di kilogrammi. A volte parliamo anche di tempi piccolissimi (miliardi e miliardi inferiori al secondo) o lunghissimi (quanto durerà l'universo?). Vediamo un esempio. La Galassia di Andromeda, considerata molto simile alla nostra galassia (Via Lattea) dista 2,5 milioni di anni-luce, contiene da 200 a 400 miliardi di stelle, ed ha una estensione di 200.000 anni-luce. La sua massa è di un milione di miliardi maggiore di quella del nostro Sole,

che è $2 \cdot 10^{30} \text{ Kg}^1$. A sua volta la massa del Sole è 333.000 volte quella della Terra e 27 milioni di volte quella della Luna. Non c'è che dire: sono dati fuori dall'ordinaria comprensione!



Fig. 1.3 – Galassia di Andromeda (dove posizionare in Andromeda un sistema solare simile al nostro)

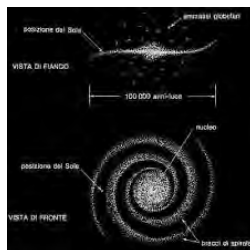


Fig. 1.4 – Schema della Via Lattea (analogo schema anche per un'altra media galassia a spirale)

Cos'è l'anno-luce? La distanza (non un tempo) che la luce percorre in un anno viaggiando alla velocità costante di 300.000 chilometri al secondo. Vuol dire che se stasera puntiamo un telescopio su Andromeda, la luce che da essa ci giunge è stata emessa in Andromeda 2,5 milioni di anni fa, ossia al tempo dei nostri lontani antenati, all'inizio del Paleolitico.

Ciò significa che *le nostre conoscenze dei corpi celesti sono correlate alla rincorsa a scoprire ritardi*. Perché?

I tempi di ricezione dei loro segnali (la luce che emettono) non corrispondono mai ai “tempi propri” degli oggetti celesti che li emettono, o li hanno emessi. La Luna “si trova” da noi a 1,28 secondi luce, vale a dire che se per pura ipotesi l'astronauta a passeggio accendesse una potente lampadina, il suo “adesso” noi sulla Terra lo vedremmo solo dopo 1,28 secondi. Il Sole è a 8,33 minuti-luce, e le galassie più lontane si trovano a diversi miliardi di anni-luce. *Quanto vale 1 anno-luce?* 9.461 miliardi

¹ Per le scritture dei numeri in notazione scientifica, vedi appendice (A).

di chilometri! In notazione esponenziale: $9,46 \cdot 10^{12}$ km. La bellezza di 63.240 volte la distanza Terra-Sole.

Oggi, dunque, l'astronomo è in definitiva un *archeologo del cielo*: osserva, scopre, studia e cataloga corpi celesti distanti nello spazio e lontani nel tempo. Ne consegue che non esiste un tempo "assoluto", uguale per ogni osservatore nell'universo, ma soltanto un tempo "proprio" di chi emette e di chi riceve: questi tempi non sono mai coincidenti.

La ragione è che la velocità della luce, pur essendo elevatissima (300.000 Km/s), è comunque finita.

Abbiamo anticipato dei dati odierni. Chiediamoci se questi dati e considerazioni erano ipotizzabili anche in passato.

Le percezioni delle distanze, delle dimensioni, le osservazioni, le scoperte, erano alla portata dei nostri antenati? Assolutamente no.

1.3 IL CIELO A OCCHIO NUDO

Il cielo degli antichi era osservato a occhio "nudo", mischiato alla vita quotidiana e alle sue varie preoccupazioni: elementi di magia, fideismo, irrazionalità, si intersecavano e sovrapponevano con osservazioni e dati nel tentativo di capire il cosmo.

Dobbiamo fare un salto temporale enorme, fino a poche migliaia di anni fa, quando le osservazioni dirette degli astri e dei loro moti, le raffigurazioni e registrazioni si succedono e inizia quella che chiamiamo la *organizzazione dei dati osservativi* a occhio nudo.

È il primo *embrione di ricerca scientifica*, mescolato a misticismo, paure, simbologie, divinità benevole e non. I "capi", nella struttura gerarchica di gruppo e di comando, amministrano le

rivelazioni delle conoscenze che si vanno acquisendo. La *gestione della speranza*, da leggersi negli astri, doveva primariamente mantenere coeso, euforico, guerriero, il gruppo e la tribù.

I primi reperti di cultura astronomica sono databili a 15-20.000 anni fa.

- RegISTRAZIONI di fenomeni astronomici su frammenti d'osso.
- Incisioni su pietra.
- Pitture rupestri.

La fine del nomadismo, la stabilizzazione delle migrazioni, la stanzialità dei popoli e la necessità di sviluppare l'agricoltura e la navigazione comportarono la massima attenzione ai fenomeni del cielo. A quel tempo erano già noti alcuni dei vari fenomeni celesti, molti dei quali usuali e altri a volte terrificanti: la diversa visibilità della Luna e le sue eclissi, le eclissi di Sole, gli strani moti di alcuni pianeti (come il moto retrogrado di Marte), la caduta a terra di sassi più o meno grandi dallo spazio.

1.4 BABILONESI ED EGIZI

Iniziamo da circa 4.000 anni fa.



Fig. 1.5 – La Mesopotamia



Fig. 1.6 – Astronomi babilonesi

Nella tavoletta d'argilla del primo millennio a.C., conservata al British Museum di Londra, si nota nell'originale (a sinistra) il centro del mondo, Babilonia. A fianco, poniamo l'immagine ricostruita che descrive la prima cosmologia pervenutaci.



Fig. 1.7 – Tavoletta babilonese



Fig. 1.8 – Ricostruzione della tavoletta

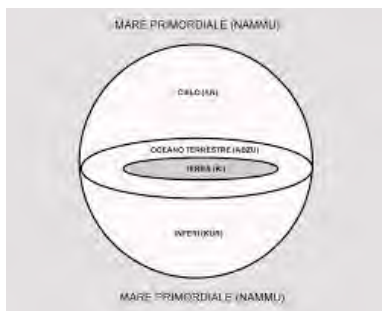


Fig. 1.9 – Una prima idea del mondo (Sumeri)



fig1.10 immagine più esplicita

Al centro dell'universo, chiuso e limitato, è posta la Terra circondata dal mare. Sopra, aria e cielo, insieme agli astri e ai fenomeni meteorologici. Sotto la Terra, l'inferno (senza dettagliarne la tipologia). Tutto l'universo è contenuto in un