

Carlo Gualdi e Mauro Savrié

# GUIDA ALL'ASTROFISICA

Dalle onde elettromagnetiche  
alle onde gravitazionali

Saggi



*Saggi*

Carlo Gualdi e Mauro Savié

# Guida all'astrofisica

Dalle onde elettromagnetiche  
alle onde gravitazionali

Prefazione di Mario Calvetti



L'Editore è a disposizione di tutti gli aventi diritto  
con i quali non è stato possibile comunicare.

Copyright © 2023, Biblioteca Clueb  
ISBN 978-88-31365-59-8

Biblioteca Clueb  
via Marsala, 31 – 40126 Bologna  
[www.clueb.it](http://www.clueb.it) – [www.bibliotecaclueb.it](http://www.bibliotecaclueb.it)

Per informazioni sul copyright e il catalogo è possibile consultare il sito della  
casa editrice **[www.clueb.it](http://www.clueb.it)**.



# Indice

Prefazione.....	7
Premessa.....	9
Introduzione.....	13
1. Il cielo stellato .....	15
2. Oltre la Via Lattea.....	21
3. La distanza delle stelle .....	23
4. Energia dalle stelle .....	27
5. Luce e radiazione elettromagnetica.....	31
6. Newton e lo spettro elettromagnetico.....	35
7. Evoluzione stellare .....	45
8. Le distanze e le masse delle stelle lontane.....	51
9. Le galassie e l'universo.....	59
10. L'effetto Doppler .....	65
11. La radiazione cosmica di fondo.....	69
12. Due problemi insoluti.....	71
13. La relatività.....	77
14. Il naviglio di Galileo .....	79
15. La relatività ristretta.....	89
16. La relatività generale e le onde gravitazionali.....	99
17. A proposito del principio di equivalenza.....	109
18. Le equazioni di Einstein .....	119
19. Verifiche sperimentali della relatività generale .....	123
Ringraziamenti .....	137



# Prefazione

Questo è un libro dedicato a tutti gli appassionati di scienza. Gli autori portano il lettore per mano ad alzare lo sguardo verso il cielo e a visitare lo spazio attorno a noi fino ai confini dell'Universo.

Il lettore ha la possibilità di capire, passo dopo passo, il procedimento logico attraverso il quale si è formata la moderna cosmologia.

Il libro parla di fisica in modo comprensibile ma non superficiale, perché il lettore sia messo in grado di capire come le leggi fisiche, applicate ai fenomeni celesti, conducano alla moderna visione del mondo che l'intelletto umano si è costruito applicando il metodo scientifico.

Si scoprono così aspetti affascinanti della natura, come le onde luminose, i buchi neri, la massa e l'energia oscura, le onde gravitazionali, la relatività del tempo, le supernove, la gravitazione di Newton e la relatività di Galileo e Einstein, una meraviglia dopo l'altra.

Il libro è scritto bene, farcito di storie, citazioni e curiosità che ne rendono la lettura piacevole.

Il lettore comprende quanto la visione del mondo macroscopico e microscopico, intimamente legati, sia meravigliosa, più di quanto si possa immaginare semplicemente guardando il cielo una sera d'estate.

Mario Calvetti





# Premessa

L'idea di questo libro ha radici lontane nel tempo e nasce da una proposta che feci a Carlo Gualdi, già mio professore di Astrofisica teorica poi collega, ma soprattutto grande amico, di trarre un libro dalle dispense del bellissimo corso di Astrofisica che ha tenuto presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Ferrara per molti anni.

Il progetto, purtroppo, incontrò sempre una certa resistenza da parte sua, dato che, nella sua immotivata modestia, lo giudicava non sufficientemente utile e innovativo rispetto alla bibliografia già esistente. Ci volle un evento straordinario come quello della rivelazione delle onde gravitazionali, ufficializzato nel 2016 e che la comunità degli astrofisici aspettava da cento anni circa, per convincerlo che ne sarebbe valsa la pena. Egli preferì tuttavia optare per un libro a carattere divulgativo, quindi per i non addetti ai lavori, per raccontare a tutti, a grandi linee e in modo semplice e intuitivo, la straordinaria avventura del Cosmo e della gravitazione da Newton a Einstein.

In questi giorni ho riletto *La scimmia nuda*, un libro del 1967 scritto da Desmond Morris, ancora oggi piacevolissimo, soprattutto per chi, come me, studente liceale, lo lesse in quegli anni, e vorrei riprendere alcune considerazioni dell'autore che mi sembra si adattino perfettamente anche a questo scritto: «Questo libro è stato inteso per un pubblico generico e pertanto nel testo non sono citate le fonti delle informazioni. Citarle avrebbe interrotto il flusso del discorso e ciò sarebbe stato giustificato solo in un'opera esclusivamente tecnica.

Nella compilazione di questo volume ho fatto riferimento a molti lavori, a libri brillanti e originali e non sarebbe giusto presentarlo senza riconoscerne l'aiuto prezioso. Per questo, alla fine del libro, ho incluso un'appendice riguardante gli argomenti trattati con una bibliografia opportunamente selezionata».



*A Lapo e Viola*  
*A Michele e Caterina*  
*A Roberta*



# Introduzione

Le leggi della Natura sono il governo fantasma della Terra.

Alfred Armand Montapert

**D**a sempre l'uomo è stato attratto dall'osservazione del cielo, cercando di svelarne i segreti, incuriosito da quei punti luminosi e da quei deboli dischi variamente colorati che chiamiamo stelle e pianeti. Mentre le prime brillano di luce propria, i pianeti riflettono quella che ricevono dal Sole. Guardando il cielo stellato, se ne trae la confortante impressione che esso sia immutabile nel tempo, che i pianeti e le stelle siano sempre stati dove possiamo ritrovarli durante le notti serene e che saranno sempre gli stessi in eterno. Questa è la certezza, per altro fallace, che ha accompagnato l'uomo nel corso della storia e che gli ha permesso di organizzare la propria vita anche in base al comportamento degli astri. Nel corso dei millenni, egli ha usato la costanza del moto periodico apparente delle stelle e dei pianeti per misurare il tempo e regolare la propria quotidianità, per organizzare le semine e i raccolti o per orientarsi nei viaggi. La stupefacente bellezza e grandiosità del firmamento, insieme con la magia dei suoi fenomeni visibili, hanno forse contribuito, nel corso della storia, alla convinzione dell'esistenza di entità superiori in grado di concepire e realizzare questo straordinario Universo. Purtroppo l'interesse per l'osservazione del cielo notturno è molto calata, probabilmente per almeno due motivi: l'inquinamento luminoso della luce artificiale diffusa che riduce la possibilità di percepire la bellezza e le tante attrazioni oggi disponibili che molto distraggono le persone dalle meraviglie della Natura. Questo libro è inteso per quanti ancora subiscono il fascino dell'Universo, spinti dalla curiosità di conoscere la realtà in cui viviamo e di capire se possano esistere altri esseri intelligenti che lo popolano.



# 1. Il cielo stellato

Guardai in alto, e vidi le sue spalle  
Vestite già de' raggi del pianeta  
Che dritto mena altrui per ogni calle  
Dante, *Commedia, Inferno*, I, vv. 16-18

**F**ino agli anni '30 del secolo scorso, le informazioni che potevamo carpire all'Universo erano fornite dalla sola luce visibile, cioè da quei segnali che il nostro occhio può raccogliere anche aiutandosi con appositi strumenti. Tra questi, i telescopi che, dall'introduzione del cannocchiale ad opera di Galileo Galilei (1564-1642), avevano subito un rapido sviluppo tecnologico, diventando sempre più potenti e sempre più utilizzati nell'osservazione del cielo.

A chi ebbe la straordinaria opportunità di vedere improvvisamente nascere una nuova e brillantissima stella in Cina nel 185 d.C. e nel 1006 d.C. e poi anche in Arabia nel 1054, l'evento dovette apparire non solo straordinariamente spettacolare e inatteso ma anche causa di primordiali paure.

Quella del 1054, in particolar modo, i cui resti sono oggi identificati nella Nebulosa del Granchio (fig. 1a-b) e che fu tanto imponente da rimanere visibile ad occhio nudo

**Fig. 1a-b** - La Nebulosa del Granchio (M1 - NGC 1952).

