

A02

---

73



Luigi Sertorio  
Erika Renda

# Orbite

(e vita nell'universo)



Copyright © MMXII  
ARACNE editrice S.r.l.

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

via Raffaele Garofalo, 133/A-B  
00173 Roma  
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-5664-6

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento anche parziale,  
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie  
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: novembre 2012

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*



## Ringraziamenti

I capitoli 13 e 14 sono l'estensione di un seminario tenuto all'Osservatorio Astronomico di Torino su invito di Ester Antonucci, che ha incoraggiato il progetto del libro. Ringraziamo Cesare Rossetti per vari commenti critici e per i calcoli dell'anello newtoniano. Guido Cosenza e Marta Restignoli hanno contribuito a perfezionare il flusso logico del testo. Susanna Terracini ci ha gentilmente assistito nella selezione delle figure relative alle orbite newtoniane tridimensionali scoperte con i metodi variazionali.





# Indice

- 13 *Prefazione*
- 15 *Introduzione*

## PARTE I **Gravitazione newtoniana**

- 25 **Capitolo I**  
*Cosa è un anno?*
- 29 **Capitolo II**  
*Considerazioni generali sul modello gravitazionale newtoniano puntiforme*
- 35 **Capitolo III**  
*Sistema a due corpi*  
  
3.1. Calcolo dell'orbita, 36 – 3.2. Andamento delle orbite a  $L^2$  fisso e  $E$  variabile, oppure  $E$  fisso e  $L^2$  variabile, 43 – 3.3. Orbite ellittiche con periodo  $\tau$  costante, 46 – 3.4. Conclusioni, 49
- 51 **Capitolo IV**  
*Riassunto sulla nomenclatura del sistema a  $N$  corpi*

10   Orbite (e vita nell'universo)

55   **Capitolo V**  
*Alcune configurazioni periodiche*

5.1. Classificazione delle configurazioni, 56 – 5.2. Soluzioni con topologia riducibile al cerchio, 60 – 5.3. La soluzione a otto del problema a tre corpi piano e con tre masse uguali, 79 – 5.4. Conclusione, 84

89   **Capitolo VI**  
*Brevi cenni al sistema a tre corpi ridotto*

99   **Capitolo VII**  
*Punti lagrangiani*

7.1. Due masse in orbita circolare, 99 – 7.2. Tre masse in orbita circolare, 104

115  **Capitolo VIII**  
*Curve isoterme*

8.1. Sistema stella–pianeta, 115 – 8.2. Sistema stella binaria – pianeta, 121

PARTE II  
**Orbite e biosfera**

133  **Capitolo IX**  
*Piccolo e grande. Elementare e composto*

9.1. Dal macroscopico al microscopico, 133 – 9.2. *Scattering*, 139 – 9.3. Stati legati e stati di *scattering*, 146 – 9.4. Le piattaforme temporali, 149 – 9.5. Le sorgenti di energia nell'era stellare, 150 – 9.6. Schema di una stella, 151 – 9.7. Schema di un pianeta, 152 – 9.8. Trasporto di molecole e trasporto di fotoni, 152

- 155 **Capitolo X**  
*Gravitazione, meccanica quantistica, produzione di entropia*
- 10.1. Premessa, 155 – 10.2. Termodinamica, 157 – 10.3. Il concetto di produzione di entropia in fisica quantistica, 161 – 10.4. Gravitazione newtoniana. Orbite e contenitore, 164 – 10.5. Produzione di entropia e universo aperto, 170
- 171 **Capitolo XI**  
*I transienti di eiezione e di caduta*
- 11.1. Premessa. Causalità e irreversibilità, 172 – 11.2. La nicchia della vita fotosintetica, 179 – 11.3. Eiezione, 182 – 11.4. L'entropia nel transiente di eiezione, 189 – 11.5. Caduta di prima generazione, 191 – 11.6. Commenti sulla genetica stellare, 193 – 11.7. Conclusione, 194
- 197 **Capitolo XII**  
*La seconda generazione*
- 12.1. alcuni dati di riferimento, 197 – 12.2. I sistemi di seconda generazione, 201 – 12.3. Il sistema a due corpi, 205 – 12.4. Stelle singole e stelle doppie, 210 – 12.5. Accrezione di massa sulla morfologia a otto, 213 – 12.6. alcune osservazioni sull'accrezione di *spin*, 214 – 12.7. Conclusione, 217
- 219 **Capitolo XIII**  
*Le leggi allometriche inorganiche e organiche*
- 13.1. Classificazione dei sistemi dinamici, 219 – 13.2. Metabolismo e cicli in generale, 227 – 13.3. Le leggi allometriche. Definizione, 228 – 13.4. metabolismo stellare, 229 – 13.5. Metabolismo organico, 235 – 13.6. Conclusione, 237

12   Orbite (e vita nell'universo)

243   **Capitolo XIV**  
*Una legge allometrica stella–pianeta*

14.1. Premessa, 243 – 14.2. Richiami sulle distribuzioni statistiche, 245 – 14.3. Richiami sulla produzione di entropia per stelle e pianeti, 252 – 14.4. Premessa sulle energie *light* e *dark*, 256 – 14.5. La coppia stella–biosfera nel caso di orbita circolare, 256 – Nota 1. Normalizzazioni, 260 – Nota 2. Orbita eccentrica, 265 – Nota 3. Interazione fotone–elettrone e fotone–molecola, 267 – Nota 4. Albedo e *greenhouse*, 271

275   **Capitolo XV**  
*Conclusioni*

15.1. Principi generali, 275 – 15.2. Selezione  $T$ ,  $P$ ,  $\vec{g}$ , 276 – 15.3. Osservabilità di biosfere extrasolari, 280 – 11.4. L'entropia nel transiente di eiezione, 187 – 11.5. Caduta di prima generazione, 189 – 11.6. Commenti sulla genetica stellare, 191 – 11.7. Conclusione, 192

APPENDICI

287   **Appendice I**  
*Teorema del viriale*

291   **Appendice II**  
*Termodinamica e tempo*

299   **Appendice III**  
*Il fotone messaggero*

303   **Appendice IV**  
*Numeri utili*

305   **Bibliografia**

309   **Indice analitico**

## Prefazione

Nella tradizione accademica lo studio dell'atmosfera, degli oceani e della crosta terrestre sono discipline disgiunte, corsi universitari diversi, libri diversi; lo studio della moltitudine delle specie viventi è oggetto di ricerca ancora più separata rispetto alle tre discipline menzionate. Infine il comportamento dinamico della specie umana è stato idealizzato in vari modi, si va dal privilegio divino alle leggi astratte dell'economia, scienza dotata di verità logica propria. Con la scoperta della radiazione di fondo e con la ricerca nel campo della fisica microscopica, la fisica delle alte energie, che negli ultimi anni è andata oltre il dominio molecolare, atomico, nucleare ed è penetrata nell'esplorazione di strutture che non esistono nell'universo attuale ma che appartennero alla storia cosmologica dei primi istanti, si sta formando l'esigenza di collocare i concetti di *sfera inorganica*, di *biosfera*, e soprattutto il concetto di interazione fra queste due "sfere", la dinamica della *ecosfera*, nel contesto della storia cosmologica. Si tratta di sistemi complessi descrivibili con leggi non lineari che non contengono le semplificazioni espresse dalla proprietà di analogia, ma che introducono nuove idee rigorose, come biforcazione e caos. Se si perde il concetto di analogia nascono domande nuove e molto profonde. Il sistema solare è tipico o unico? La vita terrestre è tipica o unica? L'astrobiologia è oramai un filone di ricerca ambizioso, impegnativo nei finanziamenti, e con l'esigenza urgente di fondazioni critiche e metodologiche. I problemi sono enormi. Questo libro è il tentativo di insegnare un inquadramento logico in cui posizionare le domande che si pongono in continuazione.

La prima metà del libro è dedicata alle morfologie delle orbite pe-

riodiche newtoniane a  $N$  corpi, nessuna delle quali assomiglia al sistema solare. Questo è un dilemma cruciale, superabile solo con l'accettazione del concetto di sistema etegonico, combinazione di gravitazione e irreversibilità termodinamica. Il problema a tre corpi ridotto, o di Poincaré, che è importantissimo per capire il concetto di dipendenza dalle condizioni iniziali dei sistemi non lineari, è anche il punto di partenza per i problemi di controllo della navigazione spaziale. Ricerche recentissime della NASA relative alla scoperta di un pianeta legato a due stelle, dovranno confrontarsi con lo studio dei luoghi dei punti isotermi.

Nella seconda metà si affronta il passo più nuovo e difficile, la discussione del binomio stella–pianeta come problema di accoppiamento fra leggi allometriche stellari e leggi allometriche organiche. Di qui si arriva infine a discutere il problema della osservabilità di una biosfera definita nel senso più generale possibile.

Questo volume è la continuazione di *Ecofisica* (L. SERTORIO, E. RENDA, Bollati Boringhieri, Torino 2009) e anticipa altri due volumi dedicati rispettivamente all'interazione biosfera–sfera inorganica, e allo studio dell'interazione fra specie umana e biosfera.

Il taglio del libro è quello di un corso universitario del secondo biennio. Vero è che l'astrobiologia, frutto della ricerca nata dalle osservazioni spaziali, è più di casa in USA che in Italia. Ma questo dovrebbe essere un motivo in più per diffondere questa ricerca nella nostra Università.

## Introduzione

### Interazioni fondamentali e sistemi complessi

Il pianeta Terra ha costituito da sempre la piattaforma che l'uomo ha avuto a disposizione per sviluppare la propria conoscenza scientifica. Le condizioni fisiche della superficie terrestre sono peculiari e si può dire che sono una rarità nel contesto cosmologico. Ma, inevitabilmente, è da questo punto di partenza che sono state realizzate le prime osservazioni astronomiche e, partendo dalla misura locale del campo di gravità terrestre, è nata la formulazione generale della gravitazione newtoniana. Poi, indipendentemente, è nata la termodinamica, e infine la meccanica quantistica. In laboratori terrestri si realizzano artificialmente le condizioni di estrema densità di energia, ottenute con processi di collisione, che sono necessarie per la ricerca delle leggi delle interazioni elementari.

Per oltre un secolo la teoria newtoniana dell'interazione gravitazionale è stata l'unica teoria deputata a legare i fenomeni terrestri con i fenomeni che avvengono dovunque ci sia massa, fornendo quindi una estrapolazione "universale" partendo dalla piattaforma della Terra. La parola universale usata per caratterizzare una legge fisica valida non solo in un esperimento terrestre ma dovunque, nello spazio e nel tempo, nasce proprio con la gravitazione newtoniana.

La proprietà di universalità di una legge fisica si traduce nella richiesta che le equazioni differenziali del moto siano invarianti per trasformazioni dello spazio-tempo. Storicamente sono state formulate le trasformazioni dello spazio-tempo di Galileo, poi di Lorentz, e relative equazioni fondamentali. Il panorama è sunteggiato nello schema di Figura 1.