

BUR

Roger Penrose

# LA MENTE NUOVA DELL' IMPERATORE

*La mente, i computer  
e le leggi della fisica*

SCIENZA



<i>Prefazione</i> di Martin Gardner	7
<i>Nota per il lettore</i>	11
<i>Ringraziamenti</i>	13
<i>Fonti delle illustrazioni</i>	17
Prologo	19
1. Un computer può avere una mente?	21
Introduzione 21 - Il test di Turing 24 - L'intelligenza artificiale 31 - Un approccio dell'IA al «piacere» e al «dolore» 35 - L'IA forte e la stanza cinese di Searle 39 - Hardware e software 48	
2. Algoritmi e macchine di Turing	56
Lo sfondo del concetto di algoritmo 56 - Il concetto di Turing 62 - Codificazione binaria di dati numerici 71 - La tesi di Church-Turing 77 - Numeri diversi dai numeri naturali 80 - La macchina di Turing universale 82 - L'insolubilità del problema di Hilbert 91 - Come sconfiggere un algoritmo 99 - Il calcolo di $\lambda$ di Church 102	
3. Matematica e realtà	109
Il paese di Tor'Bled-Nam 109 - Inumeri reali 116 - Quanti numeri reali ci sono? 119 - La «realtà» dei numeri reali 123 - I numeri complessi 125 - Costruzione dell'insieme di Mandelbrot 131 - I concetti matematici hanno una realtà platonica? 133	
4. Verità, dimostrazione e intuito	138
Il programma di Hilbert per la matematica 138 - Sistemi matematici formali 142 - Il teorema di Gödel 147 - Intuito matematico 150 - Platonismo o intuizionismo? 155 -	

Teoremi del tipo di Gödel derivanti dal risultato di Turing 160 - Insiemi ricorsivamente numerabili 163 - L'insieme di Mandelbrot è ricorsivo? 170 - Alcuni esempi di matematica non ricorsiva 176 - L'insieme di Mandelbrot è simile alla matematica non ricorsiva? 187 - La teoria della complessità 190 - Complessità e computabilità in cose fisiche 196

## 5. Il mondo classico

198

Lo status della teoria fisica 198 - La geometria euclidea 206 - La dinamica di Galileo e di Newton 214 - Il mondo meccanicistico della dinamica newtoniana 221 - La vita è computabile nel mondo delle palle da biliardo? 224 - La meccanica hamiltoniana 229 - Lo spazio delle fasi 232 - La teoria elettromagnetica di Maxwell 242 - La computabilità e l'equazione d'onda 246 - Le equazioni del moto di Lorentz; particelle prossime alla velocità della luce 248 - La relatività ristretta di Einstein e Poincaré 251 - La relatività generale di Einstein 264 - Causalità relativistica e determinismo 276 - La computabilità nella fisica classica: a che punto siamo? 281 - Massa, materia e realtà 283

## 6. Magia quantistica e mistero quantistico

289

I filosofi hanno bisogno della teoria quantistica? 289 - Problemi nella teoria classica 293 - Gli inizi della teoria quantistica 295 - L'esperienza delle due fenditure 298 - Ampiezze di probabilità 304 - Lo stato quantico di una particella 312 - Il principio di indeterminazione 319 - Le procedure di evoluzione  $U$  e  $R$  312 - Una particella può essere in due luoghi simultaneamente? 324 - Lo spazio di Hilbert 331 - Misurazioni 335 - Lo spin e la sfera degli stati di Reimann 339 - Obiettività e misurabilità di stati quantici 345 - La copiatura di uno stato quantico 347 - Lo spin del fotone 348 - Oggetti con grande spin 351 - Sistemi a molte particelle 354 - Il «paradosso» di Einstein, Podolskij e Rosen 360 - Esperimenti con fotoni: un problema per la relatività? 368 - L'equazione di Schrödinger; l'equazione di Dirac 371 - La teoria quantistica dei campi 373 - Il gatto di Schrödinger 374 - Vari atteggiamenti nella teoria quantistica esistente 378 - Dove ci lascia tutto questo? 382

## 7. La cosmologia e la freccia del tempo

386

Il flusso del tempo 386 - L'inesorabile aumento dell'entropia 389 - Che cos'è l'entropia? 395 - La seconda legge in azione 401 - L'origine della bassa entropia nell'universo 406 - La cosmologia e il big bang 412 - Il globo di fuoco primordiale 418 - Il big bang spiega la seconda legge? 420 - I buchi neri 422 - La struttura delle singolarità dello spazio-tempo 429 - Quanto speciale il big bang? 434

8. Alla ricerca della gravità quantistica 443

Perchè la gravità quantistica? 443 - Che cosa si cela dietro l'ipotesi della curvatura di Weyl? 446 - L'asimmetria temporale nella riduzione del vettore di stato 451 - La scatola di Hawking: una connessione con l'ipotesi della curvatura di Weyl? 457 - Quand'è che si riduce il vettore di stato? 467

9. Cervelli reali e modelli di cervello 474

Com'è il cervello in realtà? 474 - Qual è la sede della coscienza? 483 - Esperimenti sul cervello diviso 486 - La visione cieca 489 - L'elaborazione dell'informazione nella corteccia visiva 490 - Come funzionano i segnali nervosi? 492 - Simulazione al computer 496 - La plasticità del cervello 501 - Computer paralleli e «unità» della coscienza 503 - C'è un ruolo per la meccanica quantistica nell'attività cerebrale? 505 - Computer quantistici 507 - Al di là della teoria quantistica? 509

10. Dov'è la fisica della mente? 512

A che cosa serve la mente? 512 - Che cosa fa in realtà la coscienza? 517 - Selezione naturale di algoritmi? 523 - La natura non algoritmica dell'intuito matematico 526 - Ispirazione, intuito e originalità 528 - Carattere non verbale del pensiero 535 - Coscienza animale? 537 - Il contatto col mondo platonico 539 - Una concezione della realtà fisica 542 - Determinismo e determinismo forte 544 - Il principio antropico 546 - Tassellature e quasi-cristalli 548 - Possibile pertinenza per la plasticità cerebrale 552 - I ritardi temporali della coscienza 554 - Lo strano ruolo del tempo nella percezione cosciente 558 - Conclusione: con gli occhi di un bambino 564

Epilogo 567

*Note* 569

*Referenze bibliografiche* 593

*Indice analitico* 605