

Camil Demetrescu
Irene Finocchi
Giuseppe F. Italiano

Algoritmi e strutture dati

Seconda edizione

McGraw-Hill

Milano • New York • San Francisco • Washington D.C. • Auckland
Brisbane • Lisbona • Londra • Manila • Mexico City • Montreal
New Delhi • San Juan • Singapore • Sydney • Taipei • Toronto

Prefazione

xvii

1	Un'introduzione informale agli algoritmi	1
1.1	I numeri di Fibonacci	2
1.2	Un algoritmo numerico	4
1.3	Un algoritmo ricorsivo	6
1.4	Un algoritmo iterativo	9
1.5	Occupazione di memoria	10
1.6	Notazione asintotica	12
1.7	Un algoritmo basato su potenze ricorsive	13
1.8	Esercizi	19
1.9	Problemi	19
1.10	Sommario	20
1.11	Note bibliografiche	21
2	Modelli di calcolo e metodologie di analisi	23
2.1	Modelli di calcolo	23
2.1.1	Criteri di costo uniforme e logaritmico	24
2.2	La notazione asintotica O , Ω , Θ	25
2.3	Delimitazioni inferiori e superiori	27
2.4	Metodi di analisi	29
2.4.1	Caso peggiore, caso migliore e caso medio	30
2.4.2	Analisi della ricerca sequenziale	31
2.4.3	Un algoritmo più veloce: la ricerca binaria	34
2.5	Analisi di algoritmi ricorsivi	36
2.5.1	Metodo dell'iterazione	37
2.5.2	Metodo della sostituzione	38
2.5.3	Il teorema fondamentale delle ricorrenze	40
2.5.4	Altre tecniche utili	44
2.6	Analisi di algoritmi randomizzati	45
2.7	* Analisi ammortizzata	47
2.7.1	Il metodo dei crediti	50
2.7.2	Il metodo del potenziale	51
2.8	* Modelli evoluti: la gerarchia di memoria	53
2.9	Esercizi	55
2.10	Problemi	57

2.11	Sommario	59
2.12	Note bibliografiche	60
3	Strutture dati elementari	63
3.1	Tecniche per rappresentare collezioni di oggetti	65
3.1.1	Strutture indicizzate: array	65
3.1.2	Strutture collegate: record e puntatori	68
3.2	Pile e code	70
3.3	Alberi	72
3.3.1	Rappresentazioni indicizzate	74
3.3.2	Rappresentazioni collegate	75
3.3.3	Visite di alberi	77
3.4	Esercizi	80
3.5	Problemi	80
3.6	Sommario	82
3.7	Note bibliografiche	83
4	Ordinamento	85
4.1	Una delimitazione inferiore al numero di confronti	87
4.1.1	Alberi di decisione	87
4.1.2	La delimitazione inferiore nel caso peggiore	89
4.2	Ordinare in tempo quadratico	90
4.2.1	Ordinamenti incrementali	90
4.2.2	Ordinamento a bolle	93
4.3	Heapsort	95
4.3.1	Struttura dati heap	95
4.3.2	Ordinare <i>in loco</i> mediante heap	100
4.4	Mergesort	101
4.5	Quicksort	104
4.5.1	Analisi di Quicksort	105
4.6	Bucketsort	108
4.7	Radixsort	111
4.8	Esercizi	114
4.9	Problemi	115
4.10	Sommario	118
4.11	Note bibliografiche	118
5	Selezione e statistiche di ordine	121
5.1	Selezione per piccoli valori di k	122
5.1.1	Ricerca del secondo minimo	123
5.1.2	L'algoritmo Heapsselect	125
5.2	Selezione randomizzata	126
5.3	Selezione deterministica	130
5.3.1	Mediano dei mediani	131
5.4	Esercizi	135

5.5	Problemi	137
5.6	Sommario	138
5.7	Note bibliografiche	139
6	Alberi di ricerca	141
6.1	Alberi binari di ricerca	142
6.2	Alberi AVL	147
6.2.1	Altezza di un albero AVL	148
6.2.2	Ribilanciamento tramite rotazioni	150
6.2.3	Modifiche del dizionario	151
6.3	* Alberi auto-aggiustanti	155
6.3.1	L'operazione splay	155
6.3.2	Analisi basata sul potenziale	157
6.4	Alberi 2-3	161
6.4.1	Fusioni e separazioni di nodi	162
6.5	B-alberi	165
6.5.1	Definizioni e proprietà	167
6.5.2	Inserimenti e cancellazioni di chiavi	168
6.6	Alberi 2-3-4 e alberi rosso-neri	171
6.7	Esercizi	174
6.8	Problemi	175
6.9	Sommario	177
6.10	Note bibliografiche	178
7	Tabelle hash	179
7.1	Tabelle ad accesso diretto	179
7.2	Tabelle hash	180
7.2.1	Definizione di funzioni hash	183
7.3	Risoluzione delle collisioni	185
7.3.1	Liste di collisione	185
7.3.2	Indirizzamento aperto	187
7.4	Esercizi	193
7.5	Problemi	194
7.6	Sommario	195
7.7	Note bibliografiche	195
8	Code con priorità	197
8.1	<i>d</i> -heap	199
8.2	Heap binomiali	203
8.3	* Heap di Fibonacci	207
8.3.1	Heap binomiali rilassati	207
8.3.2	Heap di Fibonacci	211
8.4	Esercizi	217
8.5	Problemi	218
8.6	Sommario	219
8.7	Note bibliografiche	220

9	Union-find	223
9.1	Approcci elementari al problema union-find	224
9.1.1	Algoritmi di tipo QuickFind	225
9.1.2	Algoritmi di tipo QuickUnion	227
9.2	Euristiche di bilanciamento nell'operazione union	229
9.2.1	Bilanciamento per algoritmi di tipo QuickFind	229
9.2.2	Bilanciamento per algoritmi di tipo QuickUnion	232
9.3	Euristiche di compressione nell'operazione find	237
9.4	* Union-find con bilanciamento e compressione	238
9.4.1	Proprietà del rank	239
9.4.2	Un'analisi preliminare	239
9.4.3	Un'analisi più raffinata	240
9.5	Esercizi	245
9.6	Problemi	246
9.7	Sommario	247
9.8	Note bibliografiche	247
10	Tecniche algoritmiche	249
10.1	Tecnica <i>divide et impera</i>	250
10.1.1	Moltiplicazione di interi di grandezza arbitraria	251
10.1.2	Moltiplicazione tra matrici	253
10.2	Programmazione dinamica	254
10.2.1	Sottovettore di valore massimo	256
10.2.2	Cammini di valore minimo su matrici	258
10.2.3	Associatività del prodotto tra matrici	261
10.3	Tecnica golosa (o <i>greedy</i>)	264
10.3.1	Il distributore automatico di resto	266
10.3.2	Ricoprimento di punti con intervalli	268
10.3.3	Problemi di sequenziamento	270
10.4	Esercizi	273
10.5	Problemi	274
10.6	Sommario	277
10.7	Note bibliografiche	277
11	Stringhe	279
11.1	Definizioni preliminari	280
11.2	La distanza tra due stringhe	282
11.3	Il problema della massima sottosequenza comune	288
11.4	Il problema dello string matching	292
11.5	Automi a stati finiti	295
11.6	Automi a stati finiti e stringhe	296
11.6.1	Automi e riconoscimento di pattern	297
11.6.2	Automi e riconoscimento di sottosequenze	299
11.6.3	Automi e string matching	301
11.7	* Algoritmo di Knuth, Morris e Pratt	303
11.8	Esercizi	310

11.9 Problemi	311
11.10 Sommario	312
11.11 Note bibliografiche	313
12 Grafi e visite di grafi	315
12.1 Definizioni preliminari sui grafi	317
12.2 Strutture dati per rappresentare grafi	320
12.3 Visite di grafi	326
12.3.1 Visita in ampiezza	330
12.3.2 Visita in profondità	335
12.3.3 Visite in ampiezza ed in profondità su grafi orientati	339
12.4 Componenti connesse di un grafo non orientato	341
12.5 Componenti fortemente connesse di un grafo orientato	343
12.5.1 Un algoritmo semplice	345
12.5.2 Un algoritmo con tempo lineare	346
12.6 Esercizi	354
12.7 Problemi	355
12.8 Sommario	357
12.9 Note bibliografiche	357
13 Minimo albero ricoprente	361
13.1 Proprietà dei minimi alberi ricoprenti	363
13.2 Algoritmo di Kruskal	365
13.2.1 Implementazione mediante union-find	366
13.3 Algoritmo di Prim	368
13.3.1 Implementazione mediante code con priorità	371
13.4 Algoritmo di Borůvka	373
13.5 Esercizi	375
13.6 Problemi	376
13.7 Sommario	378
13.8 Note bibliografiche	378
14 Cammini minimi	381
14.1 Cammini minimi e distanze in un grafo	382
14.1.1 Cammini minimi in grafi con cicli	384
14.1.2 Distanza fra vertici in un grafo	384
14.1.3 Costruire cammini minimi a partire da distanze	385
14.1.4 Alberi di cammini minimi	386
14.1.5 Varianti del problema dei cammini minimi	387
14.2 La tecnica del rilassamento	387
14.3 Algoritmo di Bellman e Ford	388
14.4 Algoritmo per grafi diretti aciclici	390
14.4.1 Ordinamento topologico	390
14.4.2 Rilassamento in ordine topologico	392
14.5 Algoritmo di Dijkstra	393
14.5.1 Implementazione mediante code con priorità	395

14.6	Algoritmo di Floyd e Warshall	399
14.6.1	Algoritmo con spazio $O(n^3)$	400
14.6.2	Algoritmo con spazio $O(n^2)$	401
14.7	Esercizi	402
14.8	Problemi	403
14.9	Sommario	405
14.10	Note bibliografiche	407
15	Flusso	413
15.1	Reti di flusso	414
15.2	Metodo delle reti residue	416
15.2.1	Versione ricorsiva del metodo delle reti residue	419
15.3	Metodo dei cammini aumentanti	420
15.3.1	Cammini aumentanti arbitrari	421
15.3.2	Cammini aumentanti con massima capacità residua	422
15.4	Flusso massimo e taglio minimo	425
15.5	Esercizi	427
15.6	Problemi	427
15.7	Sommario	430
15.8	Note bibliografiche	431
16	Teoria della NP-completezza	433
16.1	Complessità di problemi decisionali	434
16.1.1	Decidere, ricercare, ottimizzare	434
16.1.2	Classi di complessità	435
16.2	La classe NP	438
16.2.1	Non determinismo	438
16.2.2	Uno sguardo alla gerarchia	440
16.3	Problemi NP-completi	441
16.3.1	Riducibilità polinomiale	442
16.3.2	Il teorema di Cook	443
16.3.3	Dimostrazioni di NP-completezza	445
16.4	Algoritmi di approssimazione	449
16.4.1	Copertura di vertici	451
16.4.2	Orientazione di grafi	452
16.5	Esercizi	453
16.6	Problemi	454
16.7	Sommario	455
16.8	Note bibliografiche	455
17	Appendice	457
17.1	Logaritmi e numero di Nepero	457
17.2	Serie e successioni	459
17.2.1	Serie aritmetica e geometrica	459
17.2.2	Calcolo di somme per integrazione	461
17.2.3	La successione di Fibonacci	463

17.3 Elementi di calcolo della probabilità	464
17.4 Elementi di calcolo combinatorio	467
17.5 Elementi di teoria dei grafi	468
17.5.1 Alberi	469
17.5.2 Grafi planari	470
17.6 Note bibliografiche	472