

Indice

1	Introduzione	1
2	Fondamenti di robotica mobile	7
2.1	Definizioni	7
2.1.1	Che cos'è un "robot"?.....	7
2.2	Applicazioni dei robot mobili.....	11
2.3	Storia della robotica mobile: le prime implementazioni	11
2.4	Storia della robotica mobile: i paradigmi di controllo	13
2.4.1	Cibernetica	13
2.4.2	Approccio funzionale.....	14
2.4.3	Robotica basata sul comportamento	17
2.5	Letture di approfondimento	21
3	L'hardware del robot	23
3.1	Introduzione	23
3.2	Sensori robotici	23
3.2.1	Caratteristiche dei sensori	24
3.2.2	Sensori di contatto	24
3.2.3	Sensori a infrarosso	25
3.2.4	Sensori sonar	26
3.2.5	Sensori laser per la distanza	29
3.2.6	Altri sensori basati sul tempo di volo	30
3.2.7	Altri sensori non di contatto	30
3.2.8	Sensori a bussola	31
3.2.9	Codificatori ad albero (shaft encoder)	33
3.2.10	Sensori di movimento	35
3.2.11	Sensori di visione e di elaborazione delle immagini	36
3.2.12	Fusione delle informazioni sensoriali	38
3.3	Attuatori dei robot	39
3.3.1	Attuatori elettrici, pneumatici e idraulici	39
3.3.2	Leghe a memoria di forma (shape memory alloy)	39
3.3.3	Movimento olonomo e anolonomo	40
3.4	Un esempio: il robot mobile FortyTwo	40
3.5	La necessità di interpretare i segnali dei sensori	42
3.6	Letture di approfondimento	42

XIV Indice

4 L'apprendimento robotico: dare senso alle informazioni sensoriali	43
4.1 Introduzione.....	43
4.1.1 Motivazioni.....	43
4.1.2 Apprendimento dei robot e apprendimento delle macchine.....	45
4.2 Metodi di apprendimento in dettaglio.....	49
4.2.1 L'apprendimento per rinforzo.....	49
4.2.2 Ragionamento probabilistico.....	54
4.2.3 Il connessionismo.....	56
4.3 Casi di studio sui robot che apprendono.....	70
4.3.1 Caso di studio 1 Alder: l'apprendimento auto-supervisionato di accoppiamenti sensore-motore.....	70
4.3.2 Caso di studio 2 Il robot FortyTwo: l'addestramento del robot.....	76
4.3.3 Caso di studio 3 FortyTwo: l'apprendimento delle rappresentazioni interne del mondo mediante mappe auto-organizzanti.....	83
4.4 Un robot che insegue l'obiettivo e aggira gli ostacoli.....	87
4.5 Letture di approfondimento.....	88
5 La navigazione	91
5.1 I principi della navigazione.....	91
5.1.1 I blocchi fondamentali.....	91
5.1.2 La struttura di riferimento per la navigazione.....	92
5.1.3 Navigazione basata su punti di riferimento "fisici": pilotaggio.....	94
5.1.4 Fondamenti della navigazione: sommario.....	96
5.2 Strategie fondamentali di navigazione degli animali e degli esseri umani.....	97
5.2.1 Pilotaggio (piloting).....	97
5.2.2 Integrazione del percorso (dead reckoning).....	101
5.2.3 Percorsi.....	102
5.2.4 La navigazione degli uccelli.....	102
5.2.5 La navigazione degli esseri umani.....	104
5.2.6 Considerazioni utili per la robotica.....	107
5.3 Navigazione robotica.....	107
5.3.1 Veicoli a guida controllata.....	107
5.3.2 Sistemi di navigazione basati sugli assi cartesiani di riferimento e sui processi di dead reckoning.....	108
5.3.3 Sistema di navigazione basato sulle informazioni provenienti dai punti di riferimento.....	109
5.3.4 Conclusioni.....	111
5.4 Casi di studio sulla navigazione robotica.....	112
5.4.1 Caso di studio 4 Grasmooor: la navigazione robotica ispirata alle formiche.....	112
5.4.2 Caso di studio 5 Alder: due esperimenti sull'applicazione dell'auto-organizzazione per la costruzione delle mappe.....	115
5.4.3 Caso di studio 6 FortyTwo: l'apprendimento di percorsi in ambienti non modificati.....	127

5.4.4	Caso di studio 7 FortyTwo: la localizzazione attraverso la formazione di ipotesi	136
5.4.5	Caso di studio 8 Reti con funzioni a basi radiali per la determinazione di scorciatoie	153
5.5	Letture di approfondimento	158
6	Il riconoscimento delle novità	161
6.1	Motivazioni	161
6.1.1	Motivazioni tecnologiche	161
6.1.2	Motivazioni industriali	162
6.1.3	Motivazioni scientifiche	163
6.2	Approcci alla percezione delle novità	163
6.2.1	Considerazioni generali	163
6.2.2	Percezione delle novità in specifiche aree di applicazione	164
6.2.3	Riconoscimento generale delle novità	164
6.3	Caso di studio sul riconoscimento delle novità	165
6.3.1	Caso di studio 9 Riconoscimento di caratteristiche nuove attraverso modelli autonomi di apprendimento	165
6.4	Conclusioni	174
6.4.1	Perché rilevare le novità?	174
6.4.2	Le scoperte nel caso di studio 9	175
6.4.3	Sviluppi futuri	175
6.5	Letture di approfondimento	176
7	La simulazione: modellazione dell'interazione robot-ambiente	177
7.1	Motivazioni	177
7.2	Fondamenti della simulazione tramite computer	178
7.2.1	I modelli	178
7.2.2	Verifica, validazione, conferma e altri problemi	179
7.2.3	Esempio: il simulatore del robot Nomad	180
7.3	Le alternative ai modelli numerici	183
7.3.1	Esempio: inseguimento di un muro nel mondo reale	183
7.4	Simulazione dell'interazione tra robot e ambiente	185
7.4.1	Caso di studio 10 FortyTwo: il modello di apprendimento autonomo	185
7.4.2	Procedura sperimentale	185
7.4.3	Risultati	187
7.4.4	Riassunto e conclusioni	190
7.5	Letture di approfondimento	191
8	L'analisi del comportamento di un robot	193
8.1	Gli obiettivi	193
8.2	Analisi statistica del comportamento di un robot	195
8.2.1	Distribuzione normale	195
8.2.2	Distribuzione binomiale	198
8.2.3	Confronto tra le medie di due distribuzioni normali (T-Test)	200
8.2.4	Analisi dei dati categorici	201

XVI Indice

8.3	Casi di studio di analisi e valutazione delle prestazioni	207
8.3.1	Caso di studio 11 Un paragone quantitativo dei sistemi per la costruzione delle mappe	207
8.3.2	Caso di studio 12 Stima e valutazione di un sistema per l'apprendimento di percorsi	218
8.3.3	Caso di studio 13 Valutazione di un sistema di localizzazione del robot	224
8.4	Conclusioni	238
8.5	Letture di approfondimento	239
9	Il futuro della robotica	241
9.1	I risultati	241
9.2	Le ragioni del successo	242
9.3	Sfide	243
9.3.1	Sfide tecnologiche	243
9.3.2	Sfide nel campo del controllo	243
9.3.3	Sfide metodologiche	244
9.4	Il principio	245
9.5	Letture di approfondimento	245
	Appendice Soluzioni degli esercizi	247
	Indice degli esercizi e dei casi di studio.....	255
	Bibliografia.....	257
	Indice analitico.....	265