

Introduzione alla robotica

Nel corso di questo libro costruiremo un robot e creeremo per lui programmi in grado di fornirgli comportamenti che lo facciano sembrare intelligente e in grado di prendere decisioni. Scriveremo tutto il codice necessario per utilizzare i sensori che gli consentiranno di osservare l'ambiente circostante e realizzeremo esempi realistici di aspetti avanzati, come la visione, il riconoscimento vocale e la conversazione.

Vedrete come anche semplici tecniche costruttive, se combinate con un po' di codice, possono dare come risultato una macchina che si comporterà come una sorta di animale domestico. Imparerete anche a eseguire il debug del codice quando le cose non vanno per il verso giusto, cosa che accadrà sicuramente. Scoprirete come fornire al robot dei modi per indicarvi i problemi che incontra e come selezionare il comportamento che vorreste dimostrare. Gli collegheremo un joypad, lo doteremo del controllo vocale e infine vedremo come pianificare un nuovo robot.

Ma prima di iniziare a costruire un robot, vale la pena dedicare un po' di tempo a capire che cos'è un robot. Possiamo esplorare alcuni tipi di robot, insieme ai principi di base che distinguono i robot dalle altre macchine. Scopriremo dove si colloca il confine tra macchine robot e no, e poi, forse, confonderemo un po' quella linea di demarcazione, a volte fin troppo netta. Esamineremo poi una serie di robot costruiti nei campi della robotica amatoriale e hobbistica.

In questo capitolo

- **Che cosa significa "robot"?**
- **Robot avanzati e impressionanti**
- **Robot domestici**
- **Robot nell'industria**
- **Robot in ambito competitivo, educativo e hobbistico**
- **Riepilogo**
- **Esercizi**
- **Per approfondire**

Che cosa significa “robot”?

Un *robot* è una macchina che prende decisioni autonome in base all’input dei suoi sensori. Un agente software è un programma che elabora automaticamente l’input e produce l’output. Forse un robot può essere meglio descritto come un agente software autonomo dotato di sensori e output di movimento, oppure come una piattaforma elettromeccanica dotata di software. In ogni caso, un robot richiede componenti elettronici, meccanici e software.

La parola *robot* evoca immagini da fantascienza, entità dalla forza e dall’intelligenza straordinarie. Spesso viene preso a modello il corpo umano, e il robot diviene un *androide*, un robot simile a un essere umano. Spesso gli viene data una personalità e così il robot si comporta come una persona, per qualche verso, ingenua (Figura 1.1).

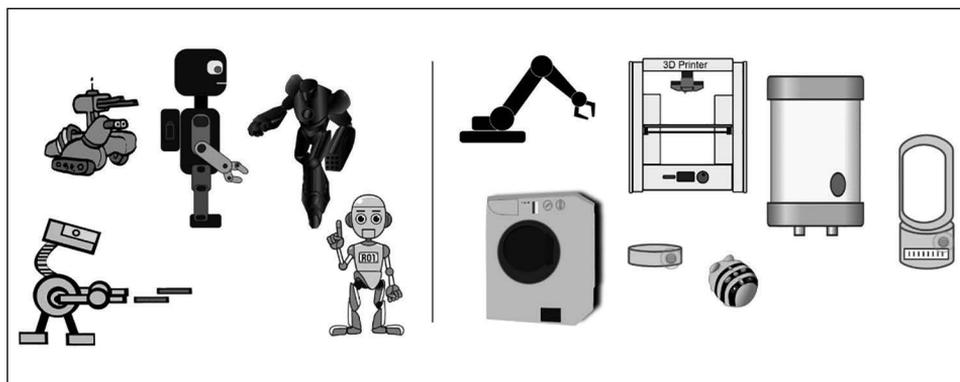


Figura 1.1 Robot di fantascienza e robot del mondo reale. Immagini tratte dalla libreria di pubblico dominio OpenClipArt.

La parola *robot* proviene dalla fantascienza. Deriva da una parola ceca che significa “schiaivo” e fu usata per la prima volta nel 1921 nell’opera teatrale di Karel Capek *Rossumovi univerzální roboti*, “I robot universali di Rossum”. L’autore di fantascienza Isaac Asimov ha poi coniato la parola *robotica* mentre esplorava il comportamento dei robot intelligenti. La maggior parte dei robot presenti nelle nostre case e industrie non è all’avanguardia e non ha certo un aspetto accattivante. Non camminano su due gambe, anzi, spesso non hanno affatto gambe. Alcuni sono dotati di ruote, ma altri non sono neppure mobili, ma tutti sono ricchi di parti mobili e sensori.

I robot come le moderne lavatrici, gli aspirapolvere autonomi, le caldaie intelligenti e i ventilatori ad analisi della qualità dell’aria si sono ormai infiltrati nelle nostre case e fanno parte della nostra vita quotidiana. Non hanno un aspetto minaccioso e ormai li consideriamo al pari di qualsiasi altra macchina, intorno a noi. Tuttavia, la stampante 3D, il braccio robotico e i giocattoli didattici sono un po’ più interessanti (Figura 1.2).

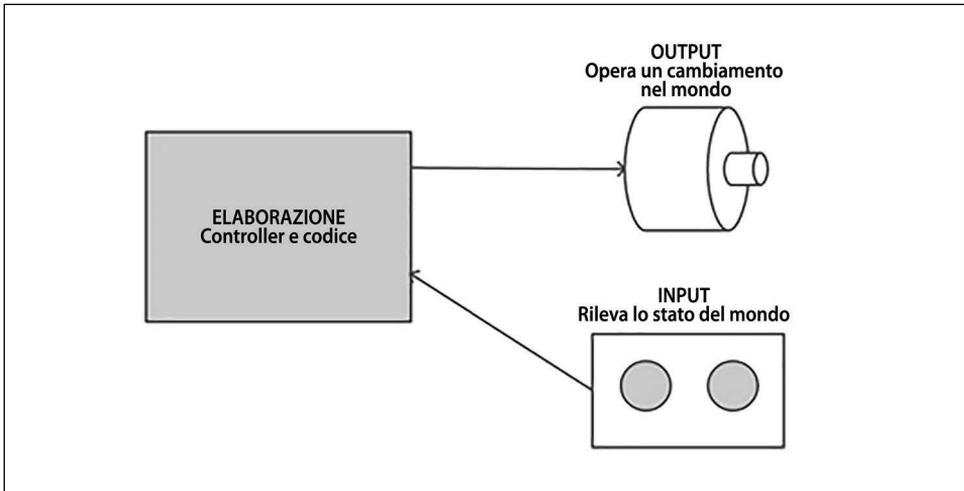


Figura 1.2 Un robot, semplificato e suddiviso in componenti.

Fondamentalmente, i robot possono essere tutti semplificati fino a distinguere un *output*, come un motore, un *input*, come un sensore, e un *controller*, per l'elaborazione del codice. Di conseguenza, un robot:

- dispone di input e sensori per misurare e campionare le proprietà del suo ambiente;
- è dotato di output come motori, luci, suoni, valvole o riscaldatori per alterare il suo ambiente;
- utilizza i dati dei suoi input per prendere decisioni autonome su come controllare i suoi output.

Nel prossimo paragrafo esamineremo alcuni robot particolarmente avanzati.

Robot avanzati e impressionanti

Ora che avete una panoramica di che cos'è un robot in generale, introdurrò alcuni esempi specifici che rappresentano i robot più straordinari in circolazione, scoprendo di che cosa sono capaci. Fatta eccezione per i robot Mars, i produttori di robot sembrano prediligere le forme umane e animali, per la loro adattabilità, al contrario dei robot progettati per uso industriale e destinati a un singolo impiego ripetitivo.

La Figura 1.3 mostra robot somiglianti a esseri umani o animali.

Ciò che questi robot hanno in comune è che cercano di emulare gli esseri umani o gli animali nei seguenti modi.

1. Il robot 1 è *Cog* del Massachusetts Institute of Technology. È stato un tentativo di emulare un essere umano in termini di movimenti e sensori.
2. Il robot 2 è *ASIMO* di produzione Honda, e cammina e parla un po' come un essere umano. Le due telecamere di ASIMO gli consentono di evitare gli oggetti, ma è dotato anche di gesti e del riconoscimento facciale e di un sensore di distanza per rilevare il pavimento. Segue i segni sul pavimento grazie a sensori a infrarossi. ASIMO accetta comandi vocali in inglese e giapponese.

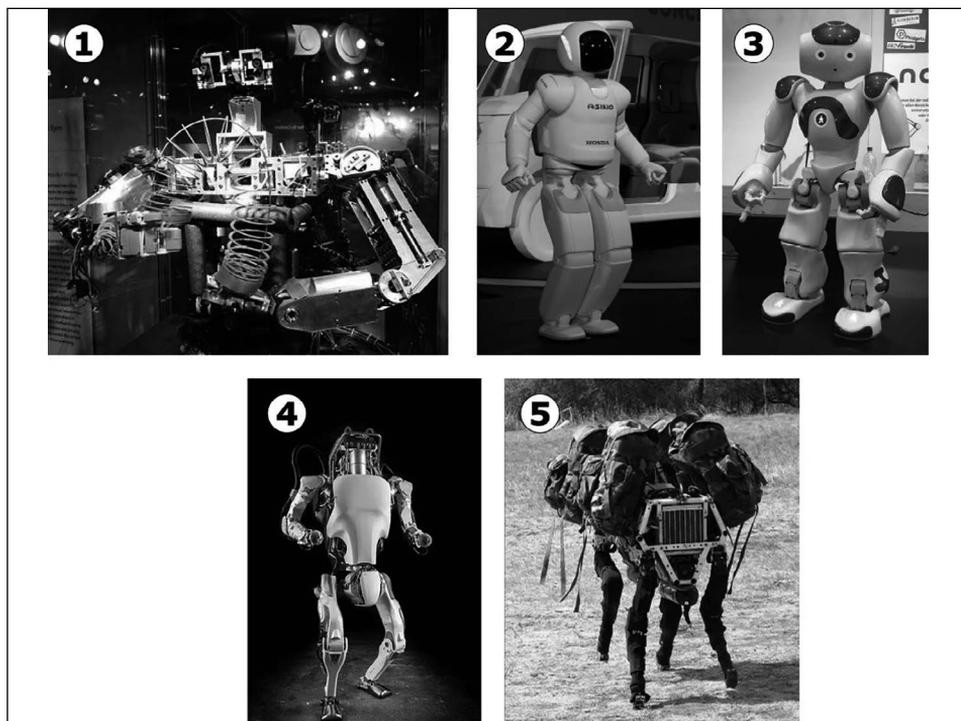


Figura 1.3 Una selezione di robot simili a esseri umani o ad animali.

Crediti: 1. Immagine di dominio pubblico: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cog,_1993-2004,_view_2_-_MIT_Museum_-_DSC03737.JPG. 2. Immagine di Morio, sotto CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>): [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Honda_ASIMO_\(ver._2011\)_2011_Tokyo_Motor_Show.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Honda_ASIMO_(ver._2011)_2011_Tokyo_Motor_Show.jpg). 3. Immagine di dominio pubblico: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nao_Robot_\(Robocup_2016\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nao_Robot_(Robocup_2016).jpg). 4. Immagine sotto CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>): https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atlas_from_boston_dynamics.jpg, by https://www.kansascity.com/news/business/technology/917xpi/picture62197987/ALTERNATES/FREE_640/atlas%20from%20boston%20dynamics. 5. Immagine di dominio pubblico: https://commons.wikimedia.org/wiki/Commons:Licensing#Material_in_the_public_domain.

3. Il robot 3 è *Nao* di Softbank Robotics. Questo simpatico robot alto 58 cm è stato progettato per l'apprendimento e il gioco, ed è programmabile dagli utenti. Ha sensori per rilevare il proprio movimento, si accorge se sta cadendo e i suoi sensori di distanza a ultrasuoni gli permettono di evitare urti. *Nao* utilizza altoparlanti e un microfono per l'elaborazione vocale. Ha più telecamere per eseguire operazioni simili all'*ASIMO*.
4. Il robot 4 è *Atlas* di Boston Dynamics. È veloce a spostarsi su due gambe e ha movimenti dall'aspetto naturale. Ha un array di radar laser (LIDAR), che utilizza per rilevare ciò che lo circonda, in modo da pianificare i propri movimenti ed evitare collisioni.

5. Il robot 5 è *BigDog* di Boston Dynamics, un robot a quattro zampe, un “quadrupede”. Può camminare e correre. È uno dei robot a quattro gambe più stabili, rimane in piedi anche se viene spinto o urtato ed è in grado di camminare sul ghiaccio.

Al robot che costruirete fornirete alcune di queste funzionalità. Utilizzeremo dei sensori a ultrasuoni, come quelli di Nao, per evitare gli ostacoli, e dei sensori di distanza laser come ASIMO. Impiegheremo una fotocamera per l’elaborazione visiva, dei sensori di linee per seguire dei segni sul pavimento e l’elaborazione vocale per ricevere comandi vocali. Costruiremo anche un meccanismo di panoramica e inclinazione per la fotocamera, che funziona come la testa di Cog.

I rover su Marte

I robot per Marte sono progettati per funzionare su un altro pianeta, dove non c’è possibilità di intervento umano, pertanto sono particolarmente solidi. Le nuove release del software possono essergli inviate tramite un link remoto, poiché è poco pratico inviare ogni volta una persona su Marte con un monitor e una tastiera. Il rover è “senza testa”, *headless*.



Figura 1.4 Il rover Curiosity della NASA a Glen Etive, su Marte. Crediti: NASA/JPL-Caltech/MSSS; <https://mars.nasa.gov/resources/24670/curiosity-at-glen-etive/?site=msl>).

I rover inviati su Marte si spostano su ruote invece di usare gambe, poiché stabilizzare un robot su ruote è molto più semplice: vi sono meno cose che possono andare storte. Ogni ruota sui rover Mars ha un proprio motore. Le ruote sono disposte per fornire la massima presa e per dare tutta la stabilità necessaria per affrontare il terreno roccioso di Marte e la sua bassa gravità.

Il rover Curiosity è stato depositato su Marte con la sua videocamera sensibile ripiegata. Dopo l'atterraggio, la videocamera è stata estesa e posizionata grazie a dei servomotori. La videocamera può essere puntata utilizzando un meccanismo di *panoramica e inclinazione* (*pan and tilt*). Ha bisogno di rilevare nel migliore dei modi il paesaggio di Marte, inviando poi filmati e immagini alla NASA.

Come i robot per Marte, il robot che costruirete in questo libro utilizza ruote a motore. Anche il nostro robot è progettato per funzionare senza tastiera e mouse, essendo *headless* per progettazione. A mano a mano che espanderemo le capacità del nostro robot, utilizzeremo anche dei servomotori per azionare un meccanismo di panoramica e inclinazione.

Robot domestici

Molti robot si sono già infiltrati nelle nostre case. Per noi è difficile considerarli robot, perché, a prima vista, non hanno niente di speciale, sono perfino banali. Tuttavia, sono più sofisticati di quanto possa sembrare.

La lavatrice

Cominciamo con la lavatrice. È presente in ogni casa e viene utilizzato quotidianamente, con un flusso costante di vestiti da lavare, sciacquare e strizzare. Ma... anche lei è un robot? La Figura 1.5 mostra il diagramma a blocchi di una lavatrice. C'è un controller centrale collegato al display con le manopole per selezionare i programmi. Le linee che escono dal controller sono i suoi output. Le linee che entrano nel controller portano i dati provenienti dai sensori. Le linee tratteggiate dagli output ai sensori creano un circuito di azioni di output che opera sul mondo reale, provocando modifiche rilevate poi dai sensori. Questo è il concetto di *feedback*, essenziale nella robotica.

La lavatrice utilizza il display e i pulsanti/manopole per consentire all'utente di scegliere le impostazioni e di vederne lo stato. Dopo aver premuto il pulsante di avvio, il controller controlla il sensore dello sportello e si rifiuterà di avviarsi se lo sportello è aperto. Una volta che lo sportello è chiuso e il pulsante di avvio è premuto, verrà emesso un output per bloccare lo sportello. Successivamente, la lavatrice utilizza la resistenza di riscaldamento, le valvole e la pompa per riempire il cestello con l'acqua e poi la riscalda, utilizzando i feedback dei sensori per regolare il livello dell'acqua e la temperatura.

Ogni processo può essere rappresentato da un insieme di istruzioni come le seguenti, che riempiono il cestello e mantengono riscaldata l'acqua.

```

avvia pompa-acqua
accendi resistenza-riscaldamento
while acqua not piena and acqua not calda.
    if acqua piena, then
        ferma pompa-acqua

```

```

if acqua calda, then
    spegni resistenza-riscaldamento
else
    accendi resistenza-riscaldamento

```

Notate l'else, che opera sempre nel caso in cui la temperatura dell'acqua scenda leggermente sotto la temperatura corretta. La lavatrice, quindi avvia la sequenza di rotazione del cestello: giri lenti, giri veloci, rilevamento della velocità per soddisfare i criteri impostati. Poi svuoterà il cestello dell'acqua, sciacquerà e poi strizzerà i vestiti, infine si fermerà e sbloccherà la serratura dello sportello.

La lavatrice è, a tutti gli effetti, un robot. Una lavatrice ha sensori e output per influenzare il suo ambiente. L'elaborazione le consente di seguire un programma e di utilizzare i suoi sensori con feedback per raggiungere e mantenere determinate condizioni. Un riparatore di lavatrici può sicuramente essere considerato un professionista della robotica.

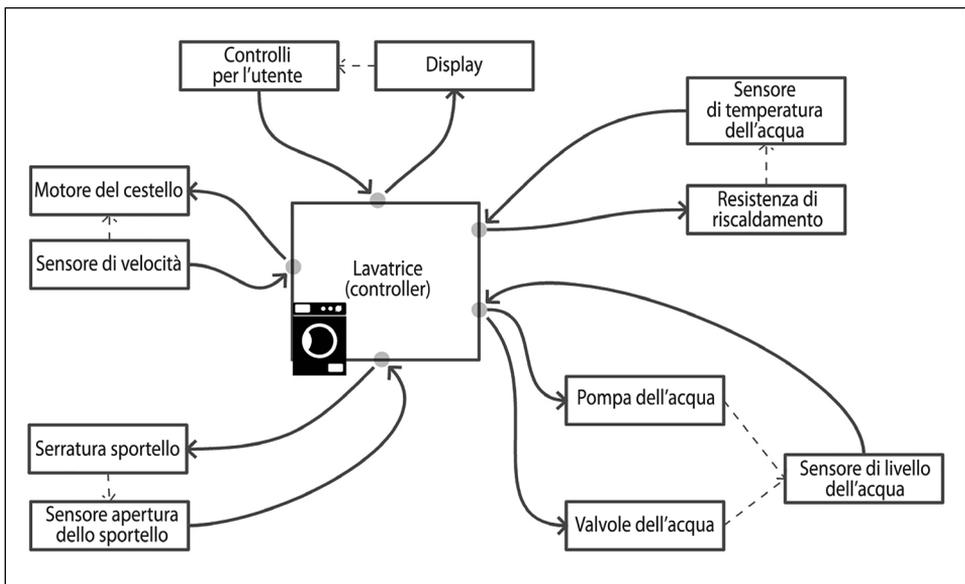


Figura 1.5 I componenti di una lavatrice.

Altri robot domestici

Una caldaia per il riscaldamento centralizzato a gas è dotata di sensori, pompe e valvole. La caldaia utilizza meccanismi di feedback per mantenere costante la temperatura della casa, per controllare il flusso d'acqua per il riscaldamento e il flusso di gas e per garantire che la fiammella pilota rimanga accesa. La caldaia è automatica e ha molte caratteristiche simili a quelle di un robot, ma è statica e non può essere facilmente adattata ad altri scopi. Lo stesso si potrebbe dire per altri elettrodomestici, come i ventilatori e le stampanti intelligenti.

I ventilatori intelligenti utilizzano sensori per rilevare la temperatura e l'umidità dell'ambiente e la qualità dell'aria, e il loro output regola la velocità della ventola e l'attivazione degli elementi riscaldanti.

Altre macchine presenti in casa, come il forno a microonde, per esempio, hanno solo il timer, non prendono decisioni e sono troppo semplici per essere considerate robot. Forse l'esempio più ovvio di robot domestico è il robot aspirapolvere (Figura 1.6).



Figura 1.6 Un robot aspirapolvere: PicaBot. Crediti: Handitec, pubblico dominio, (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PicaBot.jpg>).

Questo robot mobile con ruote è simile a quello che costruiremo, solo più carino. È dotato di sensori per rilevare le pareti, il livello della polvere aspirata, le barriere ed è in grado di evitare le collisioni. Esso rappresenta piuttosto da vicino il tipo di robot che stiamo considerando. È un robot autonomo, mobile e può essere riprogrammato per avere comportamenti differenti.

Mentre costruiremo il nostro robot, scopriremo come utilizzare i suoi sensori per rilevare gli oggetti e reagirvi, impiegando circuiti di feedback come quelli che abbiamo visto nella lavatrice.

Robot nell'industria

Un altro luogo in cui i robot sono comunemente presenti è l'industria. I primi robot davvero utili sono stati utilizzati nelle fabbriche e sono lì da molto tempo.

Bracci robotici

I *bracci robotici* vanno dai minuscoli e delicati robot per girare le uova, a mostri colossali in grado di spostare interi container. I bracci dei robot tendono a utilizzare motori passo-passo e servomotori. Esamineremo l'uso dei servomotori nel meccanismo di panoramica e inclinazione che utilizzeremo in questo libro. La maggior parte dei bracci robotici industriali (per esempio, i robot di saldatura ABB) seguono uno schema di movimenti predeterminato e non svolgono alcun processo decisionale. Tuttavia, esistono sistemi più intelligenti e basati su sensori, come l'impressionante *Baxter* di Rethink Robotics (Figura 1.7). Baxter è un robot collaborativo progettato per lavorare al fianco degli esseri umani.



Figura 1.7 Baxter di Rethink Robotics. Crediti: Baxter all’Innorobo di © Xavier Caré / Wikimedia Commons [CC-BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)].

Non è sicuro per un essere umano lavorare accanto a molti bracci robotici: potrebbe subire incidenti. Occorrono gabbie e segnali di avvertimento tutto attorno al robot. Non è così con Baxter: è in grado di percepire un essere umano ed evitarlo o fermarsi in sicurezza. Nell’immagine precedente, questi sensori sono visibili intorno alla *testa*. I sensori nei bracci e le articolazioni morbide gli consentono, inoltre, di percepire e reagire alle collisioni.

Baxter ha un meccanismo di addestramento e ripetizione che consente ai lavoratori di programmarlo a svolgere un’attività. Utilizza dei sensori per rilevare le posizioni delle articolazioni durante l’addestramento o la riproduzione dei movimenti. Il nostro robot utilizzerà dei sensori encoder per controllare con precisione i movimenti delle ruote.

Robot da magazzino

Un altro tipo di robot comunemente utilizzato nell’industria è rappresentato da quei sistemi che spostano oggetti all’interno di una fabbrica o di un magazzino (Figura 1.8). La Figura 1.8.1, mostra le gru robotizzate per lo spostamento dei pallet nei complessi di stoccaggio. Ricevono istruzioni per spostare le merci fra le scaffalature.

I robot più piccoli per la movimentazione di oggetti, come Intellicart nella Figura 1.8.2, utilizzano sensori per seguire le linee sul pavimento, per rilevare magneticamente i cavi che corrono sotto il pavimento o per seguire segnali luminosi, come ASIMO. Il nostro robot seguirà linee tracciate. Questi sistemi in grado di seguire una linea utilizzano spesso ruote, perché sono semplici da gestire e aiutano a creare piattaforme stabili.



Figura 1.8 Sistemi robotici da magazzino: Stingray di TGWmechanics [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)] e Intellicart di Mukeshhrs (pubblico dominio).

Robot in ambito competitivo, educativo e hobbistico

I robot più divertenti sono quelli creati da costruttori dilettanti. Questo è uno spazio estremamente dinamico.

La robotica ha sempre avuto un certo spazio nel campo educativo, dove i costruttori accademici utilizzavano i robot come piattaforme di apprendimento e sperimentazione. Molte iniziative commerciali sono nate proprio in questo contesto. I robot universitari sono spesso frutto di attività di gruppo, con impiego di attrezzature hi-tech.

Kismet (Figura 1.9.1) è stato creato al MIT alla fine degli anni Novanta. Da esso derivano diversi robot hobbistici. All'epoca era rivoluzionario, dal momento che utilizzava motori per controllare i movimenti del viso, imitando le espressioni umane. *OhBot*, un kit low cost per hobbisti che utilizza servomotori, si basa su *Kismet*. *OhBot* (Figura 1.9.2) si collega a un Raspberry Pi, e utilizza il riconoscimento vocale e una videocamera per creare un volto convincente.

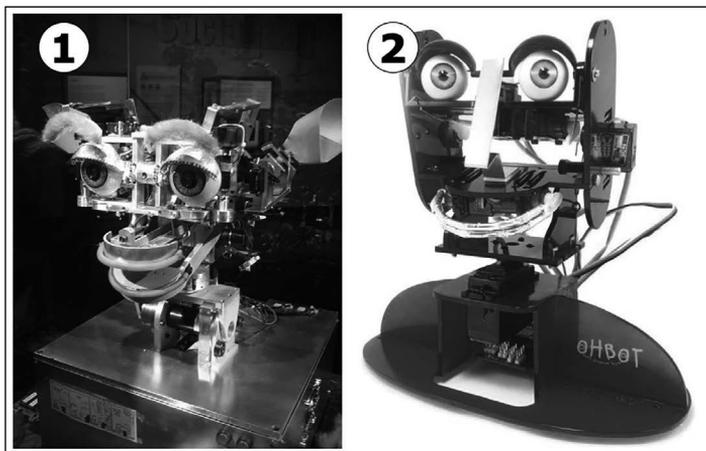


Figura 1.9 *Kismet* [Jared C Benedict CC BY-SA 2.5 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>)] e *OhBot* [AndroidFountain [CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)]].

La *robotica hobbistica* è fortemente legata alla community software/hardware open source, facendo uso di siti come GitHub (<https://github.com>) per condividere progetti e codice, cosa che porta allo sviluppo di ulteriori idee. I robot hobbistici possono essere creati a partire da kit disponibili su Internet, apportando modifiche e integrazioni. I kit coprono un ampio ventaglio di complessità, dalle semplici basi a tre ruote ai kit di droni, agli esacodi. Vengono venduti con o senza elettronica inclusa. Troverete una panoramica sui kit nel Capitolo 6. Io ho usato un kit esacode per costruire *SpiderBot* (Figura 1.10), con lo scopo di esplorare il movimento tramite zampe.

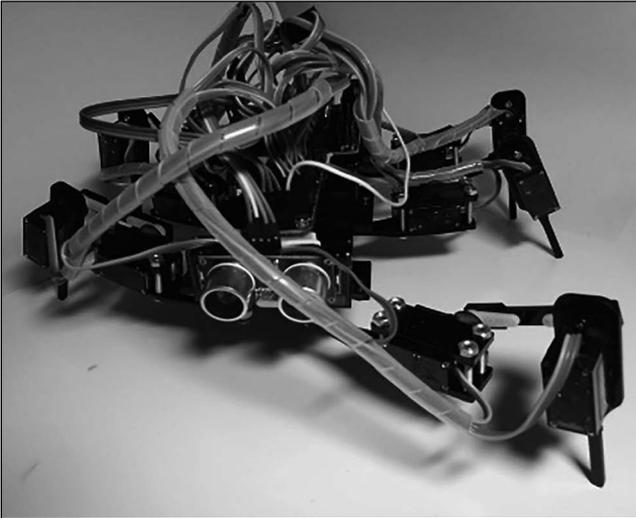


Figura 1.10 Spiderbot, realizzato da me, basato su un kit. Il controller è un esp8266 con un servo controller Adafruit 16.

Skittlebot era la mia creazione al Pi Wars 2018, costruito utilizzando giocattoli, trasformando, in pratica, un escavatore telecomandato in una piattaforma robotica. *Pi Wars* è una sfida fra robot autonomi basati sul Raspberry Pi, con sfide sia manuali sia autonome. C'erano esempi dall'aspetto molto bello e ricchi di attività di ingegneria. Skittlebot (Figura 1.11) utilizza tre sensori di distanza per evitare le pareti; analizzeremo questo tipo di sensore nel Capitolo 8. Utilizza una fotocamera per trovare gli oggetti colorati, come vedremo nel Capitolo 13.

Alcuni robot hobbistici sono costruiti partendo da zero, utilizzando stampa 3D, taglio laser, formatura sottovuoto, lavorazione del legno, CNC e altre tecniche per costruire lo chassis e i componenti.

Ho costruito il robot rappresentato nella Figura 1.12 nel 2009 partendo da zero, per il gruppo di robotica londinese *The Aurorans*. Il robot era stato chiamato *EeeBot*, poiché doveva essere pilotato da un portatile Eee PC. *The Aurorans* era una community che si incontrava per parlare di robotica. Il robot è stato successivamente dotato di un Raspberry Pi e di un kit a braccio robotico (uArm), guadagnandosi il nome *ArmBot*.

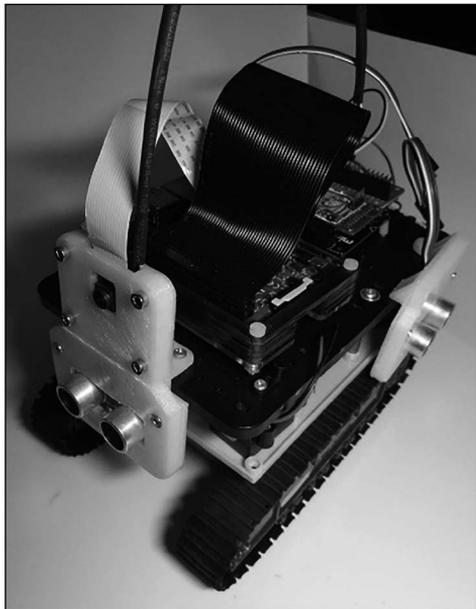


Figura 1.11 Skittlebot: il mio robot per PiWars 2018, basato su un giocattolo.

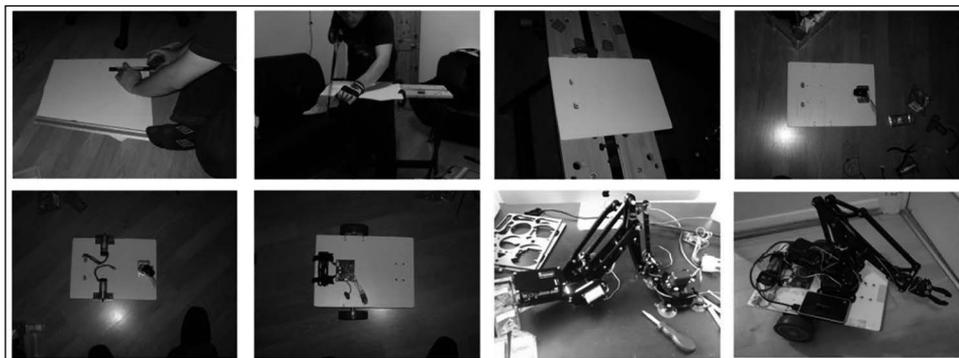


Figura 1.12 Costruzione di ArmBot.

Attualmente, sul mercato vi sono molti kit di telai e un principiante non avrà più bisogno di misurare e tagliare i materiali per realizzare un robot funzionante. Questi kit sono costruiti per sperimentare e per ispirare altri costruttori di robot e ragazzi a programmare. Verso la fine del libro, tratteremo alcune delle community in cui i robot vengono costruiti e condivisi, insieme ad alcune tecniche costruttive di base per realizzarli da zero. La serie televisiva *Robot Wars* è un noto evento competitivo di robot dotati impressionanti capacità costruttive e ingegneristiche. Tuttavia, i robot di *Robot Wars* non hanno un comportamento autonomo; sono controllati manualmente come auto telecomandate. Le lavatrici, sebbene meno eccitanti, sono più intelligenti, e quindi possono essere considerate più rigorosamente robot.

Riepilogo

In questo capitolo abbiamo esaminato il significato della parola *robot* e gli aspetti reali e di fantasia associati ai robot. Abbiamo definito cos'è un vero robot. Abbiamo visto che cosa deve fare una macchina per essere considerata un robot.

Abbiamo studiato i robot presenti in casa e nell'industria. Ne abbiamo visti alcuni progettati per stupire o per spostarsi su altri pianeti. Abbiamo anche esaminato i robot hobbistici e didattici, alcuni dei quali costruiti per puro divertimento. Abbiamo visto anche alcuni diagrammi a blocchi di dispositivi operanti nel mondo reale che a volte è difficile considerare robot. Abbiamo anche notato come nelle nostre case potrebbero già essere presenti diversi robot.

Spero che questo capitolo vi abbia fatto riflettere su che cosa è necessario perché una macchina possa guadagnarsi il titolo di *robot*. Una lavatrice può essere completamente automatica: partire a un determinato orario, seguire un programma, e alcune macchine avanzate risparmiano acqua rilevando la qualità dell'acqua di risciacqui per valutare il grado di pulizia dei panni. Un robot, tuttavia, potrebbe anche essere, semplicemente un dispositivo telecomandato, come un robot di telepresenza o un robot di Robot Wars. Indubbiamente, tutti sono frutto di un'ingegneria sofisticata, che richiede molte competenze. Mentre alcuni robot sono chiaramente robot, come l'Honda ASIMO e il Baxter, altri sono molto più difficili da valutare. Se con robot intendiamo una *macchina elettromeccanica capace di decisioni*, dobbiamo escludere i "robot" telecomandati. Se comprendessimo l'idea di *macchina mobile*, dovremmo includere anche una macchinina radiocomandata giocattolo, mentre dovremmo escludere una macchina intelligente completamente autonoma ma stazionaria. Una macchina potrebbe essere fatta in modo da somigliare a un robot, con caratteristiche antropomorfe (ovvero simili a quelle umane), ma per il resto essere semplicemente meccanica, magari muovendo un braccio in su e in giù. È un robot, questo? Non sta eseguendo un programma né sta reagendo a un ambiente.

Ora che abbiamo esplorato che cosa sono i robot, passiamo al prossimo capitolo, in cui vedremo come progettare un robot in modo da poterlo poi costruire.

Esercizi

1. Guardatevi intorno, a casa. Troverete altre macchine automatiche con molte delle caratteristiche di un robot. Prendete una comune macchina domestica (ma non una lavatrice) e considerate i suoi input e output. Usateli per creare un diagramma che li rappresenti mentre entrano o escono da un controller. Considerate come si muovono, se si muovono per casa.
2. Considerate anche quali circuiti di feedback possono essere presenti in tale sistema. Che cosa stanno monitorando? Come risponde, la macchina, a queste informazioni?

Per approfondire

- Honda ASIMO: <http://asimo.honda.com>.
- Baxter di Rethink Robotics: <https://www.rethinkrobotics.com/baxter>.

- Kismet al MIT: <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/kismet/kismet.html>.
- OhBot: <http://www.ohbot.co.uk>.
- Mars Science Laboratory della NASA: <https://mars.nasa.gov/msl>.
- Per costruire un braccio robotico come quello utilizzato dall'ArmBot, considerate MeArm: <https://github.com/mimeindustries/MeArm>.
- Per ulteriori informazioni sul mio ArmBot: https://www.youtube.com/watch?v=xY60c4_jdmU.