



E tutto diventa più facile!

2ª edizione

Elettronica

FOR
DUMMIES®

Imparate a:

- Combinare fra loro resistenze, condensatori, diodi e circuiti integrati
- Realizzare e correggere i circuiti elettronici
- Utilizzare un multimetro, un oscilloscopio e una sonda logica
- Curare la sicurezza

Cathleen Shamieh
Gordon McComb

HOEPLI





**di Cathleen Shamieh
e Gordon McComb**



EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

Wiley, the Wiley Logo, For Dummies, the Dummies Man Logo, The Dummies Way and related trade dress are trademarks or registered trademarks of John Wiley & Sons, Inc. and/or its affiliates in the United States and/or other countries.

Wiley, il logo Wiley, For Dummies, il logo Dummies Man, Il metodo For Dummies e la relativa grafica sono marchi o marchi registrati di John Wiley & Sons, Inc. e/o dei suoi affiliati negli Stati Uniti e/o in altri paesi.

Titolo originale: *Electronics For Dummies* ® 2nd edition

Copyright © 2009 by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

All rights reserved, including the right of reproduction in whole or in part in any form

Per l'edizione italiana

Copyright © Ulrico Hoepli Editore S.p.A. 2015

via Hoepli 5, 20121 Milano (Italy) tel. +39 02 864871 – fax +39 02 8052886

e-mail hoepli@hoepli.it

Seguici su Twitter: @Hoepli_1870

www.hoepli.it

Tutti i diritti sono riservati a norma di legge
e a norma delle convenzioni internazionali

ISBN EBOOK 88-978-203-6886-9

Traduzione: Paolo Poli

Realizzazione: Maurizio Vedovati – Servizi editoriali (info@iltrio.it)

Realizzazione digitale: Promedia, Torino

Gli autori

Cathleen Shamieh è un'autrice con un solido background tecnico, specializzata nella creazione di materiale divulgativo incentrato sui vantaggi commerciali della tecnologia. Ha un'ottima formazione nel campo dell'ingegneria elettrica, ottenuta presso il Manhattan College e il MIT e ha lavorato come ingegnere elettronico nel campo medicale e delle telecomunicazioni, prima di dedicarsi alla comunicazione, al marketing e alle consulenze commerciali per società high-tech di primo piano. Ama sfruttare le proprie competenze tecniche e commerciali per creare testi di taglio divulgativo.

Gordon McComb ha al suo attivo una sessantina di libri e un migliaio di articoli. Ha venduto più di un milione di copie dei suoi libri, tradotti in oltre una decina di lingue. Per tredici anni, Gordon ha curato una rubrica settimanale dedicata ai personal computer. Quando non si occupa di hobbismo elettronico o di altri interessanti argomenti, lavora come consulente per importanti case cinematografiche di Hollywood, nel campo del cinema digitale.

Dediche

Ai miei genitori, Beth e Jim Corbett, che mi hanno insegnato che posso realizzare tutto ciò che ho in mente; a mia sorella, Eustelle, che ha fatto di me una scrittrice; al mio meraviglioso marito, Bill, sempre pronto a sostenermi; e ai miei quattro fantastici figli, Kevin, Peter, Brendan e Patrick, che rendono ogni giorno della mia vita un'avventura così lieta e appassionante.

C.S.

A mio padre, Wally McComb, che mi ha instillato il fascino dell'elettronica; e a Forrest Mims, che mi ha insegnato due o tre cosette su questo argomento.

G.M.

Ringraziamenti degli autori

Cathleen Shamieh desidera ringraziare gli eccellenti editor di Wiley, in particolare Katie Feltman e Christopher Morris, per il loro duro lavoro, il supporto e gli utili consigli, e Kirk Kleinschmidt, per il minuzioso controllo tecnico del materiale. È inoltre grata a Linda Hammer e Ken Donoghue, che hanno gentilmente proposto il suo lavoro a Wiley. Infine, Cathleen ringrazia la sua famiglia e i suoi amici: il loro supporto e la loro assistenza e comprensione l'hanno aiutata a conseguire l'obiettivo di diventare un'autrice *For Dummies*.

Gordon desidera ringraziare la sua famiglia, che ancora una volta ha atteso pazientemente che terminasse il suo ennesimo libro.

A colpo d'occhio

Parte I: Le basi dell'elettronica

Capitolo 1: Che cos'è l'elettronica e che cosa può fare per voi

Capitolo 2: Trasformare l'elettricità per far accadere qualcosa

Capitolo 3: Viva la resistenza!

Capitolo 4: Condensatori alla carica!

Capitolo 5: Avvolti fra bobine e cristalli

Capitolo 6: Il grande mondo dei semiconduttori

Capitolo 7: Tutti i componenti in un chip

Capitolo 8: Completare l'elenco dei componenti

Parte II: Le mani in pasta

Capitolo 9: Configurare il laboratorio e operare in sicurezza

Capitolo 10: Leggere gli schemi elettrici

Capitolo 11: Realizzare circuiti

Capitolo 12: Misurazione e analisi dei circuiti

Capitolo 13: Sonde logiche e oscilloscopi

Parte III: Dalla teoria alla pratica

Capitolo 14: “Eppur s'accende!": i primi circuiti

Capitolo 15: Grandi progetti da una mezzoretta l'uno

Parte IV: La parte dei dieci

Capitolo 16: Una decina (circa) di ottimi suggerimenti per spingervi oltre

Indice analitico

Indice

Introduzione

- Perché acquistare questo libro?
- Perché parlare di elettronica?
- Ma voi, chi siete?
- Prima di tutto la sicurezza
- Struttura del libro
- Icone utilizzate nel libro

Parte I: Le basi dell'elettronica

Capitolo 1: Che cos'è l'elettronica e che cosa può fare per voi

- Ma che cos'è l'elettronica?
- Parliamo di corrente elettrica
- Sfruttare l'energia elettrica per svolgere un lavoro
- Ma quante cose sanno fare gli elettroni?!

Capitolo 2: Trasformare l'elettricità per far accadere qualcosa

- Erogare energia elettrica
- Parliamo di direzioni: il vero flusso degli elettroni e il flusso convenzionale della corrente
- Analisi di un semplice circuito con lampadina
- Controllare la corrente elettrica tramite semplici componenti

Connessioni in serie e in parallelo
Creazione di sistemi elettronici

Capitolo 3: Viva la resistenza!

Resistere al flusso della corrente
Resistenze: passive ma utili
Scegliere il tipo di resistenza: fissa o variabile
Valutare le resistenze in base alla potenza
Combinare più resistenze
Obbedire alla Legge di Ohm
Uso della Legge di Ohm per analizzare i circuiti
Che cosa governa, realmente, la Legge di Ohm?
La potenza della Legge di Joule
Realizzare semplici circuiti con resistenze

Capitolo 4: Condensatori alla carica!

Condensatori: una riserva di energia
Caricare e scaricare i condensatori
A cosa serve un condensatore?
Caratterizzare i condensatori
Condensatori in combinazione
La reattanza capacitiva
Selezione delle frequenze con semplici filtri RC
Realizzare semplici circuiti con condensatori

Capitolo 5: Avvolti fra bobine e cristalli

Parenti prossimi: il magnetismo e l'elettricità
Ecco a voi l'induttore: un avvolgimento con una personalità magnetica
Uso degli induttori nei circuiti
Ora introduciamo l'impedenza!
Sintonizzarsi sulle stazioni radio
Risunano i circuiti RLC
Influenze fra avvolgimenti: i trasformatori

Capitolo 6: Il grande mondo dei semiconduttori

Essere, o non essere (conduttivi), questo è il dilemma
Un diodo a giunzione
I diodi nei circuiti
Il grande talento dei transistor
Utilizzo di un transistor
Come funzionano davvero i transistor
Un modello ideale per usare i transistor
Amplificazione dei segnali con un transistor
Commutazione dei segnali con un transistor
Scegliere un transistor
Riconoscere un transistor quando ne vedete uno
Transistor impacchettati
Provare i circuiti a semiconduttori

Capitolo 7: Tutti i componenti in un chip

Perché circuiti integrati?
Circuiti integrati lineari, digitali o in combinazione
Prendere decisioni con “logica”
Come impiegare i circuiti integrati
Alcuni circuiti integrati di largo uso
La macchina del tempo dei circuiti integrati: il timer 555
Contare con il contatore decimale 4017
Espandere gli orizzonti

Capitolo 8: Completare l’elenco dei componenti

Eseguire connessioni
Alimentazione
Utilizzare la presa di corrente domestica (fortemente
sconsigliato)
Accendere e spegnere l’elettricità
Uso dei sensori
Suoni elettronici

Parte II: Le mani in pasta

Capitolo 9: Configurare il laboratorio e operare in sicurezza

- Scegliere il luogo adatto per sviluppare progetti
- Acquisto di strumenti e attrezzi
- Procurarsi parti e componenti
- Proteggere voi e i componenti elettronici

Capitolo 10: Leggere gli schemi elettrici

- Che cos'è uno schema elettrico? Perché occuparsene?

Capitolo 11: Realizzare circuiti

- Che cos'è una breadboard
- Realizzare circuiti con le breadboard
- Tutto sulla saldatura
- Saldare “come si deve”
- Creare un circuito permanente

Capitolo 12: Misurazione e analisi dei circuiti

- Uno strumento dalle mille personalità
- Vari tipi di multimetri
- Impostazione del multimetro
- Utilizzare un multimetro
- Uso del multimetro per controllare il circuito

Capitolo 13: Sonde logiche e oscilloscopi

- Sondare le profondità della logica
- Osservare i segnali con un oscilloscopio
- Quando usare un oscilloscopio?
- Come usare un oscilloscopio
- Facciamo qualche test!

Parte III: Dalla teoria alla pratica

Capitolo 14: “Eppur s’accende!”: i primi circuiti

Pronti per esplorare?

Vedere per credere: la Legge di Ohm funziona davvero!

Caricare e scaricare un condensatore

Cadute di tensione attraverso i diodi

Fare esperienza con i transistor

Usare la logica

Capitolo 15: Grandi progetti da una mezzoretta l’uno

Tutto il necessario

Luci lampeggianti

Un tocco di luce con un disco piezoelettrico

Vedere al buio con un rilevatore a infrarossi

Spaventare i cattivi con una sirena

Perdersi o ritrovarsi con la bussola elettronica

Una luce... sonora

Piccolo amplificatore, grande suono

Un comodo sensore per l’acqua

Un generatore di effetti luminosi

Parte IV: La parte dei dieci

Capitolo 16: Una decina (circa) di ottimi suggerimenti per spingervi oltre

Kit pronti all’uso

Alimentatori variabili

Contare i megahertz

Generare ogni genere di segnale

Frequenze variabili

Un impulso qua e uno là

Analisi logica

Simulare il funzionamento di un circuito

Dove trovare offerte vantaggiose

Indice analitico

Informazioni sul Libro

Introduzione

Siete curiosi di scoprire come funziona il vostro iPod? E che dire del telefono cellulare, del portatile, dello stereo, della videocamera digitale, del televisore al plasma e di tutti tutte quelle diavolerie elettroniche che rendono così divertente e comoda la nostra vita?

Se vi siete mai chiesti come funzionano i transistor, i condensatori e gli altri componenti di un apparecchio elettronico, o se avete avuto la tentazione di realizzare da soli degli apparecchi elettronici, questo è il libro che fa per voi!

Elettronica For Dummies, II edizione, sarà il vostro punto di accesso nell'elettrificante mondo dell'elettronica. L'abbiamo scritto perché non risultasse l'ennesimo testo arido, noioso e incomprensibile; quello che avete fra le mani è *il* libro che vi consentirà di comprendere, creare e perfino aggiustare i vostri stessi apparecchi elettronici.

Perché acquistare questo libro?

Troppo spesso, l'elettronica sembra avvolta da un alone di mistero, poiché spiega come controllare qualcosa di invisibile, la corrente, che da quando siamo nati tutti ci hanno detto di non toccare, mai! Questo semplice e perentorio avvertimento è sufficiente per scoraggiare molti. Ma continuando a sperimentare i vantaggi quotidiani dell'elettronica, qualcuno inizia a meravigliarsi di come funzionalità così incredibili possano occupare così poco spazio.

Questo libro intende spiegare l'elettronica in modo facilmente comprensibile a tutti. Fornisce i concetti di base dell'elettronica, offrendo una descrizione accessibile a tutti del funzionamento dei principali componenti elettronici e fornendo tutto il necessario per realizzare e collaudare veri circuiti elettronici. Anche se non pretende di rispondere a tutte le domande relative all'elettronica, questo libro rappresenta un'ottima base per acquisire tutte le conoscenze essenziali.

La nostra speranza è che, entro la fine del libro, vi rendiate conto del fatto che l'elettronica non è poi così misteriosa come immaginavate e che le nuove competenze che acquisirete possono essere messe in pratica.

Perché parlare di elettronica?

L'elettronica, ormai, è dappertutto. Si possono trovare componenti elettronici nei dispositivi di comunicazione, di intrattenimento e perfino negli elettrodomestici. Sono dei sistemi elettronici a controllare il traffico, a gestire il commercio via Internet e a governare gli apparecchi medicali, così come molti giochi. Provate un attimo a immaginare la vostra vita senza l'elettronica: vi sentireste come nel Medioevo!

Perché, allora, leggere un libro proprio sull'elettronica? Dopo tutto, non vi aspettate certo di mettervi a progettare sistemi di comunicazione via satellite dopo aver letto queste umili pagine. Tuttavia, anche i sistemi elettronici più complessi sono costituiti da componenti elettronici governati esattamente dalle stesse regole che regolano il funzionamento dei circuiti più semplici. Pertanto, per comprendere il funzionamento dei sistemi elettronici più complessi, dovrete necessariamente partire dalle basi, esattamente come hanno fatto i progettisti di tali sistemi, agli inizi. Soprattutto, le basi dell'elettronica vi consentiranno di creare oggetti pratici, anche se semplici. Potrete realizzare circuiti che fanno lampeggiare luci esattamente come volete voi, che emettono un suono quando rilevano un'intrusione. E quando avrete imparato a utilizzare i circuiti integrati, zeppi di circuiti miniaturizzati ricchi di funzionalità, potrete realizzare progetti davvero complessi, in grado di impressionare amici e nemici, e il tutto per pochi spiccioli.

Dato che gli sviluppi tecnologici sono sempre più rapidi e gli apparecchi divengono sempre più piccoli ed economici col passare del tempo, oggi i componenti di un sistema elettronico avanzato stanno nel palmo di una mano. Con un po' di sete di conoscenza e desiderio di sperimentare, potrete realizzare un circuito che controlla le luci di casa o un robot aspirapolvere o un sistema d'allarme che controlla se qualcuno esegue accessi non autorizzati al frigorifero.

Sicuramente avrete anche altri hobby, che possono trarre enormi vantaggi dalle vostre nuove competenze nel campo dell'elettronica. Per esempio, un modellista ferroviario potrebbe utilizzare queste nuove conoscenze per realizzare la completa automazione degli scambi di un plastico. Chi è appassionato di automodelli potrà riuscire a migliorare le prestazioni del proprio mezzo, per avere la meglio sull'avversario più ostico.

Ma l'elettronica è anche tanto divertente. Anche acquisire nuove conoscenze e sperimentare nel campo dell'elettronica vi darà molte soddisfazioni.

Ma voi, chi siete?

Questo libro presuppone che abbiate sviluppato una certa curiosità nel campo dell'elettronica, ma che non ne sappiate molto, o magari nulla. Poiché avete scelto questo libro e non un libro di "ricette" di circuiti elettronici, immaginiamo che vogliate conoscere anche il funzionamento dei componenti, come le resistenze, i condensatori e i transistor, e pertanto abbiamo dedicato ampio spazio a questi argomenti, per condensare concetti tecnici, anche complessi, in argomenti di facile comprensione. Non avrete bisogno di una laurea in Fisica o Matematica per poter leggere questo libro, anche se un po' di ricordi di algebra non faranno certo male (ma faremo del nostro meglio per rinfrescarvi la memoria).

Immaginiamo che vogliate anche sentirvi liberi di saltare qua e là nel libro, approfondendo quell'argomento che al momento vi sembra più interessante. Per questo motivo, abbiamo previsto una grande quantità di riferimenti e rimandi a informazioni che potete trovare in altri punti del libro. Nella prima

metà del libro, interamente dedicata al funzionamento dei circuiti e dei componenti elettronici, forniamo anche indicazioni dirette ai circuiti e ai progetti che sono descritti più avanti nel libro. In tal modo, non appena avrete fatto la conoscenza con un componente, sarete liberi di saltare avanti per realizzare qualche circuito che lo utilizza.

L'indice iniziale rappresenta un'utile risorsa per individuare rapidamente ciò che state cercando. Al termine del libro, troverete anche un indice analitico, che vi aiuterà a individuare esattamente l'argomento che desiderate.

Prima di tutto la sicurezza

Leggere un libro dedicato all'elettronica è un'attività sicura. *Realizzare* progetti elettronici è tutta un'altra storia. A volte, nei progetti hobbistici, si nascondono anche alte tensioni, che possono lasciarvi un "bel ricordo", ma potreste anche scottarvi con il saldatore e i piccoli frammenti dei piedini possono saltare negli occhi, se non vengono tagliati con attenzione.

La sicurezza è *fondamentale* in elettronica. È così importante, che gli dedichiamo larga parte del [Capitolo 9](#), e un po' in tutto libro faremo riferimento a tale capitolo. Se per voi l'elettronica è un'assoluta novità, leggete per bene questo capitolo. Non saltatelo, per nessun motivo, anche se pensate di essere la persona più prudente del mondo. Anche se avete già qualche conoscenza di base, non fa mai male rinfrescare la memoria sul fattore sicurezza. Adottando adeguate precauzioni, l'elettronica diventa un hobby estremamente sicuro.



Anche se forniamo utili consigli sulla sicurezza, è impossibile inserire in un solo libro ogni possibile indicazione in tal senso. Oltre a leggere i nostri consigli, applicate il buonsenso, leggete i manuali di istruzioni dei componenti e degli strumenti che utilizzate e state sempre attenti.

Struttura del libro

Elettronica For Dummies è organizzato in modo da aiutarvi a trovare rapidamente tutte le informazioni che cercate. Se avete già qualche esperienza nel campo dell'elettronica o se volete approfondire la vostra conoscenza su un determinato argomento, potete concentrarvi solo sui capitoli che vi interessano.

I capitoli di questo libro sono suddivisi in parti, che vi aiuteranno a individuare con facilità ciò che vi interessa.

Parte I – Le basi dell'elettronica

La prima parte del libro introduce gli elementi teorici dell'elettronica. Il [Capitolo 1](#) spiega esattamente che cos'è l'elettronica e cosa può fare per voi. Nel [Capitolo 2](#) parleremo di circuiti elettronici e di tensione, corrente e sorgenti di energia elettrica. Nei Capitoli da 3 a 6 approfondiremo i vari componenti elettronici, fra cui le resistenze, i condensatori, gli induttori, i trasformatori, i diodi e i transistor. Scoprirete come funzionano questi componenti, come manipolano la corrente elettrica e quali ruoli giocano nei circuiti elettronici. Il [Capitolo 7](#) presenta i circuiti integrati e introduce i principi della logica digitale. Il [Capitolo 8](#) parla di sensori, altoparlanti, buzzer, interruttori, cavi e connettori. Nella [Parte I](#) esamineremo vari circuiti descrittivi, che raffineremo poi nella [Parte III](#).

Parte II – Le mani in pasta

Nella seconda parte del libro appronteremo tutto il necessario per realizzare i circuiti e per verificarne il funzionamento, evitando le scosse. Nel [Capitolo 9](#) realizzeremo un angolo hobbistico, con i componenti, gli strumenti e gli altri attrezzi di cui avrete bisogno per realizzare circuiti elettronici. Il [Capitolo 10](#) insegna a interpretare gli schemi circuitali: imparerete a connettere fra loro i componenti per realizzare circuiti. Nel [Capitolo 11](#) esploreremo vari metodi di cablaggio di circuiti temporanei e permanenti, saldati. Infine, i Capitoli 12

e 13 insegnano a utilizzare tre dei più importanti strumenti di test nel campo dell'elettronica: il multimetro, la sonda logica e l'oscilloscopio.

Parte III – Dalla teoria alla pratica

Se siete ansiosi di realizzare dei circuiti e di vedere davvero come funziona l'elettronica, la [Parte III](#) è quella che fa per voi. Il [Capitolo 14](#) presenta alcuni circuiti elementari, che potete realizzare per illustrare i principi dell'elettronica e per osservare il funzionamento di specifici componenti elettronici. Questo capitolo vi aiuterà a concretizzare le vostre nuove conoscenze teoriche, mettendole alla prova nella realtà. Quando sarete pronti per realizzare circuiti più complessi, consultate il [Capitolo 15](#), dove troverete vari progetti realizzabili in poco tempo, ma con molto divertimento. Alcuni di essi potranno perfino esservi utili nella vita di tutti i giorni.

Parte IV – La parte dei dieci

Qui troverete varie informazioni che vi aiuteranno a espandere i vostri orizzonti. Nel [Capitolo 16](#) troverete informazioni sui kit e i software di simulazione dei circuiti e su altri strumenti di test che potrebbero esservi utili.

Icone utilizzate nel libro

Le icone che abbiamo inserito nelle pagine hanno lo scopo di attrarre la vostra attenzione su informazioni critiche che, per un motivo o per l'altro, non devono essere ignorate.



I suggerimenti presentano informazioni che possono farvi risparmiare tempo, emicranie o denaro (o tutte e tre le cose). Vi troverete indicazioni che renderanno più rilassata la vostra esperienza nel campo dell'elettronica.



Lavorando con l'elettronica, capita di trovarsi in situazioni che richiedono una certa cautela. Questa icona offre precauzioni aggiuntive per non farvi male o danneggiare gli strumenti, i componenti, i circuiti o il portafogli.



Questa icona evidenzia gli elementi che occorre tenere a mente quando si esplora l'affascinante mondo dell'elettronica. Occasionalmente, l'icona indica il punto in cui viene introdotto un concetto importante.



Anche se l'intero libro è di natura tecnica, questa nota evidenzia informazioni che richiedono un approccio ancora più tecnico. Naturalmente potete scegliere di saltarle e non dovrete sopportare alcuna conseguenza. Trattatelo come materiale aggiuntivo, divagazioni matematiche, approfondimenti.

Parte I

Le basi dell'elettronica

The 5th Wave

By Rich Tennant

© RICH TENNANT



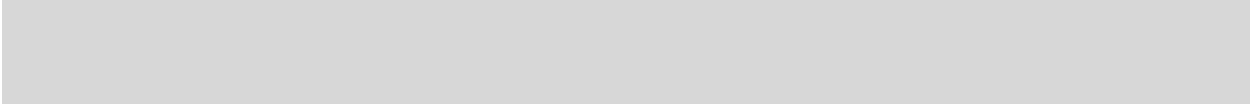
“Scusa... non è che dovevo togliere i componenti,
prima di forarla?”



In questa parte...

Siete curiosi di sapere che cosa fa funzionare la miriade di apparecchi elettronici che vi circonda? Volete sapere come fanno gli altoparlanti a produrre suoni, i motori a girare e i computer a calcolare? Avete scelto proprio il libro giusto!

In questi primi capitoli scopriremo che cos'è l'elettronica, che cosa può fare per voi e come funzionano, in generale, tutti gli apparecchi elettronici. Non preoccupatevi: non vogliamo annoiarvi con pagine e pagine di teoria, fisica e matematica. Quando possibile pogeremo i concetti su analogie ed esempi concreti, parlando del comportamento di acqua, biglie e dessert, in modo da rendere il tutto più facile da comprendere e anche più divertente. E, divertendovi, acquisirete anche una profonda conoscenza del funzionamento dei componenti elettronici e scoprirete come possono combinare le proprie forze per rendere possibili tutte le meraviglie che vi circondano.



Capitolo 1

Che cos'è l'elettronica e che cosa può fare per voi

In questo capitolo

Che cos'è la corrente elettrica.

Il potere degli elettroni.

Materiali conduttori per trasportare il flusso degli elettroni.

Connettere i componenti di un circuito.

Controllare il comportamento degli elettroni tramite i componenti elettronici.

Applicare l'energia elettrica per far funzionare le cose.

Probabilmente avete già un'idea, almeno una vaga idea, dell'elettronica. Sicuramente utilizzate quotidianamente apparecchi di ogni tipo della cosiddetta “elettronica di consumo”: iPod, impianti stereo, personal computer, videocamere digitali, televisioni. Per molti, però, queste sono solo tante “scatole magiche”, ricche di pulsanti e in grado di esaudire ogni desiderio.

Sapete che sotto la veste elegante di questi apparecchi si cela un ricco assortimento di piccoli componenti elettronici, connessi fra loro in modo appropriato per “far funzionare le cose”. E ora desiderate sapere qualcosa di più sul “perché” funzionano queste cose.

Come scoprirete in questo capitolo, la corrente elettrica è costituita da elettroni che si spostano in modo armonico e l'intera elettronica si basa sul controllo della corrente elettrica. Quindi partiremo dalla corrente elettrica e scopriremo di cosa ha bisogno per... correre. Per concludere, vedremo una panoramica delle idee realizzabili grazie all'elettronica.

Ma che cos'è l'elettronica?

Quando accendete la luce in casa, connettete una fonte di energia elettrica (erogata da un apposito gestore della rete elettrica) a una lampadina per chiudere un percorso completo, un *circuito elettrico*. Se al circuito della lampadina aggiungete un varialuce o un timer, potete *controllare* il funzionamento della lampadina in un modo più interessante, al di là della semplice operazione di accensione e spegnimento.

I sistemi elettrici, come i circuiti presenti nell'abitazione, usano la corrente elettrica pura, non modificata, per alimentare oggetti come le lampadine. I *sistemi elettronici* si spingono un po' oltre: sono in grado di *controllare* la corrente, cambiandone le fluttuazioni, la direzione e temporizzandola in vari modi, così da farle svolgere una grande varietà di funzioni, dalla semplice riduzione della luminosità di una lampadina fino alla comunicazione con i satelliti e moltissime altre cose in mezzo ([Figura 1.1](#)). È questa capacità di controllo che distingue i sistemi elettronici dai sistemi puramente elettrici.

Per comprendere il modo in cui l'elettronica prevede il controllo della corrente elettrica, occorre innanzitutto sapere che cos'è la corrente elettrica e in quale modo è in grado di alimentare oggetti come le lampadine.

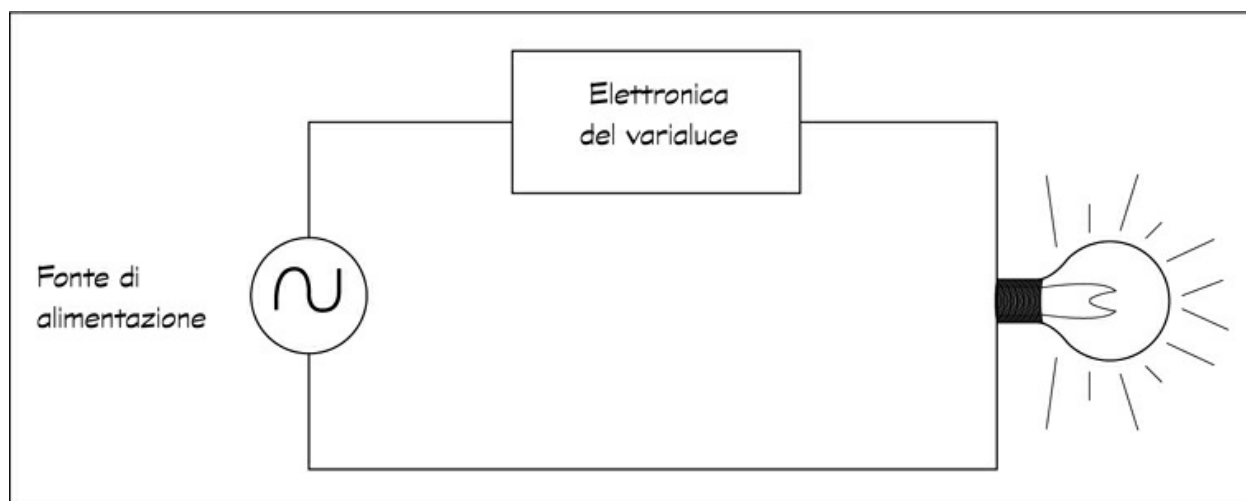


Figura 1.1 I componenti elettronici del varialuce di questo circuito controllano il flusso della corrente elettrica diretta verso la lampadina.

Parliamo di corrente elettrica

La corrente elettrica, o, più semplicemente, l'elettricità (vedi riquadro "Che cos'è l'elettricità?"), è costituita dal flusso di piccole, microscopiche particelle caricate elettricamente, chiamate *elettroni*. Dove si trovano, esattamente, gli elettroni e perché si spostano? Per trovare la risposta bisogna vedere come è fatto un atomo.

Che cos'è l'elettricità?

La verità è che l'elettricità non è poi così semplice. Il termine "elettricità" è ambiguo, spesso contraddittorio e può portare a fare confusione, anche fra scienziati e docenti. In generale, il termine "elettricità" ha a che fare con il modo in cui determinati tipi di particelle presenti in natura interagiscono fra loro quando alcune di esse si muovono in una determinata "zona".

Invece di parlare di elettricità, sarebbe meglio utilizzare altri termini più precisi per descrivere gli oggetti elettrici. Eccone alcuni.

✓ **Carica elettrica:** una proprietà fondamentale (ovvero da non mettere in discussione) di determinate particelle, che descrive il modo in cui interagiscono fra loro. La carica elettrica può essere di due tipi: positiva o negativa. Le particelle dello stesso tipo (positive o negative) si respingono, mentre le particelle di tipo opposto si attraggono.

✓ **Energia elettrica:** una forma di energia provocata dal comportamento delle particelle dotate di carica elettrica. È proprio per avere un'erogazione di energia elettrica che pagate la "bolletta" al vostro fornitore.

✓ **Corrente elettrica:** il flusso di particelle dotate di carica elettrica. Questo è probabilmente il concetto di elettricità che conoscete meglio, e sarà anche l'argomento di questo capitolo.

Dunque, se state semplicemente facendo quattro chiacchiere alla macchinetta del caffè in ufficio, potete tranquillamente usare la parola elettricità per descrivere ciò che fa funzionare la console dei videogiochi; ma se utilizzate questa parola in contesti più tecnici, magari parlando a persone dotate di conoscenze nel campo della fisica, potrebbero guardarvi un po' storto.

Gli elettroni danno la carica!

Gli *atomi* sono gli elementi costitutivi di tutto ciò che esiste nell'universo, che sia naturale o artificiale. Sono talmente piccoli che ne servono a milioni anche per fare un singolo granello di polvere. Immaginatevi di quanti atomi possa essere composto un lottatore di sumo! Gli elettroni si trovano in ogni singolo atomo dell'universo, orbitanti attorno al centro dell'atomo, il *nucleo*. Tutti gli elettroni sono dotati di una carica elettrica negativa e sono attratti da altre piccole particelle chiamate *protoni*, che sono dotate di una carica elettrica positiva e che si trovano all'interno del nucleo.



La *carica elettrica* è una proprietà di determinate particelle, come gli elettroni, i protoni e i quark e descrive il modo in cui esse interagiscono fra loro. Vi sono due diversi tipi di carica elettrica chiamati, arbitrariamente, “positivo” e “negativo” (avrebbero potuto chiamarsi “Pierino” e “Isotta” oppure “nord” e “sud”, ma questi nomi erano già impegnati). In generale le particelle dotate dello stesso tipo di carica si respingono, mentre le particelle dotate di cariche differenti si attraggono. Questo è il motivo per cui gli elettroni e i protoni si trovano, reciprocamente, così “attraenti”.

In circostanze normali, ogni atomo contiene lo stesso numero di protoni ed elettroni e l’atomo si dice essere *elettricamente neutro*. La forza attrattiva fra protoni ed elettroni agisce come una sorta di “elastico” invisibile, mantenendo unite le particelle dell’atomo, un po’ come la forza gravitazionale della Terra mantiene sempre “qua attorno” la Luna. Gli elettroni più vicini al nucleo vengono trattenuti nell’atomo con una forza più intensa rispetto a quelli che si trovano più distanti dal nucleo; alcuni atomi trattengono i propri elettroni con estremo rigore, mentre altri sono un po’ più tolleranti.

Elettroni in movimento nei materiali conduttori

Certi materiali, per esempio l’aria o la plastica, che amano trattenere i propri elettroni, sono chiamati *isolanti*. Altri materiali, come il rame, l’alluminio e altri metalli, che contengono elettroni esterni che hanno legami deboli con il loro nucleo, sono chiamati *conduttori*.

Nei metalli, gli elettroni esterni vengono trattenuti con talmente poca forza che molti di essi si liberano dalla forza d’attrazione del nucleo e passano da un atomo all’altro. Questi elettroni “liberi” sono come pecore che pascolano su una collina: vagano qua e là, ma non si allontanano mai molto, lungo una determinata direzione. Ma se date agli elettroni liberi un qualche motivo per procedere in una direzione ben precisa, si metteranno a correre con decisione

nella direzione desiderata. La *corrente elettrica* è esattamente questo movimento in massa degli elettroni attraverso un materiale conduttore, nel momento in cui viene applicata loro una forza esterna (una “spinta”).

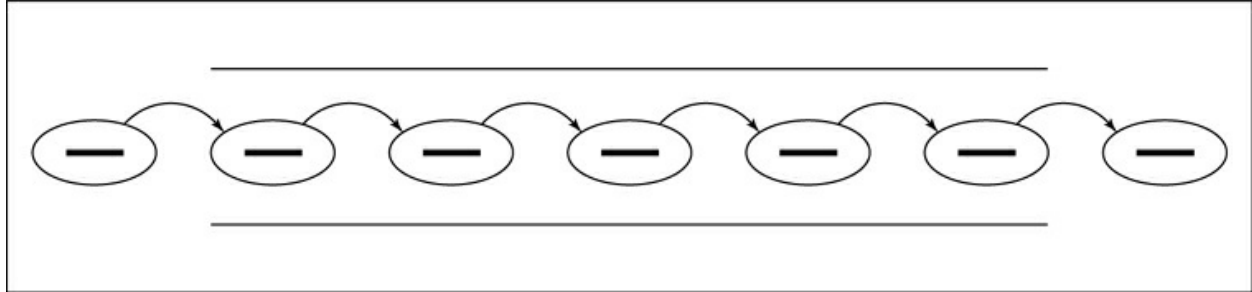


Figura 1.2 Il flusso degli elettroni attraverso un conduttore è un po' come una catena umana di secchi, di quelle per spegnere gli incendi.

Questo flusso di corrente elettrica sembra verificarsi istantaneamente. Questo è dovuto al fatto che tutti gli elettroni liberi, da un'estremità all'estremità opposta del conduttore, iniziano a muoversi praticamente all'unisono.

Pensate a una catena di persone con secchi d'acqua, impegnati a spegnere un incendio: avete una fila di persone, ognuna delle quali è dotata di un secchio d'acqua. Una persona a un'estremità riempie il secchio d'acqua e la persona all'estremità opposta vuota il secchio. Ogni persona passa il proprio secchio al vicino alla sua destra e accetta un secchio dal vicino a sinistra. Anche se ogni secchio si muove solo di uno spazio molto breve (da una persona a quella vicina), quello che accade è che il secchio d'acqua viene trasportato da un'estremità della fila all'estremità opposta. Analogamente, con la corrente elettrica, nel momento in cui ogni elettrone si sposta di un atomo lungo il percorso conduttivo, si ha l'impressione che tutti gli elettroni si stiano muovendo istantaneamente da un'estremità del conduttore a quella opposta (Figura 1.2).



La corrente elettrica è una questione di piccole cose, che talvolta interagiscono in grandi quantità e pertanto ha bisogno di specifiche unità di

misura. Un *coulomb*, per esempio, è definito come la carica trasportata da $6,24 \times 10^{18}$ (in pratica il numero 624 seguito da ben 16 zeri) elettroni. Se un coulomb di carica si muove da un punto a un altro nell'arco di un secondo, diciamo che la potenza della corrente elettrica è di *un ampere* (abbreviato con 1 A). Si tratta di una grande quantità di elettroni in movimento, molto, molto di più di quanti siano normalmente presenti nei sistemi elettronici. Molto più spesso la corrente viene pertanto misurata in *milliampere* (mA). Un milliampere equivale, prevedibilmente, a un millesimo di ampere.

Diamo una gomitata agli elettroni

La corrente elettrica è data da un flusso di elettroni carichi che attraversano un conduttore nel momento in cui viene applicata loro una forza. Ma quale può essere la forza che fa sì che gli elettroni si muovano armonicamente nella stessa direzione? Chi comanda questa “catena dei secchi” degli elettroni?



La forza che fa procedere gli elettroni è chiamata *tensione* ed è misurata in unità chiamate *volt* (abbreviazione V). Applicate sufficiente tensione a un conduttore e gli elettroni liberi che vi si trovano inizieranno a spostarsi tutti nella stessa direzione; come pecore lungo un sentiero, solo un po' più veloci.

Potete paragonare la tensione a una “pressione” idraulica applicata all'elettricità. Come la pressione spinge l'acqua attraverso tubature e rubinetti, così la tensione spinge gli elettroni attraverso il conduttore. Maggiore è la pressione, maggiore sarà il getto d'acqua; maggiore è la tensione, maggiore sarà la corrente elettrica che fluisce attraverso il conduttore.



Nell'ambito della tensione, potreste aver sentito parlare di *differenza di*

potenziale, potenziale di tensione, caduta potenziale o caduta di tensione.
Non fatevi confondere da questi termini. Ne ripareremo nel [Capitolo 2](#).

Sperimentare l'elettricità

Potete sperimentare personalmente l'esperienza del flusso di elettroni sfregando i piedi su un tappeto in una giornata secca e provando, poi, a toccare la maniglia di una porta; quella scossa che sentite (e anche la scintilla che potreste vedere) è il risultato del rapido passaggio delle particelle dotate di carica elettrica dalla punta delle vostre dita alla maniglia, una forma di elettricità chiamata *elettricità statica*. L'elettricità statica è l'accumulazione di particelle dotate di carica elettrica che rimangono, appunto, "statiche", ferme, finché non vengono richiamate da un gruppo di particelle dotate di carica elettrica opposta.

Il fulmine è un altro esempio di elettricità statica (anche se vi sconsigliamo di sperimentarlo), in cui delle particelle cariche si scaricano da una nube a un'altra o da una nube a terra. Quando delle particelle caricate elettricamente si spostano, rilasciano energia (da qui derivano la scossa e le scintille).

Se riuscite a convincere un numero sufficiente di particelle cariche a spostarsi e fate in modo di poter sfruttare l'energia che rilasciano, potete utilizzare tale energia per alimentare lampadine e ogni altro apparecchio elettrico.

Sfruttare l'energia elettrica per svolgere un lavoro

Ben Franklin è stato uno dei primi a osservare e sperimentare l'elettricità e ne

ha tratto molti termini e concetti (uno per tutti, *corrente*) che utilizziamo tutt'ora, anche nel linguaggio comune. Contrariamente a quanto si possa pensare, non era Franklin a *tenere* il cavo dell'aquilone che volava nel corso del famoso temporale del 1752 (se fosse stato lui, non avrebbe potuto partecipare alla Rivoluzione Americana). Può anche aver eseguito l'esperimento, ma non trattenendo il cavo.

Franklin sapeva che l'elettricità può essere potente ma anche pericolosa e il suo lavoro portò altri a riflettere sul fatto che ci fosse un modo per utilizzare l'elettricità per applicazioni pratiche. Scienziati come Michael Faraday, Thomas Edison e altri si spinsero più avanti nel lavoro di Franklin e immaginarono dei modi per far buon uso dell'energia elettrica.



Dato che cominciamo a parlare di sfruttare l'energia elettrica, abituatevi a dare un'occhiata all'icona "ATTENZIONE" rappresentata a sinistra e ricordate che oltre 250 anni fa, Ben Franklin aveva conoscenze sufficienti per premunirsi contro le forze elettriche sviluppate dalla natura. Anche voi dovrete rispettarle allo stesso modo. Anche piccole quantità di corrente elettrica possono essere pericolose (perfino fatali) se le circostanze sono sfavorevoli. Nel [Capitolo 9](#) parleremo dei danni che la corrente può infliggere e delle precauzioni che occorre prendere per lavorare in tutta sicurezza con i componenti elettronici. Considerate questa nota come un avvertimento preventivo!

In questo paragrafo parleremo del modo in cui gli elettroni trasportano l'energia e del modo in cui tale energia può essere applicata per ottenere un lavoro.

Mettere in moto l'energia elettrica

Mentre gli elettroni corrono lungo un materiale conduttore, trasportano energia da un'estremità all'altra di tale conduttore. Poiché cariche uguali si

respingono, ogni elettrone esercita sull'elettrone adiacente una forza repulsiva senza alcun contatto, spingendolo a muoversi lungo il conduttore. Questo è il motivo per cui l'energia elettrica si propaga lungo il conduttore.

Se riuscite a trasportare tale energia fino a un oggetto che consente di impiegarla per svolgere un lavoro, per esempio una lampadina, un motore o un altoparlante, potete riuscire a farne buon uso. L'energia elettrica trasportata dagli elettroni viene assorbita dall'oggetto e trasformata in un'altra forma di energia, che può essere energia luminosa, termica, meccanica e così via. Questo è il modo in cui il filamento inizia a brillare, l'albero del motore inizia a girare e la membrana dell'altoparlante inizia a vibrare.



Poiché non potete vedere (e probabilmente non volete neppure toccare), il flusso degli elettroni, fate il paragone con l'acqua per comprendere meglio il modo in cui sfruttare l'energia elettrica. Una singola goccia d'acqua può fare ben poco (e anche procurare pochi danni), ma prendendo una grande quantità di gocce d'acqua e mettendole a lavorare insieme, infilandole in una condotta e dirigendo il flusso d'acqua verso un oggetto (per esempio la ruota di un mulino ad acqua), potrete fare buon uso dell'energia da esse prodotta. Come milioni di gocce d'acqua che scorrono nella stessa direzione costituiscono una corrente idraulica, così milioni di elettroni che scorrono nella stessa direzione costituiscono una corrente elettrica. In pratica, Benjamin Franklin sviluppò l'idea che l'elettricità potesse comportarsi come un fluido e avesse proprietà simili, come la corrente e la pressione (certamente, però, vi avrebbe sconsigliato di berla).

Ma da dove proviene l'energia originale, ciò che mette in movimento gli elettroni? Proviene da una "sorgente" di energia elettrica, come una batteria (parleremo delle fonti di elettricità nel [Capitolo 2](#)).

Assicurarsi che gli elettroni arrivino a destinazione

La corrente elettrica non scorre dappertutto (se lo facesse, saremmo costantemente sottoposti a scosse). Gli elettroni scorrono solo se si offre loro un percorso conduttivo chiuso, un *circuito*, che essi possono seguire, e si avvia il flusso con una batteria o un'altra fonte di energia elettrica. Il rame, e altri materiali conduttori, vengono comunemente trafilati per produrre cavo, il quale garantisce un percorso per il flusso di elettroni liberi, in modo da poter dirigere l'energia elettrica verso una lampadina o, in generale, verso un oggetto che la utilizzerà. Esattamente come le tubature dell'acqua, più grosso è il cavo, più liberamente potranno scorrere gli elettroni.

Se c'è un'interruzione lungo il percorso (il *circuito* è *aperto*), gli elettroni smetteranno di scorrere, e gli atomi del metallo nel cavo torneranno immediatamente alla loro pacifica esistenza elettricamente neutra.

Immaginatevi un litro d'acqua che scorre all'interno di un tubo aperto. L'acqua scorrerà per un po', ma poi si fermerà, nel momento in cui tutta l'acqua è uscita dall'estremità opposta del tubo. Se invece pompate acqua attraverso un sistema di tubature chiuso, l'acqua continuerà a scorrere fintantoché la costringerete a muoversi. Per mantenere in movimento gli elettroni, dovete connettere il tutto insieme, a formare un grosso *circuito elettrico*. Come si può vedere nella [Figura 1.3](#), ogni circuito ha bisogno di almeno tre elementi di base per garantire che gli elettroni si attivino e forniscano la propria energia a qualcosa che sia poi in grado di svolgere del lavoro.

✓ **Una fonte di energia elettrica:** la fonte fornisce la forza che spinge gli elettroni attraverso il circuito. Potete anche sentir parlare dei termini *sorgente elettrica*, *fonte di energia*, *fonte di tensione* e *fonte di alimentazione* quando si parla di energia elettrica. Parleremo delle fonti di energia elettrica nel [Capitolo 2](#).

Gli elettroni forniscono energia

Per gli elettroni che forniscono energia a una lampadina o a un altro apparecchio, la parola “lavoro” ha un significato davvero fisico.

Lavoro è una misura dell'energia consumata dal dispositivo nel corso di un certo tempo quando viene applicata una determinata forza (tensione) a un gruppo di elettroni nell'apparecchio. Più elettroni si spingono, e più intensamente vengono spinti, più energia elettrica sarà disponibile e più lavoro potrà essere eseguito (per esempio si può aumentare la luminosità della lampadina o accelerare la rotazione del motore). L'energia totale consumata nello svolgimento del lavoro nel corso di un determinato periodo è chiamata *potenza* e viene misurata in *watt*. La potenza si calcola moltiplicando la forza (tensione) per l'intensità del flusso di elettroni (corrente):

$$\text{potenza} = \text{tensione} \times \text{corrente}$$

I calcoli della potenza sono davvero importanti in elettronica, in quanto aiutano a comprendere quanta energia i componenti elettronici intendono (e sono in grado) di sopportare senza danneggiarsi. Se inviate troppi elettroni a un determinato componente elettronico, potrebbe generarsi una quantità eccessiva di calore, che finirebbe per bruciare il componente. Molti componenti elettronici riportano un'indicazione di capacità massima, per evitare che possiamo surriscaldarli. Ne riparleremo nei prossimi capitoli, quando introdurremo i vari componenti e le loro caratteristiche elettriche.

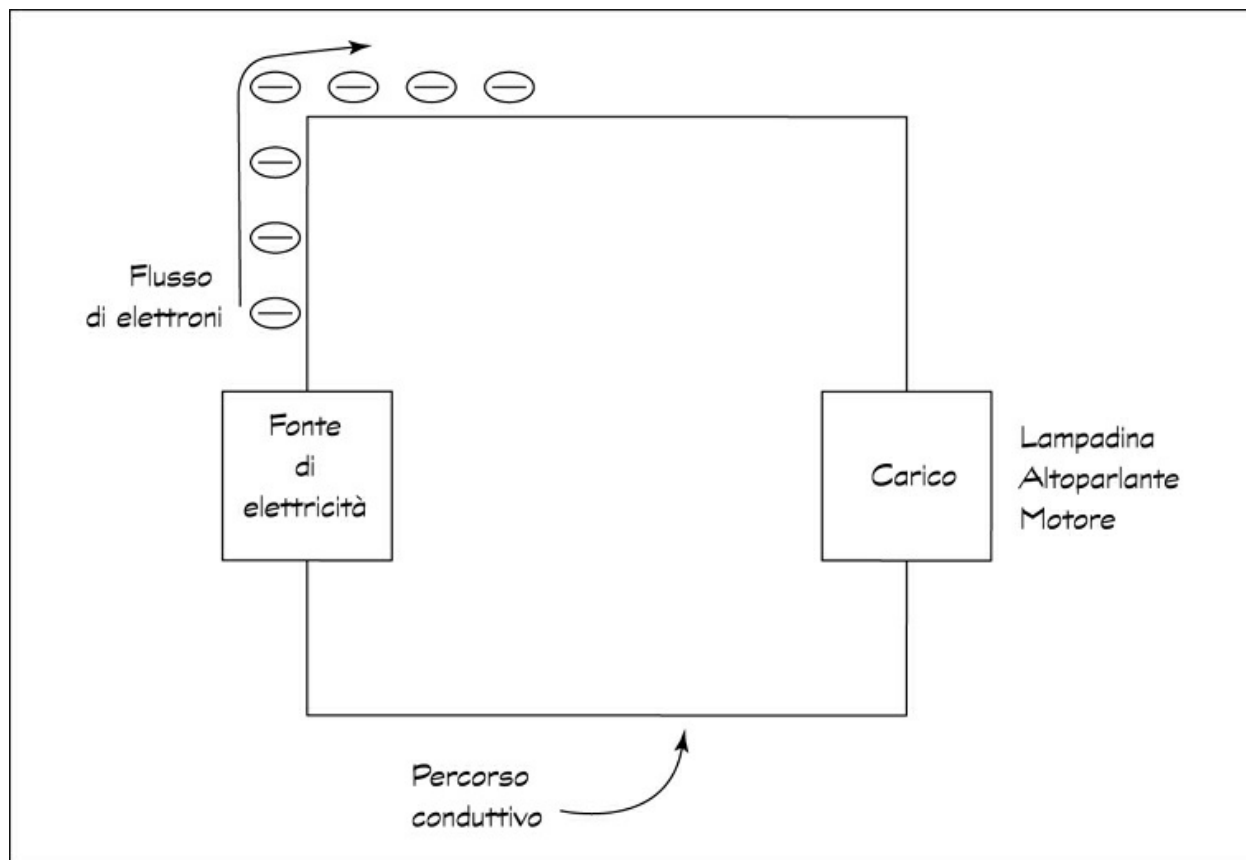


Figura 1.3 Un circuito è costituito da una fonte di alimentazione, un carico e un percorso per la corrente elettrica.

- ✓ **Un carico:** il carico è qualcosa che assorbe dell'energia elettrica in un circuito (per esempio una lampadina o un altoparlante). Potete considerare il carico come la destinazione dell'energia elettrica.
- ✓ **Un percorso:** un percorso conduttivo che consenta il passaggio degli elettroni fra la fonte di energia e il carico.

Una corrente elettrica inizia con una “spinta” dalla sorgente e scorre lungo l'intero percorso, fino al carico, dove l'energia elettrica fa accadere qualcosa (per esempio produce l'emissione di una luce).

Ma quante cose sanno fare gli elettroni?!

Immaginate di applicare una corrente elettrica a una coppia di altoparlanti senza usare nulla per controllare o “dare forma” alla corrente. Cosa potreste sentire? Di sicuro non musica! Utilizzando la combinazione corretta di componenti elettronici assemblati nel modo corretto, potrete controllare il modo in cui vibra la membrana di ogni altoparlante, producendo suoni riconoscibili, come il parlato o la musica. Sono davvero tante le cose che è possibile fare con la corrente elettrica una volta imparato a controllare il flusso degli elettroni.



L'elettronica si occupa dell'uso di elementi specializzati chiamati *componenti elettronici* (per esempio resistenze, condensatori, induttanze e transistor, di cui parleremo, rispettivamente, nei [Capitoli 3, 4, 5 e 6](#)) per controllare la corrente (ovvero il flusso di elettroni) in modo da poter svolgere determinate funzioni.

I dispositivi elettronici usano alcuni componenti per controllare il flusso di corrente. Il variatore che controlla la quantità di corrente che raggiunge una lampadina è un tipico esempio. Ma molti sistemi elettronici sono ben più complessi: connettono fra loro grandi quantità di singoli componenti a formare uno o più circuiti che operano con un obiettivo ben preciso. Una volta che avrete compreso come funzionano i singoli componenti elettronici e come applicare loro alcuni principi di base, potrete iniziare a realizzare interessanti circuiti elettronici.

Questa parte finale del capitolo fornisce alcuni esempi del genere di cose che potete fare controllando gli elettroni tramite circuiti elettronici.

Buone vibrazioni!

I componenti elettronici presenti nell'iPod, nell'autoradio e in altri sistemi audio convertono l'energia elettrica in energia acustica. In tutti questi casi, gli altoparlanti del sistema sono il carico, una destinazione dell'energia elettrica,

e il lavoro compiuto dai componenti elettronici del sistema consiste nel dare una “forma” corretta al flusso di corrente diretta verso le casse acustiche, per far sì che la membrana degli altoparlanti si muova in modo da riprodurre il suono originale.

Vedere per credere

Nei sistemi visuali, i componenti elettronici controllano la temporizzazione e l'intensità delle emissioni luminose. Molti dispositivi a telecomando, come quello della tv, emettono una “luce” a infrarossi premendo un pulsante; lo specifico schema della “luce” emessa si comporta come una sorta di codice per il dispositivo controllato.

La superficie interna del tubo catodico di un televisore tradizionale (ma esistono ancora?) è rivestita di fosfori che si illuminano quando vengono colpiti dal flusso di elettroni in movimento all'interno del tubo. I circuiti elettronici interni dell'apparecchio tv controllano la direzione e l'intensità del flusso di elettroni, determinando pertanto l'immagine che compare sullo schermo televisivo, l'immagine che guardate.

Rilevamento e allarmi

L'elettronica può anche essere utilizzata per far accadere qualcosa in risposta a un determinato livello di luce, calore, suono o movimento. I *sensori* elettronici generano o modificano una corrente elettrica come risposta a uno stimolo. I microfoni, i rilevatori di movimento, i sensori di temperatura e i sensori luminosi possono essere utilizzati per attivare altri componenti elettronici, in modo che svolgano determinate azioni; per esempio possono aprire una porta automatica o attivare una sirena.

Controllo del movimento

Un utilizzo comune dell'elettronica consiste nel controllo dell'accessione e della velocità dei motori. Collegando ai motori altri oggetti (una coppia di ruote, i flap di un aereo o una giostrina da bambini), potete utilizzare

l'elettronica per controllare il loro movimento. Questi componenti elettronici sono comuni nei sistemi robotici, negli aerei, nelle navicelle spaziali, negli ascensori e in molti altri oggetti.

Soluzione di problemi (computer)

Esattamente come gli antichi (stiamo parlando di gente che viveva molto tempo fa, non dei vostri bisnonni) usavano l'abaco per eseguire operazioni aritmetiche, ora noi impieghiamo calcolatori elettronici e computer. Con l'abaco, i numeri venivano rappresentati da palline e i calcoli venivano eseguiti manipolando queste palline. Nei sistemi computerizzati, vengono utilizzati specifici schemi di energia elettrica per rappresentare numeri, lettere e altre informazioni e i calcoli vengono eseguiti manipolando questi schemi tramite componenti elettronici. Naturalmente, i singoli elettroni all'interno del computer non hanno alcuna idea del fatto che stiano macinando numeri! Avendo a disposizione un sistema di decodifica, potete tradurre lo schema risultante in un numero e potete far sì che l'elettronica del monitor presenti tale numero sullo schermo.

Comunicazioni

I circuiti elettronici del telefono cellulare convertono il suono della vostra voce in segnali elettrici, trasformano tali segnali (li comprimono e codificano per la trasmissione), convertono il tutto in un segnale radio e poi li inviano nell'etere, verso un traliccio per comunicazioni. Altri circuiti elettronici del vostro apparecchio rilevano i messaggi in arrivo dal traliccio, li decodificano e convertono il segnale radio nei suoni corrispondenti alla voce del vostro amico (tramite un altoparlante).

I sistemi di telecomunicazione, che utilizzate ogni volta che effettuate un acquisto online, utilizzano l'elettronica per convertire i vostri desideri in ordini, normalmente prelevando denaro dal vostro conto corrente.

Capitolo 2

Trasformare l'elettricità per far accadere qualcosa

In questo capitolo

Mettere in moto gli elettroni.

Trovare una fonte di potenza elettrica.

Essere positivi nella direzione della corrente.

Fare luce su un circuito in azione.

Controllare il flusso di elettroni.

Inviare la corrente di qua e di là.

L'elettronica è tutta una questione di controllo del flusso di elettroni (la corrente elettrica) attraverso materiali conduttori che formano un percorso chiuso (il circuito) in modo che l'energia elettrica erogata a un carico (per esempio una lampadina, un motore o un altoparlante) venga “conformata” nel modo corretto. Manipolando il flusso degli elettroni, i componenti elettronici consentono di fare qualcosa di più interessante con l'elettricità, come alterare il suono prodotto dagli altoparlanti, cambiare la direzione e la velocità di rotazione dei motori, controllare l'intensità e la temporizzazione delle luci e molte altre cose ancora. In altre parole, l'elettronica non crea elettricità, la “addomestica”.

In questo capitolo impareremo a far sì che gli elettroni scorrano attraverso un circuito e scopriremo perché la comune corrente può essere considerata come

un flusso di elettroni che si muovono... al contrario. Esploreremo anche i dettagli di un semplice circuito elettronico e vedremo vari modi per connettere i componenti elettronici, per iniziare a conformare e indirizzare la corrente nel modo desiderato all'interno dei circuiti. Infine daremo un'occhiata al modo in cui due apparecchi elettronici ben noti (la radio e l'apparecchio tv) usano la corrente elettrica per garantire il nostro intrattenimento.

Erogare energia elettrica

Se prendiamo un cavo di rame e formiamo un anello unendo e attorcigliando le due estremità, pensiamo che gli elettroni liberi scorrano al suo interno? Certamente, gli elettroni del rame si sposteranno un po', data la loro grande facilità di movimento, ma se non vi è una forza a spingerli in una direzione o nell'altra, non avrete alcun flusso di corrente.

Pensiamo al movimento dell'acqua ferma e chiusa in un tubo: l'acqua può anche spostarsi un po', all'interno del tubo, ma non può scorrervi per conto proprio. Occorre introdurre una forza, una differenza di pressione, in modo da ottenere l'energia necessaria per generare un flusso di corrente all'interno della tubatura.

Un circuito ha bisogno di una *fonte di elettricità* (di energia elettrica) per far scorrere gli elettroni. Due esempi comuni sono le batterie e le celle solari; l'energia elettrica disponibile comunemente dalle prese da parete può provenire da varie fonti, garantite dal vostro fornitore. Ma che cos'è, esattamente, una fonte di elettricità? Come si “ottiene” l'energia elettrica?

Tutte le fonti di elettricità operano convertendo in energia elettrica un'altra forma di energia, per esempio meccanica, chimica, termica, luminosa. Il modo esatto in cui l'energia elettrica viene generata da una fonte è importante, poiché fonti differenti producono tipi differenti di corrente elettrica. I due diversi tipi di corrente elettrica sono i seguenti.

✍ **Corrente Continua (CC o DC, Directional Current):** un flusso

continuo di elettroni in una determinata direzione, con variazioni molto limitate nell'intensità della corrente. Per esempio, le batterie, le comuni pile, producono corrente continua e la maggior parte dei circuiti elettronici utilizza corrente continua.

✓ **Corrente alternata (CA o AC, Alternating Current):** un flusso variabile di elettroni che cambia direzione periodicamente. I fornitori di energia elettrica portano alle prese di casa proprio corrente alternata.

Trarre corrente continua da una batteria

Una batteria converte l'energia chimica in energia elettrica grazie a una *reazione elettrochimica*. Quando due metalli differenti vengono immersi in una soluzione chimica di un certo tipo, gli atomi dei metalli reagiscono con gli atomi della soluzione, producendo particelle cariche. In una delle due piastre metalliche si raggruppano delle cariche negative, mentre all'altra piastra si raggruppano cariche positive. La differenza di carica fra i due terminali metallici (un *terminale* è semplicemente un frammento di metallo, al quale sono collegati dei cavi) crea una tensione. Tale tensione è esattamente la forza di cui gli elettroni hanno bisogno per “correre” in un circuito.

Per impiegare una batteria in un circuito, connettete un'estremità del carico (per esempio una lampadina) al terminale negativo (chiamato *anodo*) e l'altra estremità del carico al terminale positivo (chiamato *catodo*). Avete così creato un percorso chiuso che consente alle cariche di spostarsi e agli elettroni di correre dall'anodo, attraverso il circuito, verso il catodo. Mentre le cariche attraversano il filamento della lampadina, una parte dell'energia elettrica fornita dalla batteria viene convertita in calore e il filamento diviene incandescente.

Poiché gli elettroni si spostano sempre in una sola direzione (sempre dall'anodo, attraverso il circuito, verso il catodo) la corrente elettrica generata da una batteria è detta corrente continua ([Figura 2.1](#)). Una batteria continua a generare corrente elettrica fino a che tutti i composti chimici al suo interno si

sono esauriti attraverso la reazione elettrochimica.

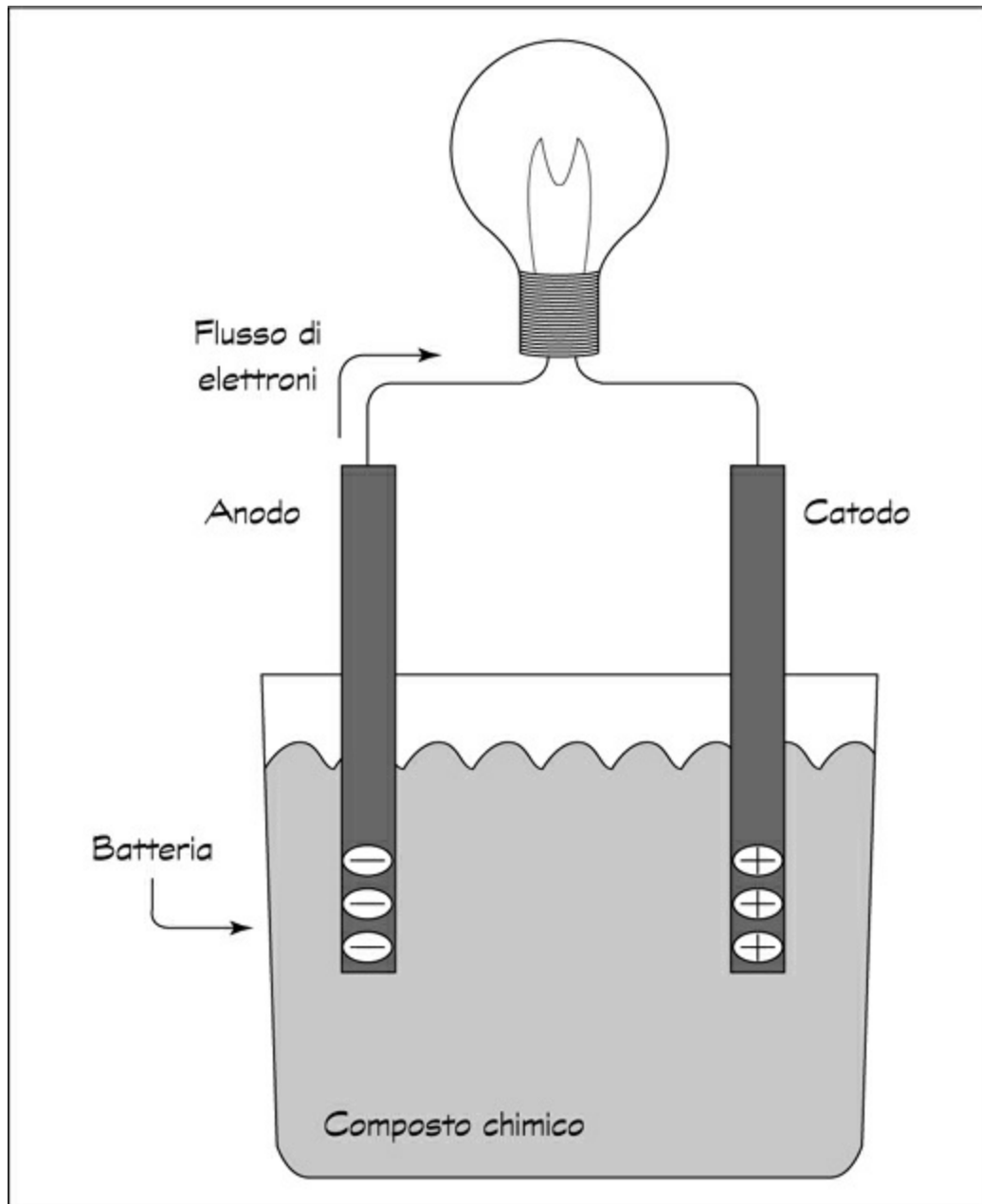


Figura 2.1 La corrente continua generata da una batteria: una reazione chimica produce degli elettroni che scorrono in una direzione, dall'anodo, attraverso il circuito, verso il catodo.

Le batterie mini-stilo, stilo, mezza torcia e torcia (chiamate in codice rispettivamente AAA, AA, C e D) che potete acquistare quasi ovunque

generano, ognuna, circa 1,5 V, indipendentemente dalle dimensioni. La differenza dimensionale di queste batterie determina principalmente la quantità di corrente che la batteria può erogare. Maggiori sono le dimensioni delle batterie, più corrente possono erogare e maggiore sarà la loro durata. Pertanto, batterie di maggiori dimensioni sono in grado di supportare carichi più “pesanti”, un altro modo per dire che possono produrre più energia (ricordate che potenza = tensione X corrente), e dunque possono svolgere più lavoro.



Tecnicamente, una singola batteria non è, in realtà, una vera “batteria” (ovvero un gruppo di unità che operano insieme); è semplicemente una *pila* (una delle unità che compongono una batteria). Se connettete insieme più pile, come capita frequentemente nelle torce e nei giocattoli, *solo allora* avrete creato una vera “batteria” di pile. La batteria della vostra auto è costituita da sei celle, ognuna delle quali genera 1,5 V, connesse insieme per produrre un totale di 12 V. Parleremo dei vari tipi di pile (e del modo in cui connetterle per creare tensioni più elevate) nel [Capitolo 8](#).



Questo è il simbolo comunemente utilizzato per rappresentare una batteria nello schema di un circuito. Il segno “+” indica il catodo e il segno “-” indica l’anodo. Normalmente insieme al simbolo è indicata la tensione della batteria.

Trarre corrente alternata da un impianto di alimentazione

Quando collegate una lampada a una presa di corrente domestica, utilizzate l’energia elettrica che è stata prodotta da un impianto di generazione. Una centrale elettrica impiega risorse naturali (acqua, carbone, petrolio, gas naturale o uranio) e le elabora per produrre energia. Questo è il motivo per

cui si dice che l'energia elettrica è una fonte di energia *secondaria*: perché è generata attraverso la conversione di una fonte di energia primaria.

Molte centrali usano l'energia termica generata da reazioni nucleari o dalla combustione di materiali fossili per trasformare l'acqua in vapore. Poi il vapore esercita una pressione sulle pale di una turbina, mettendola in rotazione. Le centrali idroelettriche, situate in prossimità delle dighe, usano la pressione dell'acqua, mentre le pale eoliche usano l'energia del vento per mettere in rotazione le turbine. Le turbine delle centrali elettriche sono connesse a generatori elettromeccanici, che convertono l'energia meccanica (in questo caso il movimento della turbina) in energia elettrica. Un generatore è costituito da un avvolgimento di cavo posto in un grosso magnete permanente. Quando la turbina ruota, insieme a essa ruota l'avvolgimento di cavo e, di conseguenza, all'interno del cavo viene *indotta* della corrente elettrica. È semplicemente un modo tecnico per dire che “qualcosa” fa in modo che gli elettroni scorrano, senza che questo “qualcosa” abbia un contatto diretto con il cavo.



Il flusso di elettroni può essere indotto facendo scorrere un cavo in prossimità di un magnete o un magnete in prossimità di un cavo. Questa operazione è chiamata *induzione elettromagnetica* e dice quanto stretta sia la relazione esistente fra magnetismo ed elettricità. Ne ripareremo nel [Capitolo 5](#), quando parleremo di induttori.

Mentre l'avvolgimento ruota all'interno del magnete, il magnete fa in modo che gli elettroni scorrano in una direzione; ma quando l'avvolgimento ha eseguito una rotazione di 180° , il magnete spinge gli elettroni nella direzione opposta. In pratica, gli elettroni fanno una brusca “inversione a U” e tornano indietro: per questo si parla di *corrente alternata*.

Nelle centrali elettriche italiane, l'avvolgimento esegue 50 rotazioni complete al secondo e pertanto il flusso di elettroni cambia direzione 100 volte al secondo. Quando il cambiamento nel flusso di elettroni esegue un giro

completo (e ciò avviene 50 volte al secondo), si parla di *ciclo*. Il numero di cicli al secondo nella corrente alternata è chiamata *frequenza* ed è misurato in unità dette *hertz*, abbreviate con Hz. In Europa la corrente alternata viene normalmente generata a 50 Hz, mentre negli Stati Uniti e in Canada viene utilizzato lo standard a 60 Hz. In ogni caso, praticamente ogni paese noto utilizza corrente a 50 o 60 Hz.



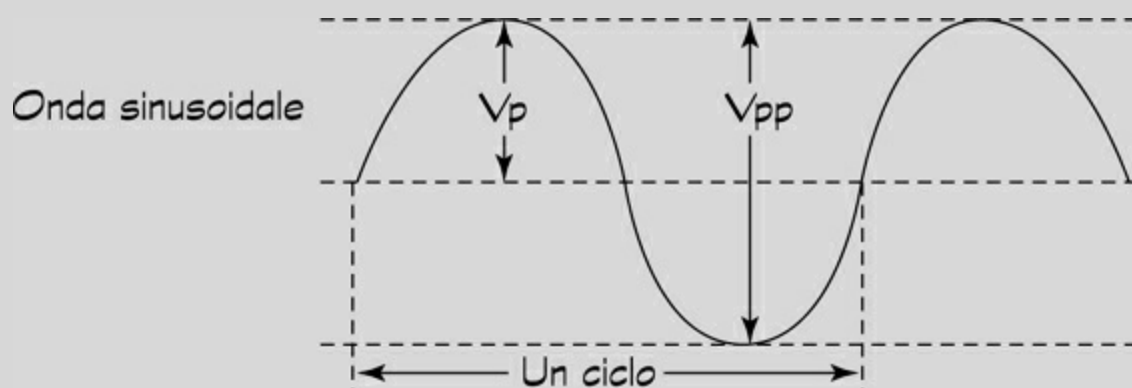
Questo simbolo viene utilizzato negli schemi dei circuiti per indicare una sorgente di tensione in corrente alternata. La corrente alternata viene normalmente generata a 13.800 V e viene poi *elevata* per trasmetterla a lunghe distanze. Quando raggiunge la destinazione, viene *ridotta* a 220 V per essere distribuita nelle case e nelle aziende. Pertanto l'elettricità fornita da una presa elettrica sarà di 220 V in corrente alternata (220 CA), ovvero si tratta di corrente alternata a 220 V.

La maggior parte dei dispositivi elettronici (per esempio i computer portatili) impiega energia elettrica in corrente continua e pertanto, partendo dalla corrente alternata fornita da una presa domestica, è necessario impiegare un apparecchio in grado di convertire la corrente alternata in corrente continua. Gli *alimentatori regolati*, chiamati anche *adattatori AC-DC* o *adattatori AC* non creano energia: convertono la corrente alternata in corrente continua e vengono normalmente forniti insieme ai dispositivi elettronici al momento dell'acquisto. Pensate al caricabatteria del telefono cellulare; quella piccola “scatolina” sostanzialmente converte la corrente alternata della presa domestica in corrente continua che la batteria del telefono cellulare può utilizzare per ricaricarsi.

Cavalcare l'onda (sinusoidale)

Poiché la corrente alternata cambia costantemente direzione, non è possibile descriverne la potenza con un unico numero, come si può fare con la corrente continua. Un modo comune per parlare delle sue

variazioni consiste nell'osservare la sua *forma d'onda*, l'aspetto della corrente nel corso del tempo. La forma d'onda della corrente alternata mostra le fluttuazioni della corrente, dove la "corrente positiva" rappresenta il flusso degli elettroni in una direzione e la "corrente negativa" rappresenta il flusso degli elettroni nella direzione opposta. La *corrente istantanea* è la forza della corrente in un determinato istante e la *corrente di picco* è l'entità (il valore assoluto) della corrente ai suoi punti di massimo e minimo. Poiché potete utilizzare la funzione matematica seno per descrivere la corrente in un determinato istante, le forme d'onda della corrente alternata vengono chiamate *onde sinusoidali*. Se sentite riecheggiare vecchi ricordi di trigonometria, avete perfettamente ragione, ma non preoccupatevi: non avrete bisogno di spolverare i libri di scuola! Vogliamo solo che sappiate che il termine "seno" viene utilizzato anche in elettronica. Le forme d'onda vengono utilizzate anche per descrivere una tensione di fluttuazione, chiamata *tensione CA*. La *tensione di picco* (simboleggiata da V_p) è l'entità della tensione più elevata. Potreste sentir parlare anche del termine *tensione picco-picco* (simboleggiata con V_{pp}), che misura la differenza fra la tensione più elevata e più bassa nella forma d'onda, ovvero il doppio del valore di picco. Un altro termine impiegato è *tensione rms* (simboleggiata con V_{rms}) che è l'abbreviazione di *root-mean-square* e viene utilizzata nei calcoli di alimentazione per confrontare gli effetti della corrente alternata con quelli della corrente continua. Esiste una formula matematica per calcolare questo valore, che risulta essere 0,7071 volte il valore di picco della tensione.



Trasformare la luce in elettricità

Le celle solari, ovvero i *pannelli fotovoltaici*, producono una piccola tensione quando vengono esposti alla luce. Sono costituiti da *semiconduttori*, materiali che sono un po' a metà fra conduttori e isolanti in termini di capacità di trasmettere i propri elettroni. Parleremo in dettaglio dei semiconduttori nel [Capitolo 6](#). La quantità di tensione prodotta da una cella solare è abbastanza costante, indipendentemente dalla quantità di luce che la colpisce, mentre la *forza* della corrente che è possibile trarne dipende dall'intensità della luce: più luce, più corrente.

I pannelli solari sono dotati di cavi, connessi a due terminali, per condurre gli elettroni attraverso i circuiti, in modo che possiate usarli per alimentare il vostro computer o le luci del giardino, per illuminare il vialetto di casa. Le celle solari possono essere impiegate in serie per alimentare sistemi stradali di emergenza, cabine telefoniche o le luci di un parcheggio, ma probabilmente non avrete mai avuto occasione di vedere (non da vicino, almeno) le grandi batterie di pannelli solari utilizzate per alimentare i satelliti. I pannelli solari si stanno diffondendo sempre più e sono in grado di erogare energia elettrica alle abitazioni e alle attività commerciali, in modo da ridurre la spesa energetica. Cercando in Internet, troverete grandi quantità di informazioni sull'installazione dei pannelli solari, anche senza spendere grandi cifre.

Parliamo di direzioni: il vero flusso degli elettroni e il flusso convenzionale della corrente

I primi sperimentatori credevano che la corrente elettrica fosse costituita da cariche positive e pertanto la descrissero come il flusso di una carica positiva da un terminale positivo a un terminale negativo. Successivamente, gli

scienziati hanno scoperto gli elettroni e hanno notato che erano proprio loro a scorrere dal terminale negativo verso il terminale positivo. Tuttavia, la precedente convinzione esiste tuttora, e pertanto negli schemi si è soliti rappresentare la direzione della corrente elettrica con una freccia che, in realtà, punta in direzione opposta rispetto all'effettiva direzione degli elettroni.



La *corrente convenzionale* è il flusso di una carica positiva dalla tensione positiva alla tensione negativa, esattamente all'inverso dell'effettivo flusso degli elettroni ([Figura 2.2](#)). Tutte le descrizioni dei circuiti elettronici mostrano la corrente convenzionale e pertanto se vedete una freccia che rappresenta il flusso della corrente nello schema di un circuito, vedete che sta indicando la direzione del flusso della corrente convenzionale. In elettronica, la corrente convenzionale è rappresentata dal simbolo I , ed è misurata in ampere (abbreviato con A). Ma molto più probabilmente, nei vostri circuiti vi troverete a usare il termine *milliampere* (mA). Un milliampere è equivalente a un millesimo di ampere.

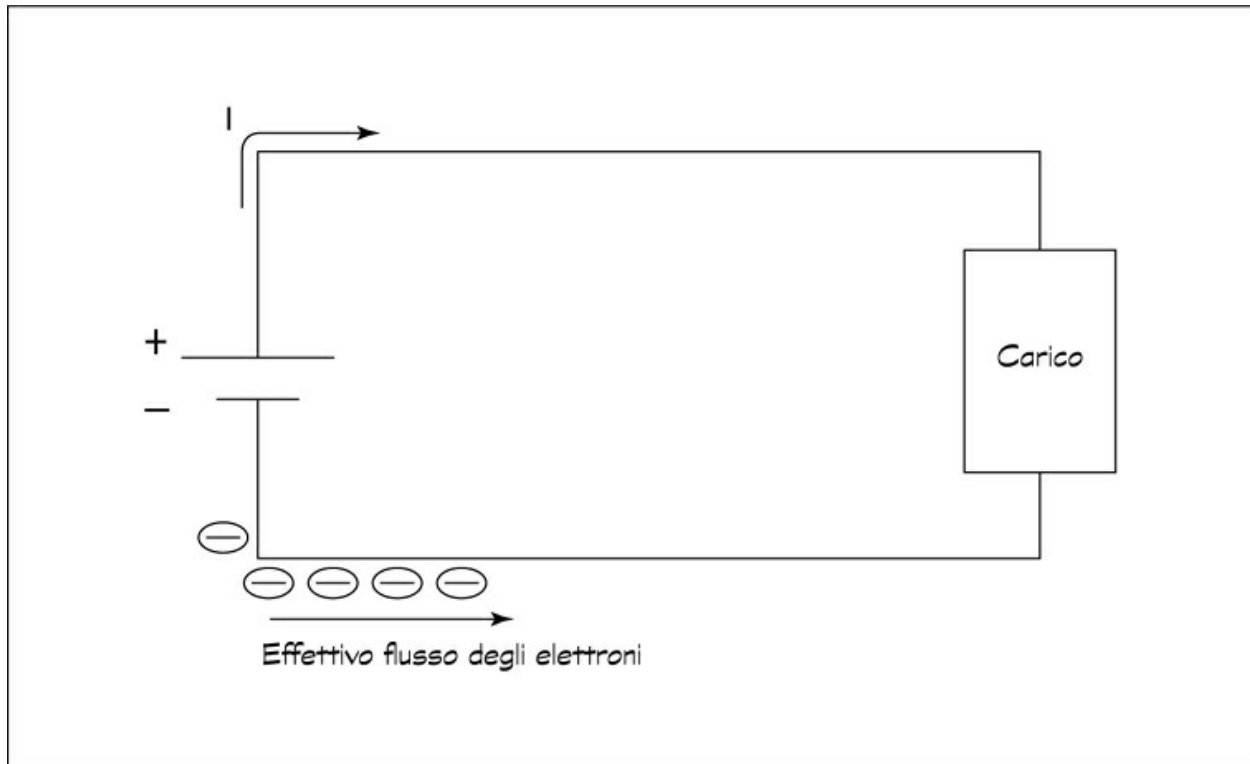


Figura 2.2 La corrente convenzionale, I , scorre dal lato positivo al lato negativo di una fonte di alimentazione; in realtà gli elettroni scorrono dal lato negativo al lato positivo.



Nei circuiti in corrente alternata, la corrente inverte costantemente la direzione. Come si mostra, allora, il flusso della corrente nello schema di un circuito? Dove dovrebbe puntare la freccia? In realtà, non importa. Si può scegliere arbitrariamente una qualsiasi direzione per il flusso della corrente (si parla di *direzione di riferimento*) e si chiama tale corrente con I . Il valore di I fluttua in alto e in basso mentre la corrente alternata si... alterna. Un valore negativo di I significa semplicemente che la corrente (convenzionale) sta scorrendo nella direzione opposta rispetto alla direzione della freccia.

Analisi di un semplice circuito con

lampadina

Lo schema rappresentato nella [Figura 2.3](#) mostra un circuito a batteria che accende una lampadina, del tipo che si può trovare in una comune torcia. La figura mostra lo *schema* di un circuito, che presenta tutti i componenti del circuito e il modo in cui sono connessi (parleremo in dettaglio degli schemi nel [Capitolo 10](#)).

La batteria eroga al circuito 1,5 V di corrente continua. Questo significa semplicemente che fornisce continuamente 1,5 V. Il segno “+” vicino al simbolo della batteria indica il terminale positivo, dal quale scorre la corrente (stiamo ovviamente parlando di corrente convenzionale). Il segno “-” vicino al simbolo della batteria indica il terminale negativo, dove si dirige la corrente dopo aver attraversato circuito. La freccia nel circuito indica la direzione di riferimento del flusso della corrente e poiché è in direzione opposta rispetto al terminale positivo della batteria di un circuito in corrente continua, dovrete aspettarvi che il valore della corrente sia sempre positivo.

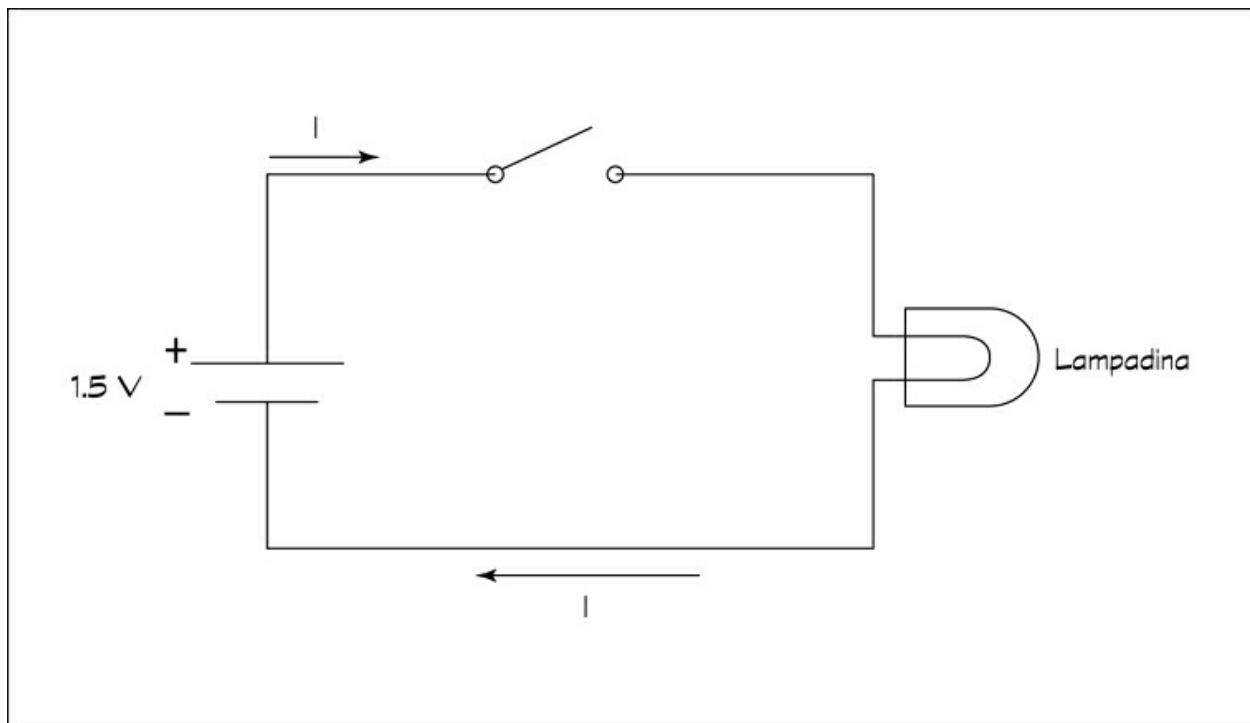


Figura 2.3 La corrente della batteria scorre attraverso il circuito; nel momento in cui le viene applicata la tensione, porta l'energia elettrica alla lampadina.

Le linee nello schema del circuito mostrano il modo in cui sono connessi i componenti, utilizzando cavi o altri tipi di connettori. Parleremo di vari tipi di cavi e connettori nel [Capitolo 8](#). Gli interruttori e gli altri componenti del circuito sono normalmente costituiti da *contatti*, ovvero cavi elettrici connessi agli elementi interni del componente; questi contatti permettono di connettere il componente agli altri elementi del circuito.

Subito dopo la batteria si trova un interruttore. Il suo scopo è semplicemente quello di chiudere il circuito, consentendo alla corrente di scorrere dalla batteria, o di aprire il circuito, interrompendo la corrente. Quando l'interruttore è chiuso, la corrente scorre dal terminale positivo della batteria, attraversa la lampadina, dove l'energia elettrica viene dissipata sotto forma di luce e calore, e poi torna al terminale negativo della batteria. Quando invece l'interruttore è aperto, la corrente non può scorrere e dunque si dice che il *circuito è aperto*.

La batteria *eroga* energia elettrica e la lampadina *utilizza* energia elettrica (in realtà converte l'energia elettrica in energia termica). Esiste una relazione dare/avere fra questi due elementi: la tensione è la spinta fornita dalla batteria per mettere in moto la corrente e l'energia di tale spinta viene assorbita nel momento in cui la corrente attraversa la lampadina. Mentre la corrente attraversa la lampadina, la tensione cala. Potete immaginare che la lampadina utilizzi l'energia fornita dalla forza (tensione) che spinge attraverso di essa la corrente.

Quando avviene la riduzione di tensione attraverso la lampadina o un altro componente, la tensione è più elevata nel punto in cui la corrente entra nel componente, mentre è più bassa nel punto in cui esce dal componente. In realtà la tensione è una misura relativa, poiché è la forza risultante dalla differenza di carica da un punto a un altro. La tensione erogata da una batteria rappresenta la differenza di carica dal terminale positivo al terminale negativo e tale differenza di carica ha il potenziale per muovere la corrente all'interno del circuito; il circuito, a sua volta, assorbe l'energia generata da tale forza mentre scorre la corrente, il che fa calare la tensione. Questo è il motivo per cui la tensione viene talvolta chiamata *caduta di tensione*, *differenza di*

potenziale o caduta di potenziale.



Quando vedete dei riferimenti alla tensione *in un determinato punto* di un circuito, dovete sempre considerare che tale valore è indicato rispetto alla tensione in un altro punto del circuito, normalmente il *potenziale di riferimento* (o *massa*), il punto del circuito al quale vengono attribuiti (arbitrariamente) 0 V. Spesso, come potenziale di riferimento viene utilizzato il terminale negativo della batteria e tutte le tensioni attraverso il circuito vengono misurate rispetto a tale punto.



Un'analogia ci può aiutare a comprendere la misura della tensione e la misura della distanza. Se qualcuno dovesse chiedervi, "A che distanza sei?", probabilmente domandereste, "Distanza da cosa?". Analogamente, se vi venisse chiesto, "Qual è la tensione nel punto del circuito in cui la corrente entra nella lampadina?", dovrete chiedere, "Rispetto a quale altro punto del circuito?". D'altra parte potreste dire, "Sono a cinque chilometri da casa", indicando in tal modo la vostra distanza rispetto al punto di riferimento (casa). Dunque, se dite, "La tensione nel punto in cui la corrente entra nella lampadina è di 1,5 V rispetto alla massa", tutto ciò ha perfettamente senso. Se partite dal terminale negativo della batteria in un semplice circuito costituito da una lampadina e seguite l'intero circuito misurando le tensioni, vedrete che la tensione al terminale positivo della batteria è di 1,5 V e tutti questi 1,5 V scendono attraverso la lampadina. In realtà, anche l'interruttore consuma un po' di tensione, poiché anche i migliori conduttori consumano energia, ma si tratta di una quantità insignificante rispetto al calo di tensione che si ha in corrispondenza della lampadina.

Massa

In elettronica, la parola “massa” può avere due distinti significati. *Massa a terra* significa più o meno quello che dice: è una connessione diretta a terra, la vera terra, il suolo. Il connettore centrale di una presa da parete è connesso a terra, ovvero al terreno. Questo significa che al polo centrale è connesso un cavo che attraversa tutto l’edificio e, in fondo, è fissato a un palo metallico conficcato profondamente nel terreno. Questo fornisce una protezione aggiuntiva per i circuiti che utilizzano grandi quantità di corrente: scaricando la corrente pericolosa direttamente a terra, le si dà un luogo sicuro dove finire dopo aver svolto il proprio lavoro o le si dà un percorso da seguire evitando che distrugga qualcosa. Questa è la stessa situazione in cui il cavo di Ben Franklin ha fornito un percorso diretto che consentisse al fulmine di scaricarsi a terra, invece che su una casa o su una persona. Nei circuiti che trasportano grandi quantità di corrente, qualche punto del circuito è normalmente connesso a una tubatura o un altro oggetto metallico connesso a terra.

Il termine *massa flottante* fa riferimento a un circuito che non è connesso alla massa di terra, il che può essere pericoloso. È meglio stare alla larga da un circuito di questo tipo, a meno che sia stato messo in sicurezza con una connessione diretta a terra.

L’altro tipo di massa è chiamato *massa comune* o semplicemente *comune*. Non si tratta di una massa fisica; semplicemente è un punto di riferimento all’interno di un circuito da utilizzarsi per le misurazioni di tensione. Alcuni tipi di circuiti, in particolare i circuiti comunemente utilizzati nei computer, indicano il terminale negativo di una fonte di alimentazione in corrente continua con il nome di massa comune e connettono il terminale positivo di un’altra fonte di alimentazione in corrente continua allo stesso punto. In tal modo, il circuito ha fonti di alimentazione positiva e negativa. Le due fonti di alimentazione fisiche possono essere identiche, ma il modo in cui sono connesse in un circuito e il fatto che una tensione sia positiva o

negativa dipende dal punto scelto per il riferimento di tensione a zero.
Tutto è relativo!



Il concetto più importante da ricordare è che mentre si attraversa un circuito in corrente continua, si “aumenta” la tensione procedendo dal terminale negativo della batteria al terminale positivo (si ha una *crescita di tensione*) e si ha un calo di tensione procedendo nella stessa direzione attraverso i componenti del circuito. Quando giungete al terminale negativo della batteria, tutta la tensione della batteria sarà scesa e sarete tornati a 0 V. In tutti i circuiti (in corrente continua o alternata), se partite da qualsiasi punto del circuito e sommate gli incrementi e le cadute di tensione procedendo lungo tutto il circuito, tornerete al punto di partenza. La somma netta degli incrementi e delle cadute di tensione all'interno di un circuito è pari a 0. Si tratta della *Legge della tensione di Kirchoff*.

Tenete in considerazione che queste cadute di tensione hanno un significato fisico reale. L'energia elettrica fornita dalla batteria viene assorbita dalla lampadina. La batteria continuerà a erogare energia elettrica corrente e la lampadina continuerà ad assorbire tale energia finché la batteria non si scaricherà, ovvero non esaurirà la propria energia. Ciò accade quando tutti i composti chimici all'interno della batteria si sono consumati nelle reazioni chimiche che hanno prodotto le cariche positiva e negativa. In pratica tutta l'energia chimica fornita dalla batteria è stata convertita in energia elettrica e assorbita dal circuito.



Una delle leggi fondamentali della fisica dice che l'energia non può essere né creata, né distrutta; può solo essere trasformata. Potete notarlo direttamente con il semplice circuito della lampadina della batteria: l'energia chimica

viene convertita in energia elettrica, la quale viene convertita in energia termica e luminosa, che a sua volta... insomma, ci siamo capiti.

Potete misurare la caduta di tensione attraverso la lampadina utilizzando un *voltmetro* (ne parleremo nel [Capitolo 12](#)). E se moltiplicate la *tensione attraverso la lampadina* (ovvero la caduta di tensione) per la forza della corrente che attraversa la lampadina, ottenete la potenza dissipata dalla lampadina (potenza = tensione X corrente) misurata in watt.

Controllare la corrente elettrica tramite semplici componenti

Se voleste realizzare il semplice circuito a lampadina appena trattato, e non aveste a disposizione una batteria da 1,5 V, potreste pensare di utilizzare quella batteria da 9 V che avete trovato, per caso, nel cassetto della cucina. Dopo tutto, 9 V è più di 1,5 V e dunque la batteria dovrebbe fornire sufficiente energia per accendere la lampadina! Come potete immaginare, utilizzando la batteria da 9 V, il piccolo circuito utilizzerà più corrente e potreste correre il rischio di sovraccaricare la lampadina. Se attraverso il filamento della lampadina vengono fatti scorrere troppi elettroni, l'energia elettrica dissipata dal filamento creerà un calore talmente intenso da bruciarlo e fulminare la lampadina.

Ciò che potete fare è inserire fra la batteria e la lampadina un piccolo componente elettronico chiamato *resistenza*. Le resistenze limitano il flusso della corrente e vengono comunemente utilizzate per proteggere altri elementi del circuito (in questo caso la lampadina) evitando che ricevano più elettroni di quanti siano in grado di gestire. La resistenza è solo uno dei componenti elettronici che possono controllare il flusso della corrente in un circuito, ma ve ne sono molti altri.

Conoscere, per fare le scelte giuste

Le lampadine e gli altri componenti elettronici riportano l'indicazione della loro capacità massima per un buon motivo. Se inviate loro troppa corrente, possono surriscaldarsi e bruciarsi o fondere. Sappiamo che la potenza è il prodotto della tensione per la corrente e dunque una volta che sappiamo come determinare il calo della tensione e la quantità di corrente che passa attraverso un componente, potrete benissimo stimare il livello di potenza (ovvero quanti watt il componente può gestire prima di scoppiarci in faccia) di cui avete bisogno per i componenti scelti per il circuito.

In quanti modi controllare la corrente?

Controllare la corrente elettrica è un po' come controllare la corrente dell'acqua. In quanti modi potete controllare il flusso dell'acqua utilizzando i vari dispositivi idraulici disponibili? Ecco alcuni esempi: potete limitare il flusso, bloccare completamente il flusso, regolare la pressione, consentire all'acqua di scorrere in una sola direzione e mettere da parte dell'acqua. A proposito, questa analogia dell'acqua può essere molto utile, ma non corrisponde sempre al 100%. Per esempio, l'acqua non ha bisogno di un sistema chiuso per scorrere, mentre la corrente elettrica richiede, necessariamente, un sistema chiuso.

Esistono molti, moltissimi componenti elettronici, che aiutano a controllare l'energia elettrica presente nei circuiti ([Figura 2.4](#)). Fra i componenti più noti vi sono le *resistenze*, che limitano il flusso della corrente, e i *condensatori*, che conservano una parte di energia elettrica (parleremo delle resistenze nel [Capitolo 3](#) e dei condensatori nel [Capitolo 4](#)). Gli induttori e i *trasformatori* sono dispositivi che conservano l'energia elettrica all'interno di campi magnetici (ne vedremo i dettagli nel [Capitolo 5](#)). I *diodi* vengono utilizzati per limitare il flusso della corrente a una sola direzione, agendo un po' come delle valvole; i *transistor* sono componenti versatili, che possono essere utilizzati per commutare i circuiti on e off o per amplificare la corrente (parleremo di diodi e transistor nel [Capitolo 6](#)).

Componenti attivi e passivi

Parlando di tipi di componenti elettronici, potreste sentir parlare di *componenti attivi* e *componenti passivi*. I *componenti attivi* sono quelli che forniscono un incremento di corrente o che la dirigono; per esempio sono componenti attivi i transistor e i diodi (vengono chiamati anche *semiconduttori*, facendo riferimento al tipo di materiale di cui sono fatti). I componenti passivi, invece, non forniscono né guadagno (amplificazione), né direzione: possono solo rallentare la corrente e conservare l'energia elettrica. Per esempio, le resistenze, i condensatori, gli induttori e i trasformatori sono tutti componenti passivi (i trasformatori in salita incrementano la tensione, riducendo però la corrente). Un circuito che contiene solo componenti passivi è chiamato *circuito passivo*, mentre uno che contiene *almeno* un componente attivo è chiamato *circuito attivo*.

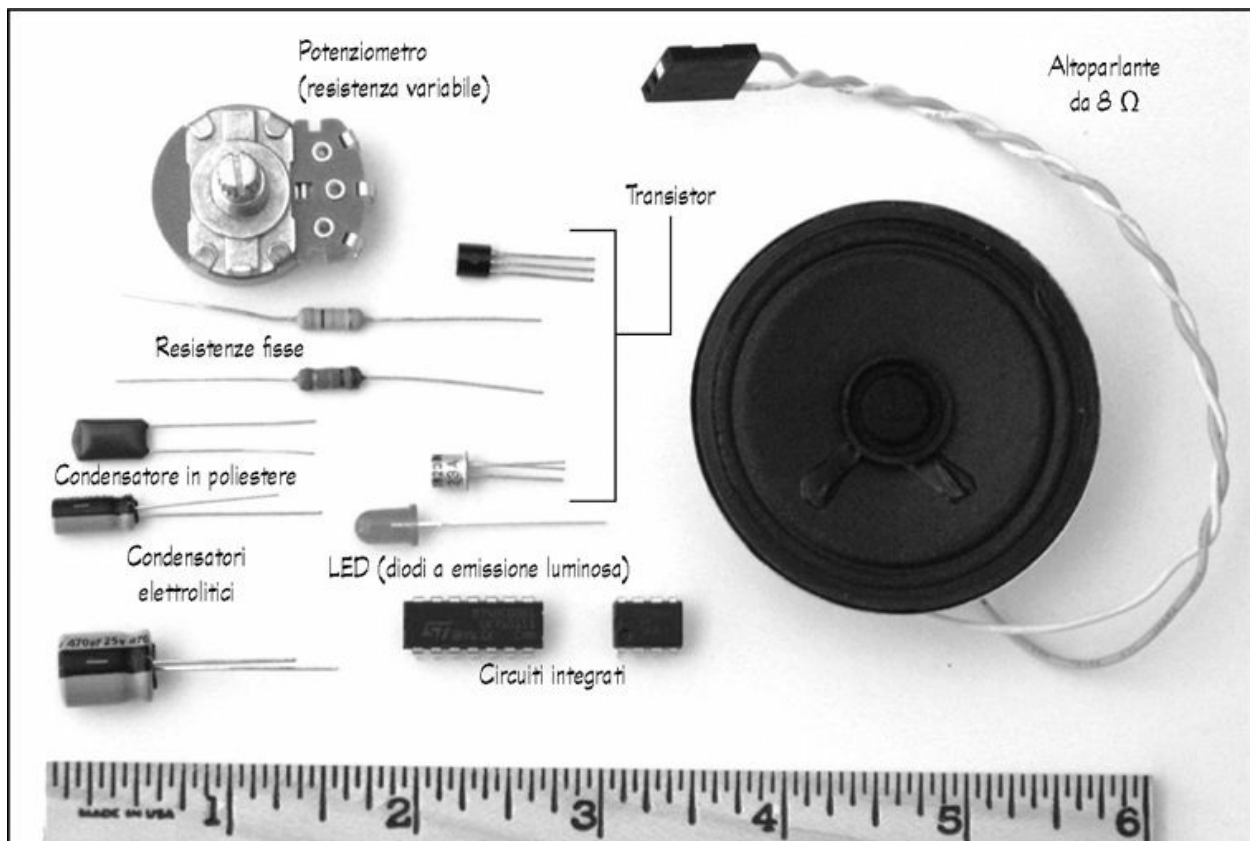


Figura 2.4 Componenti elettronici di vario tipo, forma e aspetto.

Connessioni in serie e in parallelo

Esattamente come si possono fare costruzioni di ogni tipo e dimensione connettendo fra loro i mattoncini Lego, si può anche realizzare ogni genere di circuito connettendo fra loro i vari tipi di componenti elettronici. Il modo esatto in cui si connettono i componenti fra loro determina i flussi della corrente attraverso il circuito e le cadute di tensione che si verificano al suo interno.

Connessioni in serie

Nel semplice circuito della lampadina esaminato nelle pagine precedenti ([Figura 2.3](#)), la corrente scorre dal terminale positivo della batteria, attraverso l'interruttore chiuso, verso la lampadina, per raggiungere il terminale negativo della batteria. Questa disposizione dei componenti prende il nome di *circuito in serie*, in quanto la corrente attraversa ciascun componente sequenzialmente, in serie.

Due cose importanti da ricordare sui circuiti in serie.



- ✓ Ogni componente ha la stessa corrente.
- ✓ La tensione erogata dalla fonte viene divisa (non necessariamente in modo equo) fra i componenti. Se sommate le cadute di tensione causate da ciascun componente, ottenete la tensione totale.



Esiste un potenziale problema nei circuiti in serie: se un componente si guasta, il circuito si apre, interrompendo il flusso di corrente in ogni singolo

componente del circuito. Pertanto, se l'insegna del nuovo ristorante elegante è costituita da 200 lampadine collegate in serie a formare la scritta "IL MIGLIORE RISTORANTE DELLA CITTÀ" e il pallone di un bambino dovesse rompere una singola lampadina, si spegnerebbe l'intera insegna.

Connessioni in parallelo

Vi è un modo per correggere il problema appena esposto dei circuiti in serie. Se collegate i componenti utilizzando connessioni in parallelo (come nel caso del circuito rappresentato nella [Figura 2.5](#)), anche se qualche pallone dovesse mandare in frantumi alcune lampadine dell'insegna, tutte le altre rimarrebbero accese, e l'insegna "funzionerebbe", anche se con qualche "buco nero" in mezzo. Ogni soluzione ha i suoi pro e i suoi contro...

Ecco come funziona il circuito parallelo rappresentato nella [Figura 2.5](#): la corrente scorre dal terminale positivo della batteria e si suddivide in ciascun ramo del circuito; pertanto ogni lampadina riceve una quota della corrente erogata. La corrente che scorre attraverso una lampadina non scorre attraverso le altre. Pertanto, se l'insegna del ristorante è costituita 200 lampadine collegate in parallelo e se ne brucia una, le altre 199 lampadine si accenderanno comunque.

Nei circuiti in parallelo, la tensione che attraversa ciascun ramo parallelo del circuito è la stessa. E calcolando la corrente che scorre in ogni ramo del circuito (vedere il [Capitolo 3](#)), si può vedere che, sommando tutte le correnti di tutti i rami, si ottiene la corrente totale fornita dalla batteria.

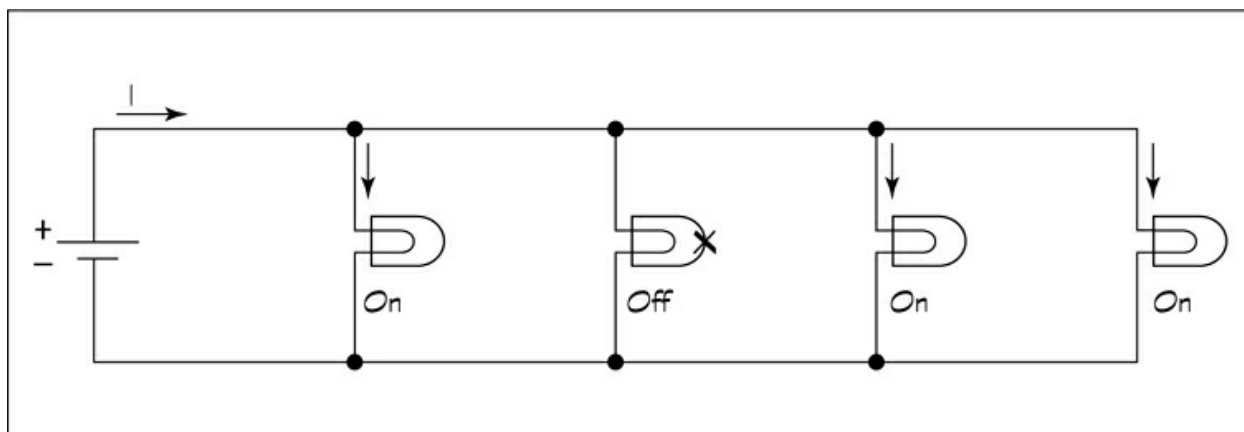


Figura 2.5 Le lampadine di un'insegna vengono normalmente disposte in un circuito in parallelo, in modo che anche bruciandone una, le altre rimangano accese.

Due concetti importanti da ricordare sui circuiti paralleli.



- ✓ La tensione su ogni ramo è la stessa.
- ✓ La corrente erogata dalla sorgente viene suddivisa fra tutti i rami. Le correnti di ciascun ramo, sommate, forniscono la corrente totale erogata.



Mantenendo uguali i componenti del circuito, la connessione in parallelo richiede alla sorgente più corrente rispetto alla connessione in serie. Se il circuito è alimentato da una batteria, dovete verificare che la batteria possa supportare la corrente richiesta dal circuito. Come vedremo nel [Capitolo 8](#), le batterie hanno una capacità misurata in *ampere ora*. Una batteria di 1 ampere ora (per esempio) potrà alimentare per un'ora un circuito che richiede un ampere di corrente (almeno in senso teorico; in pratica, difficilmente anche le

batterie nuove forniscono gli ampere ora promessi). Pertanto, nella scelta della fonte di alimentazione da utilizzare per un circuito, dovete tenere in considerazione sia la corrente assorbita da un circuito sia quanto a lungo deve poter funzionare il circuito.

Combinazione di circuiti

La maggior parte dei circuiti è costituita da combinazioni di connessioni in serie e in parallelo. Il modo in cui si dispongono i componenti in un circuito dipende da ciò che si intende fare. Nel circuito in serie e parallelo rappresentato nella [Figura 2.6](#), vi è una resistenza (simboleggiata dalla linea a zig-zag) insieme con la batteria e tre rami in parallelo, contenenti ciascuno un interruttore in serie con una lampadina. Se tutti e tre gli interruttori sono chiusi, la corrente erogata viaggia attraverso la resistenza e poi si suddivide in tre diversi percorsi e una parte della corrente passa in ciascuna delle tre lampadine. Se tutti i tre interruttori sono aperti, non esiste alcun percorso attraverso il quale la corrente possa scorrere e dunque non vi sarà alcuna fuoriuscita di corrente dalla batteria. Se è chiuso un solo interruttore, tutta la corrente passerà solo attraverso una lampadina, mentre le altre saranno spente. Alternando gli interruttori aperti in un determinato momento, possiamo controllare l'accensione delle singole lampadine. Un circuito di questo tipo potrebbe controllare il funzionamento di un semaforo (saranno necessari anche altri componenti necessari per controllare la temporizzazione dell'azione).

Per analizzare i circuiti combinati, occorre applicare le “regole” della tensione della corrente un passo alla volta, utilizzando le regole della serie per i componenti in serie e le regole “parallele” per i componenti in parallelo. A questo punto, non avete sufficienti informazioni per calcolare tutte le correnti e le tensioni dei circuiti a lampadine che abbiamo rappresentato finora. Occorre introdurre una regola, chiamata *Legge di Ohm* e poi avrete tutto ciò di cui abbiamo bisogno per analizzare questi semplici circuiti (parleremo delle Leggi di Ohm e dell'analisi di semplici circuiti nel [Capitolo 3](#)).

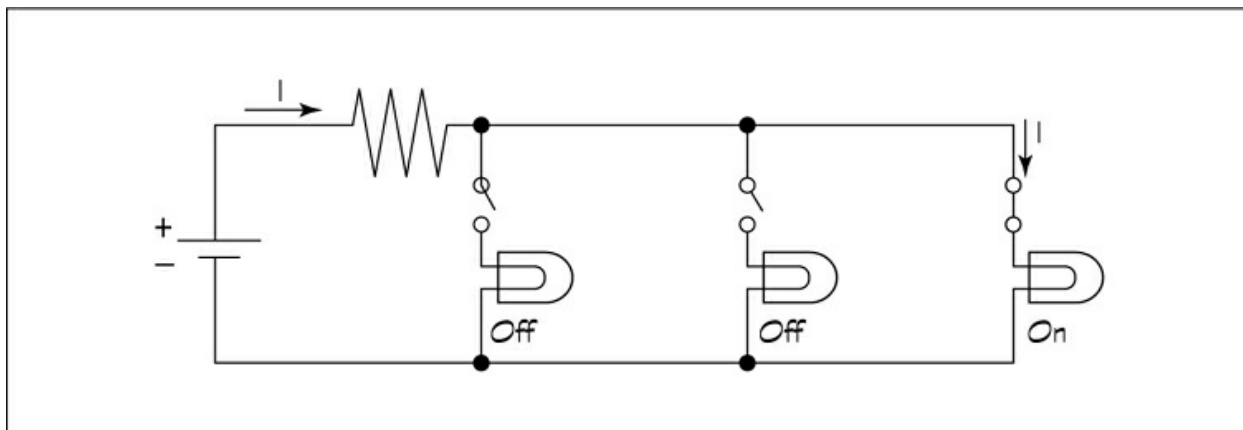


Figura 2.6 Aprendo e chiudendo gli interruttori in questo circuito serie-parallelo possiamo indirizzare la corrente attraverso percorsi differenti.

Creazione di sistemi elettronici

Per darvi un'idea di cosa potete ottenere collegando tra loro vari componenti elettronici a formare circuiti misti serie/parallelo, introdurremo brevemente un paio di apparecchi elettronici avanzati. Non preoccupatevi: non ci aspettiamo che siate già in grado di seguire gli elettroni mentre attraversano una complessa rete di circuiti. Vogliamo semplicemente mostrarvi come anche sistemi elettronici tremendamente complessi, costituiti da un'enorme varietà di componenti, svolgano, in sostanza, le stesse operazioni di circuiti molto più semplici: manipolano la corrente elettrica per svolgere un compito ben preciso.

I due sistemi elettronici avanzati sono l'autoradio e l'apparecchio televisivo.

Trarre un suono dall'etere

I componenti di un ricevitore radio controllano la corrente inviata agli altoparlanti in modo che possiate ascoltare i suoni trasmessi dalla vostra stazione radio preferita. Come i sistemi elettronici più complessi, anche un ricevitore radio è costituito da più sottosistemi, ognuno dei quali svolge una funzione specifica: ciò che viene prodotto in uscita da un sottosistema viene

utilizzato come ingresso da un altro sottosistema. Per far sì che gli altoparlanti riproducano i suoni originariamente creati in studio, l'elettronica della radio svolge le seguenti funzioni.

- ✓ **Antenna:** cattura dall'etere le onde radio (segnali invisibili trasmessi dalle stazioni radio) le trasforma in un segnale elettrico, che è un flusso variabile di corrente elettrica (vedere il riquadro “Decifrare i segnali elettrici”).
- ✓ **Sintonizzatore:** estrae uno solo fra tutti i segnali radio catturati dall'antenna, escludendo tutti gli altri.
- ✓ **Rivelatore:** estrae il segnale audio (una copia del suono originale) dal segnale radio (il quale, oltre al segnale audio, comprende un segnale “portante”, così chiamato perché trasporta il segnale audio attraverso l'etere).
- ✓ **Amplificatore:** aumenta la potenza del debole segnale audio, per renderlo udibile.
- ✓ **Altoparlanti:** trasformano il segnale audio, amplificato, in suono.

Decifrare i segnali elettrici

Un *segnale elettrico* è uno schema temporale di transito di una corrente elettrica. Spesso, il modo in cui un segnale elettrico cambia forma trasmette informazioni relative a entità di tipo fisico, come l'intensità della luce, del calore o del suono o la posizione di un oggetto, come nel caso della membrana del microfono o l'albero di un motore. Immaginatevi un segnale elettrico come se fosse un codice, un po' come il codice Morse, che invia e riceve messaggi segreti che potete scoprire solo conoscendone la chiave.

Un *segnale elettrico analogico* (o semplicemente un *segnale analogico*) si chiama così in quanto esiste una “analogia” o una corrispondenza uno-a-uno fra le effettive quantità fisiche che

rappresenta. Per esempio, quando viene registrata una canzone in studio, le fluttuazioni nella pressione dell'aria (questo, in realtà, è il suono) fanno entrare in risonanza la membrana di un microfono, la quale produce variazioni corrispondenti nella corrente elettrica. Tali fluttuazioni di corrente rappresentano le fluttuazioni del suono originale: sono un segnale elettrico analogico.

I sistemi digitali, come i computer, non sono in grado di gestire segnali analogici a variazione continua e pertanto i segnali elettrici devono essere convertiti in formato digitale prima di entrare nelle viscere di un sistema digitale. Il *formato digitale* è semplicemente un ulteriore schema di codifica, che rappresenta le informazioni utilizzando solo valori binari (1 e 0, un po' come i punti e i tratti del codice Morse). Un *segnale digitale* viene creato campionando il valore di un segnale analogico a intervalli regolari e convertendo ciascun campione in una sequenza di binari, i *bit*.

Ogni sottosistema contiene vari componenti elettronici, combinati in modo da manipolare il segnale, dandogli "forma". Dopo tutte le operazioni di manipolazione del segnale, questo viene inviato agli altoparlanti, per essere trasformato in suono. Lo specifico schema e l'intensità con cui il segnale elettrico muove la membrana determina esattamente cosa ascolteremo e a quale volume.

I tecnici, spesso usano dei *diagrammi a blocchi* per descrivere le funzionalità dei sistemi elettronici complessi, come quello del ricevitore radio rappresentato nella [Figura 2.7](#). Ogni blocco rappresenta un circuito, che prende come segnale di ingresso ciò che viene prodotto dal blocco precedente, svolge alcune funzioni specifiche e produce un *segnale di uscita*, che viene inviato al sottosistema successivo.

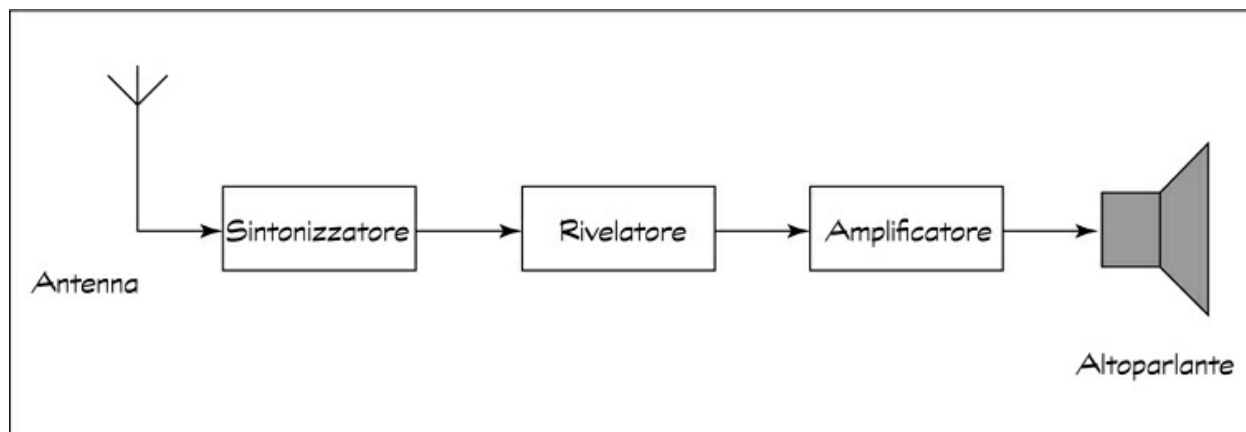


Figura 2.7 Diagramma a blocchi che rappresenta un ricevitore radio. I componenti elettronici manipolano la corrente elettrica in vari modi prima di inviare il tutto all'altoparlante.

Produrre immagini con gli elettroni

L'apparecchio televisivo, indipendentemente dal fatto che impieghi un vecchio tubo catodico o un nuovo schermo al plasma o a cristalli liquidi, usa dei componenti elettronici per controllare quali elementi (*pixel*) vengono accesi sullo schermo, in modo da “disegnare” un'immagine tramite gli elettroni. Il segnale elettrico che entra nell'apparecchio trasporta informazioni relative all'immagine da visualizzare (indipendentemente dal fatto che il segnale televisivo provenga da un'emittente TV o da un altro apparecchio elettronico, come un player DVD). I componenti elettronici all'interno dell'apparecchio televisivo “decodificano” incessantemente tale segnale elettrico e applicano le informazioni trasportate dal segnale per controllare il colore e l'intensità di ciascun pixel.

Vari tipi di apparecchi TV attivano i pixel dello schermo in modi differenti. Per esempio, l'elettronica di un televisore a tubo catodico “orienta” tre distinti raggi elettronici, posizionandoli in modo da colpire dei fosfori colorati che si trovano nella superficie interna dello schermo. L'elettronica controlla se ciascun raggio deve essere “on” o “off” mentre passa su ciascun pixel. Il risultato: lo specifico fosforo puntato dal raggio può essere bombardato da elettroni oppure no. Quando il flusso di elettroni colpisce un

fosforo, questo si illumina. Coordinando il movimento e lo stato di on/ off dei raggi di elettroni per i colori “rosso”, “verde” e “blu”, i componenti elettronici dell'apparecchio TV creano sullo schermo le immagini colorate.

Capitolo 3

Viva la resistenza!

In questo capitolo

Usare la resistenza a proprio vantaggio.

Creare il livello corretto di resistenza utilizzando resistenze fisse e variabili.

Corrente, tensione e resistenza sono tutte governate dalla Legge di Ohm.

Applicare la Legge di Ohm nell'analisi dei circuiti.

Usare l'alimentazione come guida nella scelta dei componenti di circuiti.

Se lanciate una boccia da bowling su una spiaggia, questa non andrà troppo lontano. Se invece la lanciate sulla superficie di un lago ghiacciato, si farà un bel giretto, prima di fermarsi, chissà dove. Su entrambe le superfici agisce una forza meccanica chiamata attrito; semplicemente i granelli di sabbia della spiaggia oppongono più attrito rispetto alla superficie piatta e ghiacciata del lago.

La *resistenza*, in elettronica, è molto simile all'attrito dei sistemi meccanici: mette, per così dire, i “freni” agli elettroni (quelle piccole particelle che compongono la corrente elettrica) mentre attraversano i materiali.

In questo capitolo vedremo esattamente che cos'è la resistenza, dove si può trovare (dappertutto) e come si può utilizzare a proprio vantaggio inserendo nei circuiti elettronici dei componenti chiamati (ma guarda un po'...) *resistenze*, componenti che introducono un livello controllato di resistenza. Poi daremo un'occhiata alle relazioni che legano la tensione (la forza elettrica

che spinge gli elettroni) alla corrente nei componenti che offrono resistenza, riassumendo il tutto in un'equazione molto semplice ed elegante, con un nome autorevole: la Legge di Ohm. Il passo successivo consiste nel mettere all'opera la Legge di Ohm, analizzando cosa accade in alcuni semplici circuiti. Infine daremo un'occhiata al ruolo della Legge di Ohm e di altre formule nella progettazione dei circuiti elettronici.

Resistere al flusso della corrente

La *resistenza* misura l'opposizione di un materiale al flusso degli elettroni. Intuitivamente può sembrare qualcosa di negativo, ma in realtà la resistenza è molto utile. La resistenza è proprio ciò che rende possibile la generazione di calore e luce, in quanto limita il flusso di corrente elettrica ove necessario e garantisce che a un dispositivo venga fornito il livello di tensione corretto. Per esempio, mentre gli elettroni attraversano il filamento di una lampadina, incontrano una resistenza talmente elevata che li costringe a rallentare moltissimo. Mentre cercano faticosamente di farsi strada attraverso il filamento, gli atomi del filamento stesso si scontrano animatamente fra loro, rendendolo incandescente e generando luce e calore.

Tutto, anche i migliori conduttori, oppone un certo livello di resistenza al flusso degli elettroni. Beh, in realtà, vi sono alcuni materiali, chiamati *superconduttori*, in grado di condurre la corrente con una resistenza elettrica praticamente nulla, ma solo se vengono raffreddati a temperature estremamente basse, impossibili da raggiungere nei normali apparecchi elettronici. Maggiore è la resistenza, più limitato sarà il flusso di corrente. Allora che cosa determina quanta resistenza viene opposta da un oggetto? La resistenza dipende da vari fattori.

✔ **Materiale:** alcuni materiali consentono ai propri elettroni di vagare liberamente; altri trattengono con maggiore forza i propri elettroni. I materiali conduttivi hanno una *resistenza* relativamente bassa, mentre i materiali isolanti hanno una resistenza relativamente elevata.

- ✓ **Sezione:** la resistenza varia in modo inversamente proporzionale alla sezione del materiale; maggiore è il diametro del cavo, maggiore facilità avranno gli elettroni a spostarsi e quindi minore resistenza incontreranno al loro movimento. Immaginate il passaggio dell'acqua attraverso una tubatura: più grossa è la tubatura, più agevole sarà il flusso dell'acqua. Analogamente, un cavo di rame di grosso diametro offre una resistenza più bassa rispetto a un cavo di rame di piccolo diametro.
- ✓ **Lunghezza:** più lungo è il materiale, maggiore sarà la sua resistenza, poiché maggiori saranno le opportunità che gli elettroni si scontrino contro altre particelle lungo il percorso. La resistenza varia in modo proporzionale con la lunghezza.
- ✓ **Temperatura:** nella maggior parte dei casi, maggiore è la temperatura, maggiore è la resistenza. Temperature più elevate fanno sì che le particelle del materiale contengano più energia e dunque si scontreranno fra loro molto di più, rallentando il flusso degli elettroni. Una particolare eccezione è rappresentata da una resistenza chiamata *termistore*: aumentando la temperatura di un termistore, se ne riduce la resistenza in modo prevedibile (come potete immaginare è un componente utile per realizzare sensori di temperatura). Parleremo dei termistori nel [Capitolo 8](#).

Per rappresentare la resistenza in un circuito elettronico si usa il simbolo R . Talvolta vi è un'indicazione al piede della R , per esempio R_{lamp} . Questo significa semplicemente che R_{lamp} rappresenta la resistenza della lampadina (o di quella parte del circuito cui facciamo riferimento). La resistenza è misurata in unità chiamate *ohm*, abbreviate con la lettera greca omega (Ω). Maggiore è il valore degli ohm, maggiore è la resistenza.



Un ohm è un'unità di resistenza talmente piccola che, normalmente, si trovano resistenze misurate in quantità più elevate, come i $k\Omega$ (*kilo ohm*), che

sono migliaia di ohm, o i $M\Omega$ (*mega ohm*), che sono milioni di ohm. Pertanto, $1\text{ k}\Omega = 1.000\ \Omega$ e $1\text{ M}\Omega = 1.000.000\ \Omega$.

Resistenze: passive ma utili

Le *resistenze* sono componenti elettronici passivi progettati in modo specifico per opporre una quantità di resistenza controllata (per esempio $470\ \Omega$ o $1\text{ k}\Omega$). Anche se una resistenza non offre alcun guadagno o controllo della direzione del flusso della corrente (poiché è un componente passivo) scoprirete che si tratta di un componente piccolo, ma utile, in quanto consente di mettere i freni al flusso della corrente in un modo molto controllato. Scegliendo e collocando attentamente le resistenze nel circuito, potete controllare esattamente quanta corrente ne raggiunge le varie parti.

A che cosa servono le resistenze?

Le resistenze sono fra i componenti elettronici più diffusi, poiché sono semplici e versatili. Uno degli utilizzi più comuni di una resistenza consiste nel limitare la quantità di corrente che raggiunge una parte di un circuito, ma le resistenze possono essere utilizzate anche per controllare la quantità di tensione erogata a una parte di un circuito.

Limitare la corrente

Il circuito rappresentato nella [Figura 3.1](#) rappresenta una batteria da 9 V che fornisce corrente a un piccolo componente chiamato LED (da Light-Emitting Diode) attraverso una resistenza (rappresentata dalla linea a zig-zag). I LED, come molti altri componenti elettronici, vorrebbero consumare corrente come un bambino vorrebbe trangugiare caramelle: accettano tutta la corrente che arriva. I LED però hanno un problema: si bruciano quando vengono attraversati da troppa corrente. La resistenza presente nel circuito ha pertanto una funzione molto utile: limitare la quantità di corrente inviata al LED (fa il bravo genitore, che pone un limite alla quantità di caramelle).

Troppa corrente può distruggere i componenti elettronici più sensibili, come i

transistor (di cui parleremo nel [Capitolo 6](#)) e i circuiti integrati (che vedremo nel [Capitolo 7](#)). Ponendo una resistenza a monte di un componente sensibile, limitate la corrente che lo potrà raggiungere. Ma se utilizzate una resistenza troppo elevata, per esempio da 1 M Ω), limitate talmente la corrente tanto che farete probabilmente fatica a vedere un po' di luce. Questa semplice tecnica permette di risparmiare tempo e denaro, evitando di impiegarlo a riparare le bruciature nei circuiti.

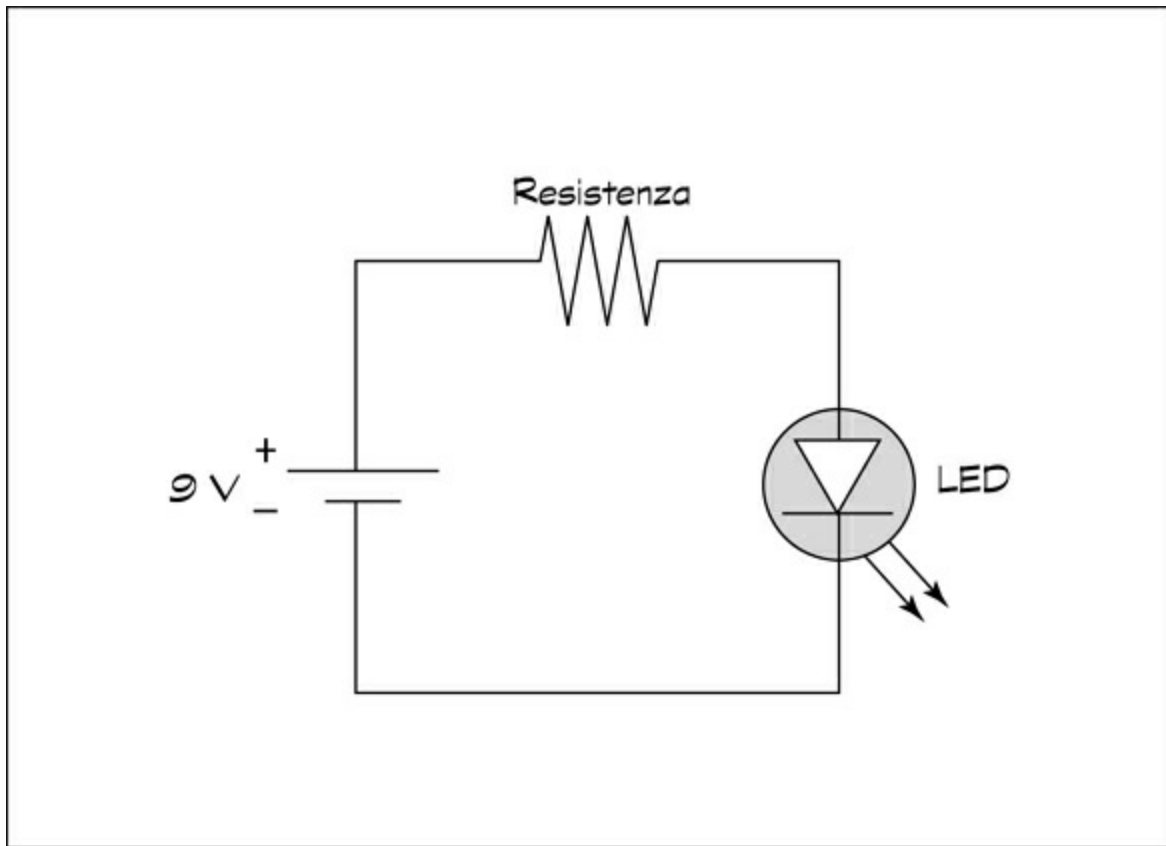


Figura 3.1 La resistenza limita la quantità di corrente che raggiunge i componenti delicati, come il LED (light-emitting diode) di questo circuito.

Ridurre e controllare la tensione

Le resistenze possono essere utilizzate per ridurre la tensione erogata alle varie parti di un circuito. Supponiamo, per esempio, di avere una fonte di alimentazione da 9 V, ma di dover erogare 5 V per alimentare un determinato circuito integrato. Possiamo configurare un circuito, come quello

rappresentato nella [Figura 3.2](#), per ripartire la tensione in modo che fornisca come uscita 5 V. A questo punto potrete utilizzare la tensione di uscita, V_{out} , di questo *partitore di tensione* per alimentare il nostro circuito integrato (parleremo dei dettagli del funzionamento di questo circuito più avanti in questo capitolo).

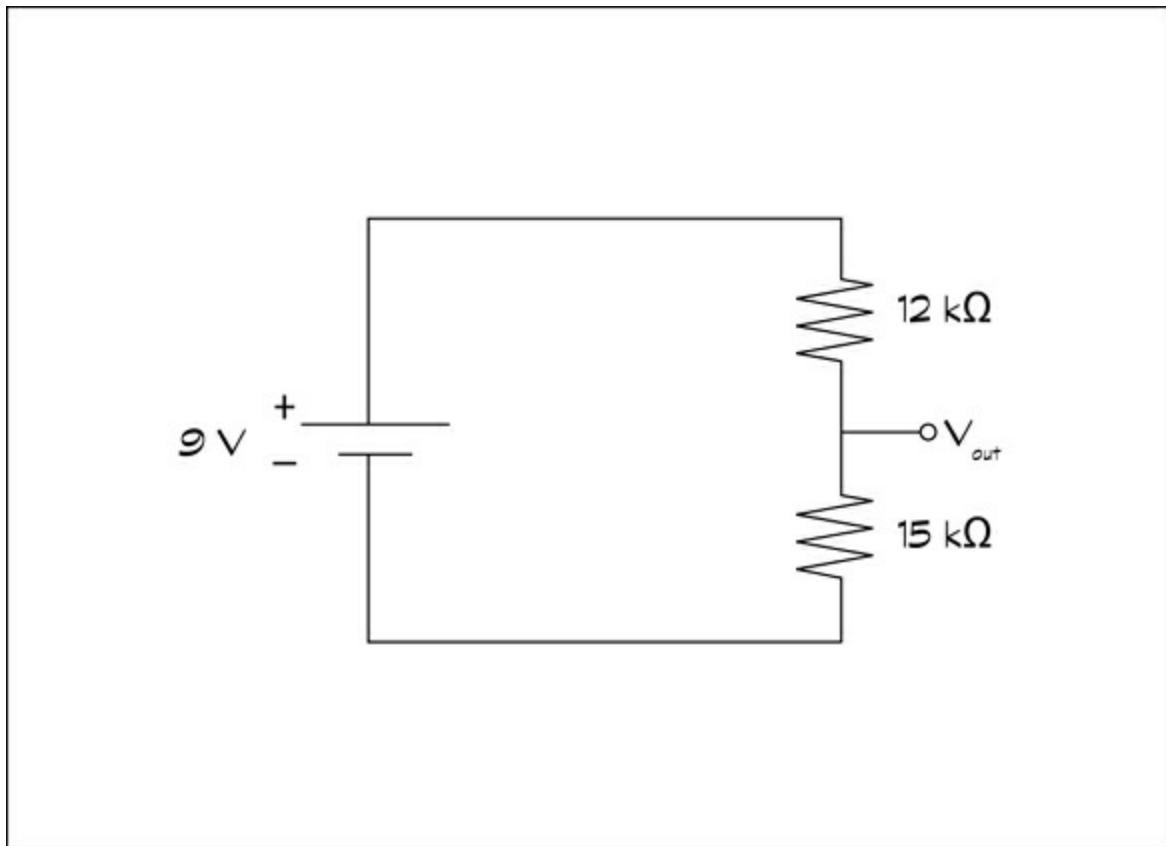


Figura 3.2 Usando due resistenze potete creare un partitore di tensione, una tecnica comune per produrre tensioni differenti destinate a parti differenti di un circuito.

Possiamo anche far lavorare una resistenza con un altro componente molto comune nei circuiti, il condensatore (ne parleremo nel [Capitolo 4](#)), per creare incrementi e decrementi controllati della tensione. Come vedremo, la combinazione resistenza-condensatore aiuta a creare circuiti per realizzare una sorta di timer a clessidra, comodo da impiegare nei circuiti che dipendono dal tempo (per esempio nei sistemi di controllo dei semafori). Vedremo all'opera questa dinamica coppia resistenza/condensatore nel [Capitolo 4](#).

Scegliere il tipo di resistenza: fissa o variabile

Le resistenze possono essere di due tipi: fisse e variabili. Ecco un riepilogo di ciascun tipo e dei loro utilizzi.

✓ Una **resistenza fissa** fornisce una resistenza costante, predeterminata in fase di produzione (altrimenti perché chiamarla “fissa”?). Ma l'effettiva resistenza di una determinata resistenza può variare (in più o in meno) di una certa percentuale rispetto al suo valore nominale. Si parla quindi di *tolleranza della resistenza*. Quando, per esempio, scegliete una resistenza da 1000 Ω con una tolleranza del 5%, la resistenza effettiva da essa opposta può essere compresa fra 950 e 1050 Ω (poiché il 5% di 1000 è 50). In pratica si tratta di una resistenza da 1000 Ω più o meno il 5%. Esistono due categorie di resistenze fisse ([Figura 3.3](#)).

- **Resistenze ad alta precisione:** si discostano solo dell'1% rispetto al loro valore nominale. Vengono impiegate in circuiti in cui è necessaria una precisione estrema, come nelle sincronizzazioni di precisione o nei circuiti per tensioni di riferimento.
- **Resistenze di precisione standard:** possono variare in termini di tolleranza dal 2 al 20% (accipicchia!) rispetto al loro valore nominale. Alcuni contrassegni sulla resistenza indicano la tolleranza della resistenza (per esempio $\pm 2\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ o $\pm 20\%$). Nei progetti hobbistici, normalmente si usano resistenze di precisione standard, poiché, in genere, le resistenze vengono impiegate per limitare la corrente o per ripartire le tensioni entro un intervallo accettabile. Nei circuiti elettronici vengono comunemente utilizzate resistenze con una tolleranza del 5 o 10%.

✓ Una **resistenza variabile**, normalmente chiamata *potenziometro* o *reostato* consente di regolare in modo continuo la resistenza da, teoricamente, 0 Ω a un valore massimo determinato in fase di produzione. Si usa un potenziometro quando occorre variare la quantità di corrente o di tensione erogata a determinate parti del circuito. Ecco alcuni esempi di situazioni in cui può essere impiegato

un potenziometro: varialuce, controlli di volume per sistemi audio e controlli di joystick (nei giochi come nei velivoli).

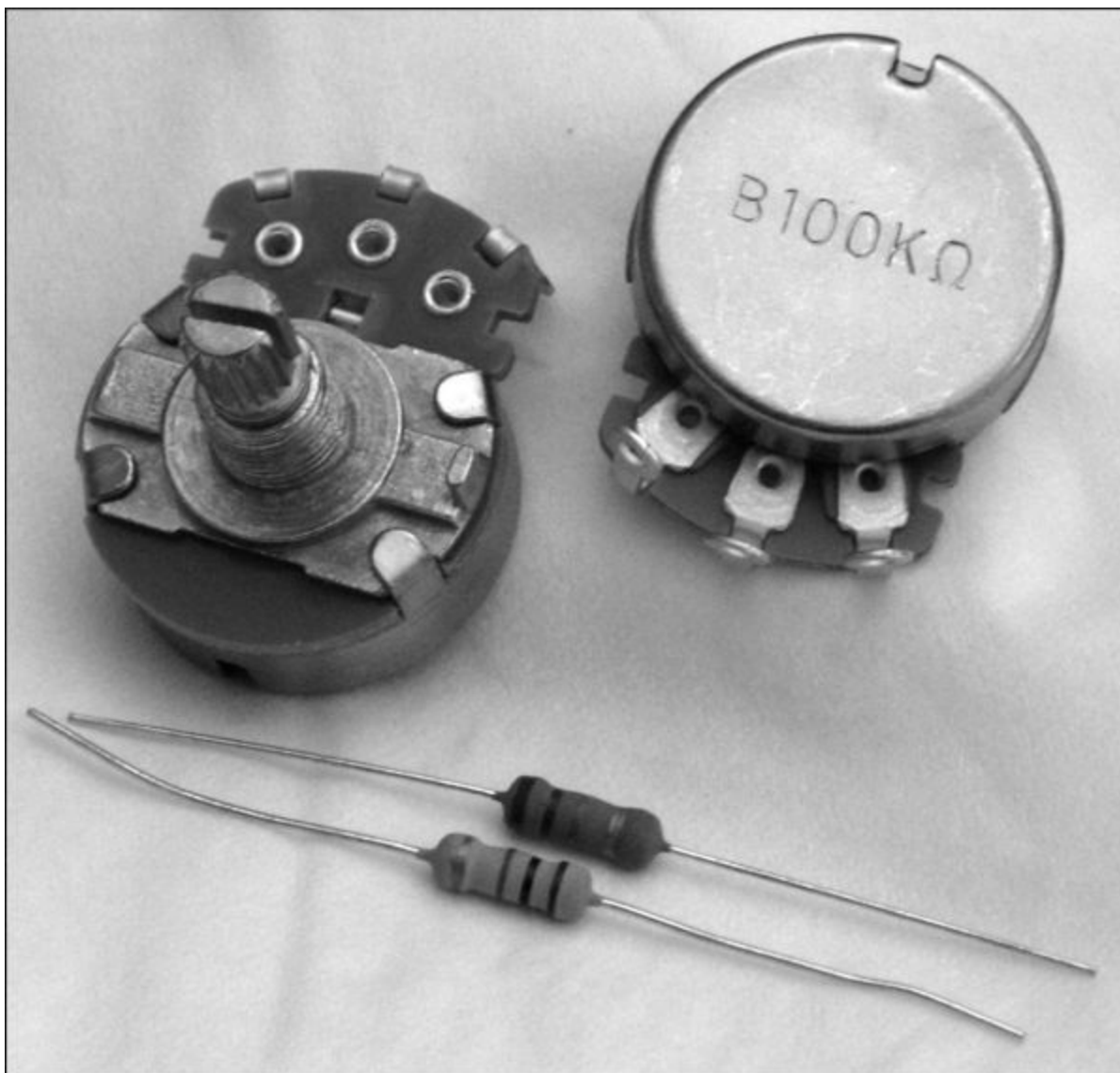


Figura 3.3 Le fasce colorate indicano il valore di una resistenza fissa; sui potenziometri è normalmente indicato il valore della massima resistenza.



Negli schemi circuitali (di cui parleremo nel [Capitolo 10](#)), si usa un simbolo a

zig-zag per rappresentare una resistenza fissa. Su una resistenza non compare alcun indicatore di polarità (+ o –), poiché la corrente può scorrere in entrambe le direzioni. Aggiungendo una freccia inclinata, si produce il simbolo del *reostato* (ovvero una resistenza variabile a due terminali), mentre una freccia rivolta verso lo zig-zag crea il simbolo di un *potenziometro* (una resistenza variabile a tre terminali). Questi simboli sono visibili nella [Figura 3.4](#). Spiegheremo la differenza esistente fra reostati e potenziometri nel riquadro “Ci tengo al mio (buon) nome” più avanti in questo capitolo.

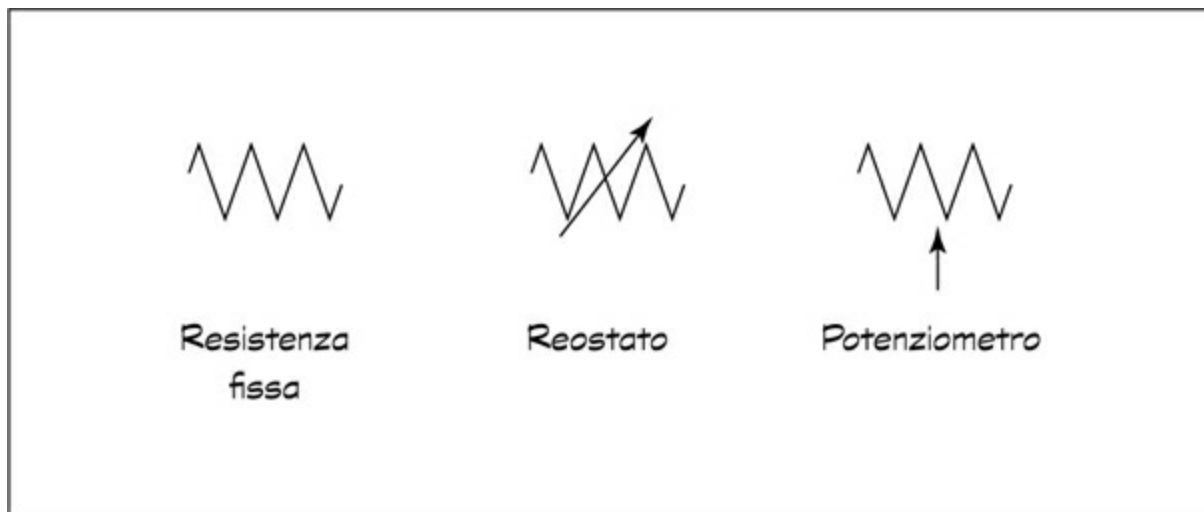


Figura 3.4 Simboli utilizzati per le resistenze.

Interpretazione delle resistenze fisse

La maggior parte delle resistenze ha un aspetto cilindrico, con due contatti che fuoriescono alle due estremità e che consentono di connetterla ai circuiti (alcune eccezioni sono indicate nel riquadro “Riconoscere le resistenze nei circuiti stampati”). Sarete felici di sapere che potete inserire una resistenza fissa in un circuito con qualsiasi orientamento: non c’è sinistra o destra, alto o basso, ingresso o uscita per questi piccoli componenti a due contatti.

La maggior parte delle resistenze è “decorata” con alcune simpatiche fasce colorate che, oltre a renderle graziose, hanno un significato ben preciso. La codifica colorata identifica il *valore nominale* e la *tolleranza* della resistenza,

anche se le resistenze più “serie” (e “noiose”) riportano, più prosaicamente, i valori numerici. Il codice a colori inizia a un margine della resistenza ed è costituito da varie *fasce*. Ogni colore rappresenta un numero e la posizione della fascia indica come utilizzare tale numero. Le resistenze a precisione standard utilizzano quattro fasce colorate: le prime tre indicano il valore nominale della resistenza e la quarta indica la tolleranza. Le resistenze ad alta precisione usano invece cinque fasce colorate: le prime quattro indicano il valore e la quinta indica la tolleranza (normalmente pari all’1%).

Utilizzando uno speciale incantesimo di decodifica (sto scherzando, date un’occhiata alle prime due colonne della [Tabella 3.1](#)), potete decifrare il valore nominale di una resistenza di precisione standard nel seguente modo.

- ✓ La **prima fascia** indica la prima cifra.
- ✓ La **seconda fascia** indica la seconda cifra.
- ✓ La **terza fascia** indica il moltiplicatore in termini di numeri di serie, tranne quando è di color oro o argento.
 - Se la terza fascia è **oro**, occorre moltiplicare per 0,1 (o dividere per 10).
 - Se la terza fascia è **argento**, occorre moltiplicare per 0,01 (o dividere per 100).

Risultato: per calcolare il valore nominale della resistenza basta affiancare le prime due cifre e poi applicare il moltiplicatore.

La quarta fascia (tolleranza) usa una codifica differente, elencata nella terza colonna della [Tabella 3.1](#). Se la quarta fascia non c’è, potete supporre che la resistenza abbia una tolleranza del $\pm 20\%$.

Tabella 3.1 Codifica dei colori delle resistenze		
Colore	Numero	Tolleranza
Nero	0	$\pm 20\%$
Marrone	1	$\pm 1\%$

Rosso	2	$\pm 2\%$
Arancio	3	$\pm 3\%$
Giallo	4	$\pm 4\%$
Verde	5	n/d
Blu	6	n/d
Viola	7	n/d
Grigio	8	n/d
Bianco	9	n/d
Oro	0,1	$\pm 5\%$
Argento	0,01	$\pm 10\%$

Ecco un paio di esempi.

- ✓ **Rosso-rosso-giallo-oro:** una resistenza con fasce di colore rosso (2), rosso (2), giallo (4 zeri) e oro (5%) rappresenta una resistenza nominale da 220.000 Ω ovvero 220 k Ω , che può variare in più o in meno del 5% rispetto a questo valore. Dunque si tratta di una resistenza compresa fra 209 e 231 k Ω .
- ✓ **Arancio-bianco-oro-argento:** una resistenza con fasce di colore arancio (3), bianco (9), oro (0,1) e argento (10%) rappresenta un valore di 39 X 0,1 ovvero 3,9 Ω con una variabilità del 10% rispetto a questo valore. Pertanto la resistenza effettiva sarà compresa tra 3,5 e 4,3 Ω .

Per le resistenze ad alta precisione, le prime tre fasce colorate indicano le prime tre cifre, la quarta indica il moltiplicatore e la quinta rappresenta la tolleranza.



Nella maggior parte degli schemi viene indicata la tolleranza delle resistenze da impiegare, in termini di tolleranza della singola resistenza o di tutte le resistenze impiegate nel circuito. Trovate questa indicazione nell'elenco dei

componenti o in fondo allo schema. Se lo schema elettrico non riporta alcuna tolleranza, potete tranquillamente utilizzare resistenze con una tolleranza standard (5% o 10%).

Resistenze variabili: i potenziometri

I potenziometri sono costituiti da una pista di materiale resistivo dotata di connettori alle due estremità e di un cursore che scorre lungo questa pista e consente di regolare la resistenza fra 0 Ω fino a un valore massimo ([Figura 3.5](#)). Normalmente sui potenziometri è indicato il valore massimo (10 k, 50 k, 100 k, 1 M e così via) e non sempre viene riportato il simbolo di ohm (Ω). Per esempio, con un potenziometro da 50 k, potete impostare tramite una manopola la resistenza su un arco compreso fra 0 e 50.000 Ω .



L'intervallo del potenziometro è solo approssimativo. Se il potenziometro non riporta indicazioni, utilizzate un tester per determinare il valore del componente (vedremo nel [Capitolo 12](#) come controllare le resistenze utilizzando un tester).

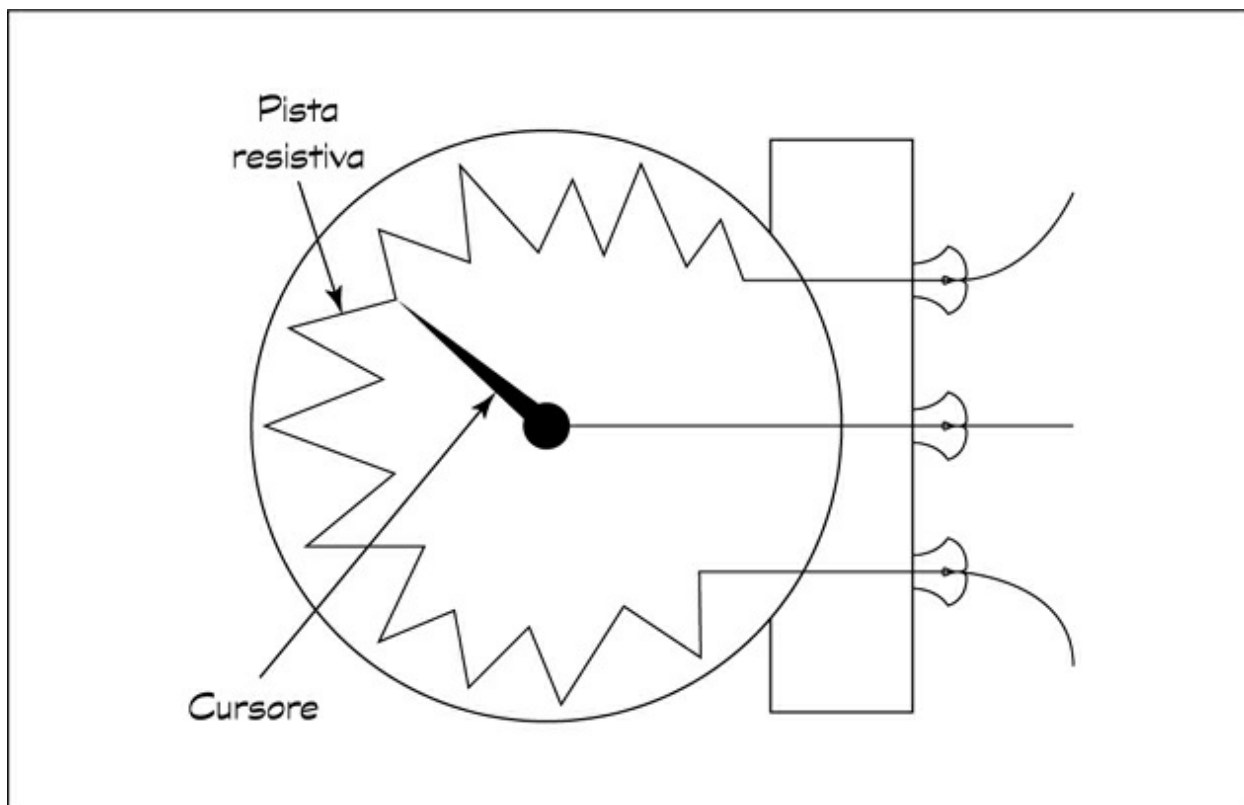


Figura 3.5 Un potenziometro con un cursore che scorre lungo una pista di materiale resistivo.

Ci tengo al mio (buon) nome

La parola *potenziometro* viene frequentemente utilizzata per indicare tutte le resistenze variabili, compresi i reostati, ma esiste una differenza fra reostati e potenziometri. I reostati sono componenti a due contatti: uno è connesso al cursore e l'altro a un'estremità della pista di materiale resistivo. Tecnicamente, invece, un potenziometro è un componente a tre contatti, connessi all'indice e a entrambe le estremità della pista di materiale resistivo. Potete naturalmente utilizzare un potenziometro come un reostato (come accade molto spesso) collegando solo due contatti oppure potete connettere al circuito tutti e tre i contatti, e ottenere così una resistenza fissa e una resistenza variabile in un solo componente!

I reostati, in genere, possono sopportare livelli di tensione e di corrente più elevati rispetto ai potenziometri. Ciò li rende ideali per le applicazioni industriali, per esempio per il controllo della velocità dei motori elettrici nei grossi macchinari. Tuttavia, i reostati sono stati largamente soppiantati da circuiti che impiegano dispositivi a semiconduttore ([Capitolo 6](#)) che consumano molta meno energia.

I potenziometri consentono di regolare la resistenza in modo continuo e sono disponibili in varie forme: a manopola, a cursore e trimmer.

- ✓ I *potenziometri a manopola* contengono una pista resistiva circolare e sono controllati ruotando un albero o una manopola. Vengono comunemente utilizzati nei progetti elettronici e sono progettati per essere installati attraverso un foro praticato sul contenitore che ospita il circuito, il quale rende pertanto accessibile il perno dall'esterno del contenitore. I potenziometri a manopola sono particolarmente diffusi nei circuiti audio, per regolare il volume.
- ✓ I *potenziometri a cursore* contengono una pista resistiva lineare e sono controllati facendo scorrere il cursore lungo la pista. Si trovano in alcuni apparecchi stereo e varialuce.
- ✓ I *potenziometri trimmer* sono più piccoli e sono progettati per essere saldati direttamente sulla scheda del circuito e per essere regolati tramite un'apposita vite. Normalmente vengono impiegati per tarare lo schema di un circuito, per esempio per impostare la sensibilità di un circuito con sensori di luminosità, più che per consentire di eseguire variazioni (e dunque non per regolare il volume).



Se impiegate un potenziometro in un circuito, tenete in considerazione che se l'indice viene portato al "massimo", ottenete una resistenza zero, ovvero non limitate in alcun modo la corrente che attraversa il componente. È pratica

comune inserire una resistenza fissa in serie con un potenziometro, come “rete di sicurezza” per limitare la corrente. Basta scegliere un valore della resistenza fissa in modo che possa lavorare insieme alla resistenza variabile per produrre l’intervallo di resistenze di cui avete bisogno. I dettagli si trovano più avanti in questo stesso capitolo, quando parleremo della resistenza totale di più resistenze poste in serie.



Potete sempre utilizzare un tester per misurare la resistenza effettiva di una resistenza sconosciuta o la resistenza variabile di un potenziometro (per i dettagli consultate il [Capitolo 12](#)).

Valutare le resistenze in base alla potenza

Piccolo quiz! Cosa ottenete se lasciate passare troppi elettroni attraverso una resistenza? Se avete risposto “Un bel casino e nessuna garanzia di rimborso” avete perfettamente ragione! Quando gli elettroni attraversano un materiale che oppone resistenza, generano calore; più sono gli elettroni, più sarà il calore. I componenti elettronici (come le resistenze) possono sopportare solo una certa quantità di calore (quanto dipende dal tipo e dalle dimensioni del componente) prima di bruciarsi. Poiché il calore è una forma di energia e la potenza misura l’energia consumata in un determinato periodo di tempo, potete utilizzare il *valore di potenza* di un componente elettronico per scoprire quanti watt (abbreviati con W, sono unità di potenza elettrica) un componente può assorbire con sicurezza.

Riconoscere le resistenze nei circuiti stampati

Quando conoscerete un po’ meglio l’elettronica, verrete colti da un irresistibile desiderio di osservare l’interno degli apparecchi

elettronici di casa (ma fate attenzione all'alta tensione e seguite le indicazioni di sicurezza fornite nel [Capitolo 9](#)). Potreste, per esempio, smontare il telecomando del televisore e vi troverete alcuni componenti collegati fra il tastierino e un LED. Su alcuni circuiti stampati, che sono “piattaforme” per la realizzazione di circuiti di produzione di massa, normalmente presenti nei computer e in altri sistemi elettronici, potreste faticare a riconoscere i singoli componenti del circuito. Questo è dovuto al fatto che i produttori utilizzano particolari tecniche per saldare i componenti sulla scheda, con lo scopo di migliorarne l'efficienza e risparmiare spazio. Una di queste tecniche, SMT (Surface-Mount Technology) consente di installare i componenti direttamente sulla superficie della scheda. Questi componenti a *montaggio superficiale* hanno un aspetto un po' differente rispetto ai componenti che potete impiegare per creare un circuito hobbistico, poiché non richiedono la presenza dei lunghi contatti per la connessione a un circuito. Tali componenti utilizzano un proprio sistema di codifica per indicarne le caratteristiche.

Tutte le resistenze sono dotate di indicazioni sulla potenza. Le normali resistenze possono gestire $\frac{1}{8}$ W o $\frac{1}{4}$ W, ma esistono anche resistenze da $\frac{1}{2}$ W e 1 W e alcune sono addirittura anti-fiamma (iniziate a preoccuparvi la realizzazione di circuiti?). Naturalmente, non troveremo sulla resistenza un'indicazione della potenza (troppo facile...) e dunque dovremo scoprirla in base alle dimensioni della resistenza (più grande è la resistenza, più potenza potrà gestire) o chiedere al produttore o al rivenditore.



Come si usa l'indicazione di potenza per scegliere una determinata resistenza per il circuito? Occorre stimare la potenza di picco che la resistenza si troverà a gestire e scegliere un livello di potenza adeguato o superiore. La potenza si calcola nel seguente modo:

$$P = V \times I$$

V rappresenta la tensione (in volt) misurata attraverso la resistenza e I rappresenta la corrente (in ampere, abbreviata con A) che scorre attraverso la resistenza. Per esempio, supponete che la tensione sia di 5 V e che vogliate far passare attraverso la resistenza 25 milliampere (mA) di corrente. Per calcolare la potenza, moltiplicate 5 per 0,025 (perché i *milliampere* sono millesimi di Ampere) e otterrete 0,125 W, ovvero $\frac{1}{8}$ W. Pertanto sapete che una resistenza da $\frac{1}{8}$ W può essere appropriata, ma siete anche sicuri che una resistenza da $\frac{1}{4}$ W sopporterà il calore molto meglio nel circuito.

Per la maggior parte dei progetti elettronici e hobbistici, sono perfette le resistenze da $\frac{1}{4}$ W o $\frac{1}{8}$ W. Potreste aver bisogno di resistenze di valore più elevato solo per applicazioni con carichi elevati, per esempio un motore o una lampada, che richiedono livelli di corrente ben più elevati rispetto a quelli dei progetti hobbistici. Queste resistenze assumono molte forme, ma come potete immaginare sono più grandi e voluminose rispetto alle normali resistenze. Le resistenze con livelli di potenza superiori a 5 W sono avvolte in un rivestimento epossidico (o un altro rivestimento resistente all'acqua e alle fiamme) e hanno una forma rettangolare, invece che cilindrica. Una resistenza ad alta potenza può anche includere un proprio sistema in metallo di dispersione del *calore*.

Combinare più resistenze

Quando inizierete ad acquistare componenti, vi accorgerete che non sempre potete trovare esattamente ciò che cercate. Questo perché sarebbe poco pratico per i produttori creare resistenze di troppi tipi. Pertanto producono resistenze con un numero limitato di valori, ai quale dovrete attenervi (come vedrete fra breve). Per esempio, potete cercare in lungo e largo una resistenza da 25 k Ω , ma non la troverete mai; al contrario, le resistenze da 22 k Ω sono molto comuni. Occorre imparare a ottenere la resistenza di cui si ha bisogno utilizzando i componenti standard disponibili sul mercato.

Potete però combinare più resistenze in vari modi per creare una *resistenza*

equivalente avente un valore che si avvicini il più possibile al livello di resistenza desiderato. E poiché anche le resistenze standard sono precise al 5 o al 10% rispetto al loro valore nominale, si possono combinare più resistenze arrotondando abbastanza bene il valore richiesto.



Vi sono alcune “regole” per combinare più resistenze, di cui parleremo fra breve. Utilizzate queste regole non solo per scegliere le resistenze per i vostri circuiti, ma anche per analizzare i circuiti elettronici sviluppati da altri. Per esempio, se sapete che una lampadina ha una certa resistenza e ponete una resistenza in serie con la lampadina per limitare la corrente, dovrete sapere qual è la resistenza totale dei due componenti prima di poter calcolare la corrente che li attraversa.

Resistenze in serie

Per combinare due o più resistenze in serie, dovete connetterle una dopo l'altra (come rappresentato nella [Figura 3.6](#)), in modo che la stessa corrente sia costretta a passare sequenzialmente attraverso ciascuna di esse. In questo modo, limitate la corrente con la prima resistenza, la limitate ulteriormente con la successiva e così via. Pertanto l'effetto della combinazione in serie è un incremento della resistenza totale.

Per calcolare la resistenza combinata (equivalente) di più resistenze poste in serie, basta *sommare* i valori delle singole resistenze. Potete estendere questa regola a una qualsiasi serie di resistenze:

$$R_{\text{serie}} = R1 + R2 + R3 + R4 + \dots$$

$R1$, $R2$, $R3$ e così via rappresentano i valori delle resistenze e R_{serie} rappresenta la resistenza equivalente totale. Ricordate che la corrente è costretta a scorrere attraverso tutte le resistenze connesse in serie.



Potete applicare questo concetto della resistenza equivalente per scegliere le resistenze per un determinato circuito. Per esempio, supponete di aver bisogno di una resistenza da 25 k Ω , ma di non riuscire a trovare una resistenza standard di tale valore. Potete combinare due resistenze standard, una da 22 k Ω e una da 3,3 k Ω in serie per ottenere una resistenza da 25,3 k Ω . Questa rappresenta una differenza inferiore al 2% rispetto alla resistenza da 25 k Ω di cui avreste bisogno, ben all'interno dei tipici livelli di tolleranza della resistenza (che sono del 5 o 10%).



Fate attenzione con le unità di misura quando sommate i valori delle resistenze. Per esempio, supponete di connettere in serie le seguenti resistenze ([Figura 3.6](#)): 1,2 k Ω , 680 Ω e 470 Ω . Prima di sommare le resistenze, occorre convertirne i valori nelle stesse unità, per esempio in ohm. In questo caso, la resistenza totale, R_{totale} , si calcola nel seguente modo:

$$R_{\text{totale}} = 1.200 \, \Omega + 680 \, \Omega + 470 \, \Omega = 2.350 \, \Omega \text{ ovvero } 2,35 \, \text{k}\Omega$$

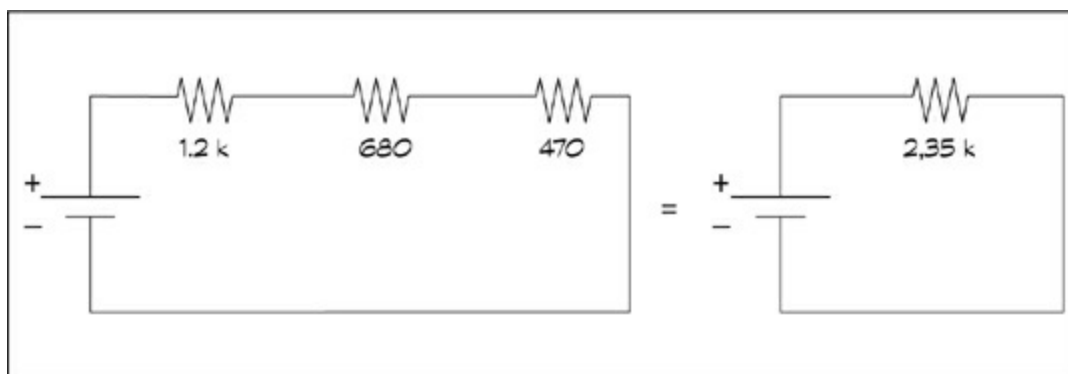


Figura 3.6 La resistenza combinata di due o più resistenze in serie è data dalla somma delle singole resistenze.



La resistenza combinata sarà *sempre* maggiore di ognuna delle singole resistenze. Questo fatto può essere comodo nella progettazione dei circuiti. Per esempio, se volete limitare la corrente diretta verso una lampadina, ma non conoscete la resistenza della lampadina, potete porre una resistenza in serie con la lampadina ed essere sicuri che la resistenza totale al flusso di corrente sia almeno pari al valore della somma delle resistenze. Per i circuiti che utilizzano resistenze variabili (come i varioluce), il fatto di porre una resistenza fissa in serie con la resistenza variabile garantisce che la corrente sia limitata anche se il potenziometro viene portato a 0 Ω (vedremo più avanti come calcolare solo la corrente per una determinata combinazione tensione/resistenza).

Resistenze in parallelo

Quando combinate in parallelo due resistenze, connettete entrambi i contatti ([Figura 3.7](#)), così che ogni resistenza riceva la stessa tensione. In tal modo, offrite alla corrente due diversi percorsi attraverso i quali può passare e dunque anche se ogni resistenza limita il flusso della corrente attraverso un circuito, vi sarà comunque un percorso alternativo attraverso il quale può passare altra corrente. Dal punto di vista della tensione di origine, l'effetto di disporre le resistenze in parallelo è una *riduzione* della resistenza totale.

Per calcolare le resistenze equivalenti, $R_{\text{parallelo}}$, di due resistenze in parallelo, si usa la seguente formula:

$$R_{\text{parallelo}} = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

Dove $R1$ e $R2$ sono i valori delle singole resistenze.

Nell'esempio rappresentato nella [Figura 3.7](#), vi sono due resistenze da 2 k Ω poste in parallelo. La resistenza equivalente è la seguente:

$$\begin{aligned}
 R_{\text{parallelo}} &= \frac{2.000 \times 2.000}{2.000 + 2.000} \\
 &= \frac{4.000.000}{4.000} \\
 &= 1.000
 \end{aligned}$$

In questo esempio, le due resistenze hanno lo stesso valore, la loro connessione in parallelo fa sì che la resistenza equivalente venga *dimezzata*. Il risultato è che ciascuna resistenza trasporterà metà della corrente erogata. Se vengono poste in parallelo due resistenze di valore differente, passerà più corrente attraverso il percorso in cui la resistenza è *inferiore* rispetto a quello in cui la resistenza è superiore.

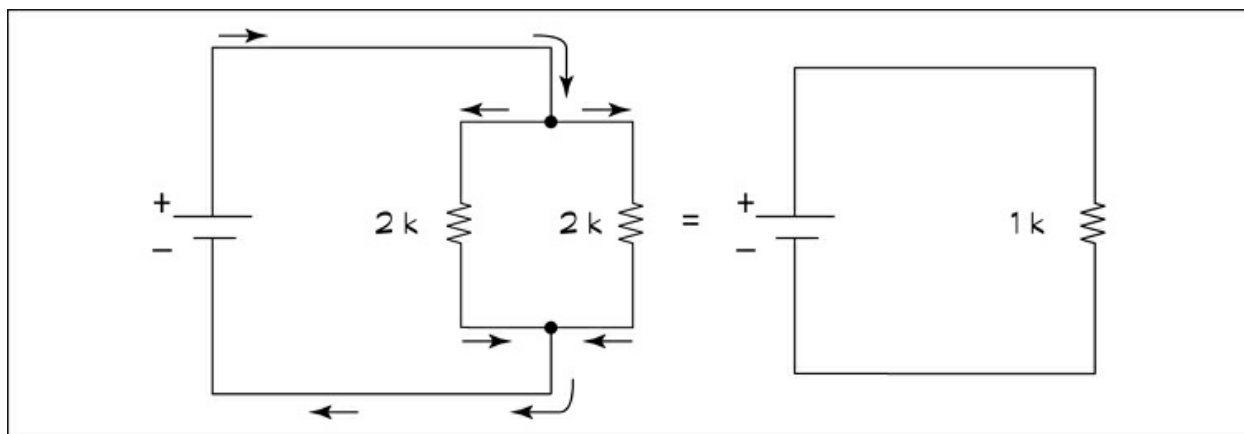


Figura 3.7 La resistenza combinata di due o più resistenze in parallelo è sempre inferiore rispetto alle singole resistenze.



Se il circuito richiede una resistenza di potenza più elevata, per esempio 1 W, ma avete a disposizione solo resistenze da ½ W, potete combinare in parallelo due resistenze da ½ W. Basta selezionare valori di resistenza che si combinino per creare la resistenza desiderata. Poiché ognuna di esse trasporterà metà della corrente di una singola resistenza, dissiperà metà della potenza (ricordate che potenza = tensione X corrente).

Se combinate più resistenze in parallelo, l'operazione matematica da svolgere diviene un po' più complessa:

$$R_{\text{parallelo}} = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} \dots} \text{ (e così via)}$$

Per considerare più resistenze in parallelo, la quantità della corrente che scorre attraverso ogni singolo ramo è *inversamente proporzionale* alla resistenza all'interno di quel ramo. In pratica, più elevata è la resistenza, meno corrente segue tale percorso; più bassa è la resistenza, più corrente “sceglie” quella via. Esattamente come l'acqua, la corrente elettrica preferisce seguire il percorso di minore resistenza.



Come abbreviazione per le equazioni elettroniche, potete vedere il simbolo || utilizzato per rappresentare la formula delle resistenze in parallelo. Per esempio:

$$R_{\text{parallelo}} = R1 \parallel R2 = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

oppure

$$R_{\text{parallelo}} = R1 \parallel R2 \parallel R3 = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}}$$

Combinare resistenze in serie e in parallelo

Molti circuiti combinano resistenze in serie e in parallelo in vari modi per limitare la corrente in alcune parti del circuito suddividendo la corrente in altre parti del circuito. In alcuni casi, potete calcolare la resistenza equivalente combinando le equazioni per le resistenze in serie e in parallelo.

Per esempio, nella [Figura 3.8](#), la resistenza R2 (2 kΩ) è in parallelo con la resistenza R3 (2 kΩ) e tale combinazione in parallelo è in serie con la resistenza R1 (1 kΩ). Potete calcolare la resistenza totale (in kΩ) nel seguente modo:

$$\begin{aligned} R_{\text{totale}} &= R1 + (R2 \parallel R3) \\ &= R1 + \frac{R2 \times R3}{R2 + R3} \\ &= 1 + \frac{2 \times 2}{2 + 2} \\ &= 1 + 1 \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$R_{\text{totale}} = 2\text{k}\Omega$$

In questo circuito, la corrente erogata dalla batteria è limitata dalla resistenza *totale* del circuito, che è 2 kΩ. La corrente erogata scorre dal terminale positivo della batteria attraverso la resistenza R1, si suddivide (metà attraversa la resistenza R2 e metà segue la resistenza R3) e poi si combina nuovamente per scorrere verso il terminale negativo della batteria.



Spesso i circuiti contengono combinazioni molto complesse di resistenze in serie e in parallelo e scoprire la resistenza equivalente non è sempre facile. Occorre utilizzare la matematica delle matrici per analizzarli e poiché questo libro non si occupa di matematica, non intendiamo fare “deroghe” per esplorare le complessa matematica delle matrici.

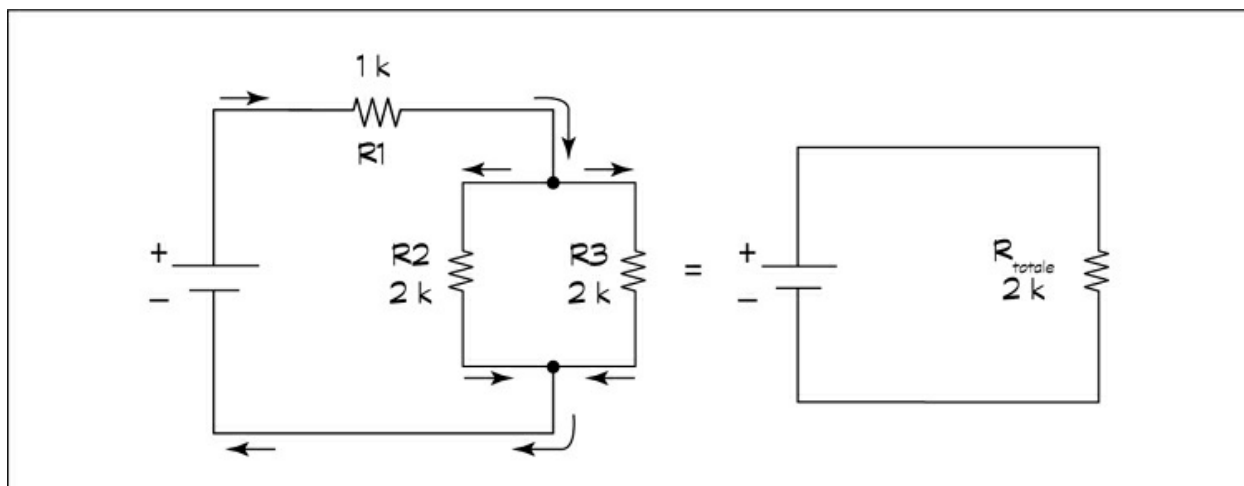


Figura 3.8 Molti circuiti comprendono una combinazione di resistenze in parallelo e in serie.

Obbedire alla Legge di Ohm

Uno dei concetti più importanti per comprendere l'elettronica è la relazione esistente fra la tensione, la corrente e la resistenza in un circuito, riassunta in una semplice equazione, chiamata Legge di Ohm. Conoscendone il significato, sarete sulla buona strada per iniziare ad analizzare i circuiti progettati da altri e anche per progettare nuovi circuiti. Ma prima di parlare della Legge di Ohm, può essere utile un breve riepilogo sui flussi e riflussi di corrente.

Spingere la corrente attraverso una resistenza

Se ponete una fonte di tensione ai due capi di un componente elettronico che ha una resistenza misurabile (per esempio una lampadina o una resistenza), la forza rappresentata dalla tensione spingerà gli elettroni attraverso tale componente. Il movimento degli elettroni è proprio ciò che costituisce la corrente elettrica. Applicando una tensione superiore, esercitate una forza maggiore sugli elettroni, creando così un flusso di elettroni più intenso (una corrente più elevata) attraverso la resistenza. Maggiore è la forza (tensione, V), maggiore è il flusso degli elettroni (corrente, I).

La situazione è analoga a quella dell'acqua che scorre attraverso una tubatura di un certo diametro. Se esercitate una determinata pressione sull'acqua presente nella tubatura, la corrente scorrerà a una determinata velocità. Se aumentate la pressione, la corrente scorrerà più velocemente all'interno della stessa tubatura; se riducete la pressione, la corrente scorrerà più lentamente.

Costantemente proporzionale!

La relazione fra tensione (V) e corrente (I) in un componente che oppone resistenza (R) è stata scoperta all'inizio dell'Ottocento da Georg Ohm (ecco da dove viene il nome!). Ha immaginato che, per i componenti che oppongono una resistenza fissa, la tensione e la corrente variassero allo stesso modo: raddoppiando la tensione, si raddoppiava la corrente; dimezzando la tensione, si dimezzava la corrente. Ha riassunto questa relazione in modo piuttosto elegante in una semplice equazione matematica, che, giustamente, reca il suo nome: la Legge di Ohm.



La *Legge di Ohm* stabilisce che la tensione è uguale alla corrente moltiplicata per la resistenza, ovvero:

$$V = I \times R$$

Il significato è il seguente: la tensione (V), misurata attraverso un componente che oppone una resistenza fissa, è uguale alla corrente (I) che attraversa il componente moltiplicata per il valore della resistenza (R).

Per esempio, nel semplice circuito rappresentato nella [Figura 3.9](#), una batteria da 9 V cui viene applicata una resistenza da 1 k Ω produce una corrente di 9 mA (equivalente a 0,009 A) attraverso il circuito:

$$9 \text{ V} = 1.000 \text{ } \Omega \times 0,009 \text{ A}$$

Questa piccola legge è così importante nell'elettronica che sarebbe il caso di

ripetersela continuamente, come un mantra, per aiutare la memoria. Potete considerarla una VIR (Very Important Rule), una “regola molto importante”.



Quando usate la Legge di Ohm, controllate attentamente le unità di misura. Assicuratevi di convertire tutti i *kilo* e i *milli* prima di impugnare la calcolatrice. Se pensate che la Legge di Ohm sia $volt = amp \times ohm$, va tutto bene. E se siete coraggiosi, potete pensare che $volt = milliamp \times kilohm$, che funziona altrettanto bene (poiché i *milli* annullano l'effetto dei *kilo*). Ma se non fate attenzione e unite insieme più unità, potreste ottenere una bella scossa! Per esempio, una lampada con una resistenza di $100\ \Omega$ è attraversata da una corrente di $50\ mA$. Se dovete dimenticare di convertire i milliampere in ampere, moltiplichereste 100 per 50 , ottenendo $5000\ V$ di tensione per la lampada! Accipicchia! Il modo corretto per eseguire il calcolo sarebbe quello di convertire $50\ mA$ in $0,05\ A$ e solo successivamente moltiplicare il tutto per $100\ \Omega$, ottenendo pertanto $5\ V$. Molto meglio!

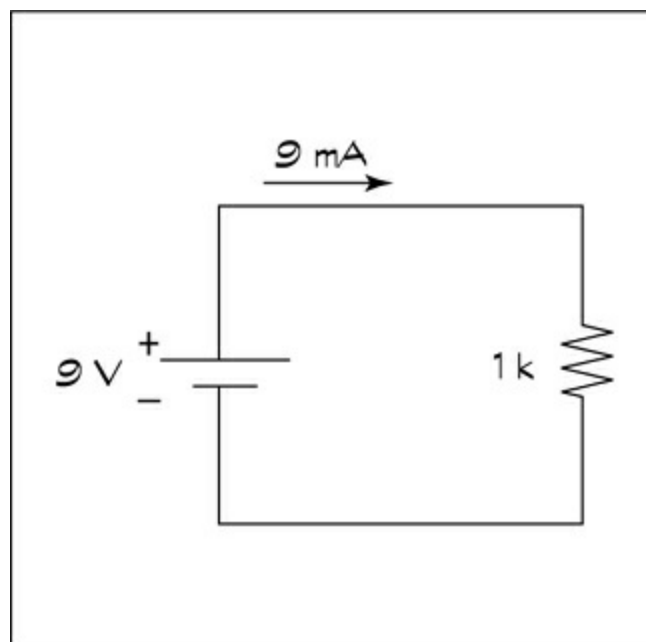


Figura 3.9 Una tensione di $9\ V$ applicata a una resistenza di $1\ k\Omega$ produce una corrente di $9\ mA$.



Vi è un motivo per cui il nome di Georg Ohm è associato alla legge che governa i valori di resistenza. Il modo in cui viene definita un'unità di resistenza proviene dal lavoro di Georg Ohm. L'ohm è definito come la resistenza fra due punti di un conduttore: quando si applica 1 V a questi punti, si produce 1 ampere di corrente attraverso il conduttore. Abbiamo pensato che vi avrebbe fatto piacere saperlo. Buon per noi che il buon Georg non facesse di cognome Wojciehowicz!

Una legge, tre equazioni

Risolveremo l'algebra delle scuole superiori. Forse ricorderete che potete ridisporre i termini di un'equazione a variabili (le ben note x e y) per risolvere il tutto sulla base di una variabile conoscendo i valori delle altre. Lo stesso vale per la Legge di Ohm. Potete ridisporre i termini per creare altre due equazioni, per un totale di tre equazioni per una sola legge:

$$V = I \times R \qquad I = V/R \qquad R = V/I$$

Queste tre equazioni dicono tutte la stessa cosa, ma in termini differenti. Potete utilizzarle per calcolare una quantità conoscendo le altre due. Quale utilizzare dipende da ciò di cui avete bisogno. Ecco alcuni esempi.

- ✓ **Per calcolare una tensione sconosciuta**, moltiplicate la corrente per la resistenza ($V = I \times R$). Per esempio, se avete una corrente di 2 mA che attraversa una resistenza da 2 k Ω , la tensione attraverso la resistenza sarà di 2 mA $\times$ 2 k Ω (o 0,002 A $\times$ 2.000 Ω) = 4 V.
- ✓ **Per calcolare una corrente sconosciuta**, prendete la tensione e dividetela per la resistenza ($I = V / R$). Per esempio, se a 9 V viene applicata una resistenza di 1 k Ω , la corrente sarà di 9 V / 1000 Ω = 0,009 A o 9 mA.
- ✓ **Per calcolare una resistenza sconosciuta**, prendete la tensione e

dividetela per la corrente ($R = V / I$). Per esempio, se avete una tensione di 3,5 V che attraversa una resistenza sconosciuta con 10 mA di corrente, la resistenza sarà di $3,5 \text{ V} / 0,01 \text{ A} = 350 \Omega$.

Uso della Legge di Ohm per analizzare i circuiti

Una volta acquisita la Legge di Ohm, sarete pronti per metterla in pratica. La Legge di Ohm è un po' come una chiave universale, che sblocca tutti i segreti dei circuiti elettronici. Potete utilizzarla per comprendere il comportamento dei circuiti e per individuarne i problemi (per esempio, perché la luce non si accende, il buzzer non emette alcun suono o la resistenza non oppone più alcuna resistenza perché è bruciata). Potete anche utilizzarla per progettare circuiti e per scegliere i componenti adatti da utilizzare in un circuito. Ne parleremo nel prossimo paragrafo di questo capitolo. Ora parleremo, invece, del modo in cui applicare la Legge di Ohm per analizzare i circuiti.

Calcolo della corrente attraverso un componente

Nel semplice circuito rappresentato nella [Figura 3.10](#), a una batteria da 6 V viene applicata una resistenza da 1 k Ω . Si calcola la corrente che attraversa la resistenza nel seguente modo:

$$I = 6 \text{ V} / 1.000 \Omega = 0,006 \text{ A ovvero } 6 \text{ mA}$$

Se aggiungete una resistenza da 220 Ω in serie con quella da 1 k Ω come indicato nella [Figura 3.11](#), limitate ulteriormente la corrente. Per calcolare la corrente che attraversa il circuito, occorre determinare la resistenza totale incontrata dalla batteria da 6 V all'interno del circuito. Poiché le resistenze sono in serie, si sommano, per una resistenza equivalente totale di 1,22 k Ω . La nuova corrente è:

$$I = 6 \text{ V} / 1.220 \Omega \approx 0,0049 \text{ A ovvero } 4,9 \text{ mA}$$

Aggiungendo questa resistenza, avete ridotto la corrente in circolo da 6 a 4,9 mA.



Il doppio simbolo “tilde” ($\approx$) nelle equazioni significa “è circa uguale a” e lo abbiamo utilizzato perché abbiamo arrotondato la corrente al decimo di milliampere. Normalmente non vi sono problemi ad arrotondare i valori più piccoli in elettronica, a meno che si stia lavorando con circuiti che controllano qualcosa di molto delicato o di alta precisione.

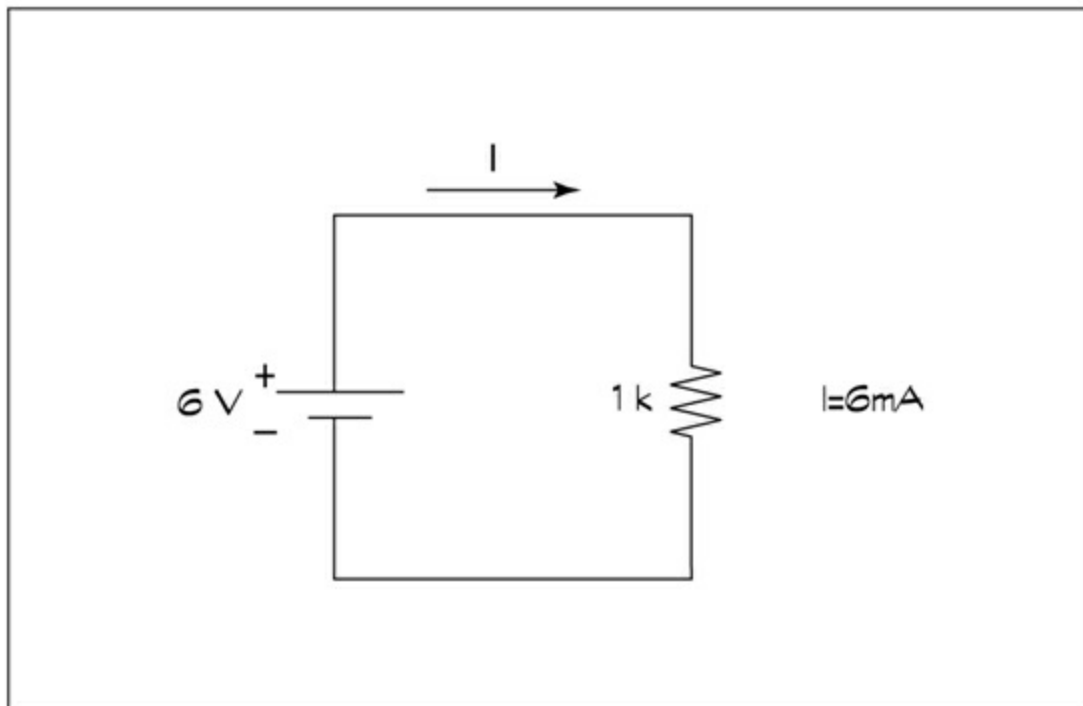


Figura 3.10 Calcolo della corrente attraverso la resistenza in questo semplice circuito. Tutto molto semplice, applicando la Legge di Ohm.

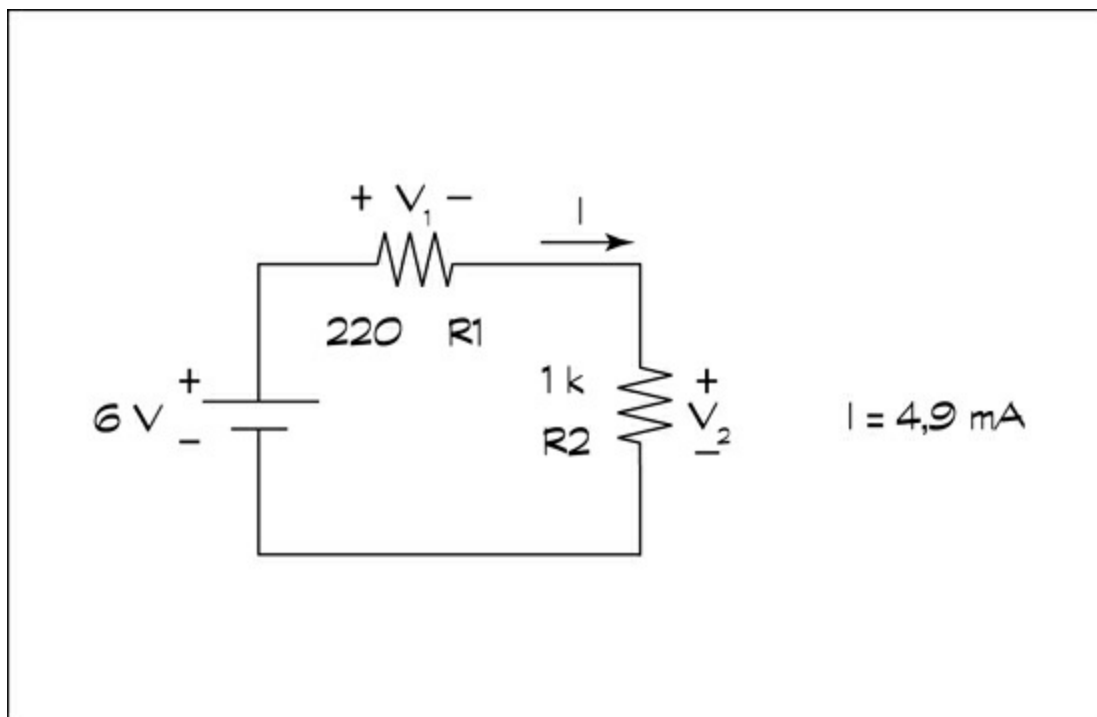


Figura 3.11 Il calcolo della corrente che attraversa questo circuito richiede la valutazione della resistenza equivalente e poi l'applicazione della Legge di Ohm.

Calcolo della tensione attraverso un componente

Nel circuito rappresentato nella [Figura 3.10](#), la tensione che attraversa la resistenza è semplicemente la tensione erogata dalla batteria: 6 V. Ciò è dovuto al fatto che la resistenza è l'unico elemento presente nel circuito, a parte la batteria. Sommando una seconda resistenza in serie (come nella [Figura 3.11](#)) si cambia la tensione: ora una parte della tensione della batteria viene abbattuta attraverso la resistenza da 1 k Ω (R2) e la parte *rimanente* della tensione della batteria viene abbattuta attraverso la resistenza da 220 Ω (R1).

Per scoprire quanta tensione viene abbattuta da ciascuna resistenza, si applica la Legge di Ohm a ogni singola resistenza. Si conosce il valore di ciascuna resistenza e *la corrente che scorre attraverso ciascuna resistenza*. Ricordate che la corrente (I) è la tensione della batteria (6 V) divisa per la resistenza totale (R1 + R2, ovvero 1,22 k Ω) ovvero circa 4,9 mA. Ora potete applicare

la Legge di Ohm a ciascuna resistenza per calcolare la caduta di tensione:

$$V_1 = I \times R1$$

$$= 0,0049 \text{ A} \times 220 \, \Omega = 1,078 \text{ V} \approx 1,1 \text{ V}$$

$$V2 = I \times R2$$

$$= 0,0049 \text{ A} \times 1.000 \, \Omega = 4,9 \text{ V}$$

Notate che se sommate le cadute di tensione attraverso le due resistenze, ottenete 6 V, che è la tensione totale fornita dalla batteria. Questa non è una coincidenza: la batteria eroga una tensione alle due resistenze del circuito e la tensione erogata viene suddivisa proporzionalmente fra le due resistenze, sulla base del valore della resistenza. Questo tipo di circuito è chiamato *partitore di tensione*.



Molti sistemi elettronici utilizzano dei partitori di tensione per portare la tensione a un livello inferiore, dopodiché inviano tale tensione ridotta a un'altra parte del sistema, che richiede proprio tale tensione.



Vi è un modo più rapido per calcolare le “tensioni ripartite” (V_1 o V_2) della [Figura 3.11](#). Sapete che la corrente che attraversa il circuito può essere espressa come:

$$I = \frac{V_{\text{batteria}}}{R1 + R2}$$

Sapete anche che:

$$V_1 = I \times R1$$

e

$$V_2 = I \times R_2$$

Uso della Legge di Ohm

La Legge di Ohm è molto utile nell'analisi delle tensioni e delle correnti per le resistenze e gli altri componenti che si comportano come resistenze, come le lampadine. Ma occorre fare attenzione nell'applicare la Legge di Ohm ad altri componenti elettronici, come i condensatori (di cui parleremo nel [Capitolo 4](#)) e gli induttori (argomento del [Capitolo 5](#)), che non esibiscono una resistenza *costante* in tutte le circostanze. Per tali componenti l'opposizione alla corrente (ovvero l'*impedenza*) può variare a seconda di ciò che accade nel circuito. Pertanto, non potete semplicemente utilizzare un tester per misurare la “resistenza” di un condensatore, per esempio, e poi cercare di applicare in qualche modo la Legge di Ohm. Parleremo dell'impedenza nel [Capitolo 4](#).

Per calcolare V_1 , per esempio, potete sostituire l'equazione per I , rappresentata sopra, e otterrete:

$$V_1 = \frac{V_{\text{batteria}}}{R_1 + R_2} \times R_1$$

Potete ridisporre i termini senza cambiare l'equazione, per ottenere:

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{\text{batteria}}$$

Analogamente, l'equazione per V_2 è:

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{\text{batteria}}$$

Inserendo i valori di R_1 , R_2 e V_{batteria} ottenete $V_1 = 1,078 \text{ V}$ e $V_2 = 4,9 \text{ V}$, come calcolato in precedenza.



Vedrete questa equazione generale utilizzata comunemente per calcolare la tensione attraverso una resistenza (R_1) in un circuito partitore di tensione:

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{\text{batteria}}$$



Utilizzate l'equazione di partizione della tensione per calcolare la tensione di uscita, V_{out} , nel circuito partitore di tensione rappresentato nella [Figura 3.2](#), nel seguente modo:

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= \frac{15.000 \, \Omega}{(12.000 + 15.000) \, \Omega} \times 9 \text{ V} \\ &= \frac{15.000}{27.000} \times 9 \text{ V} \\ &= 5 \text{ V} \end{aligned}$$

Il circuito rappresentato nella [Figura 3.2](#) divide l'alimentazione da 9 V fino a 5 V.

Calcolo di una resistenza sconosciuta

Immaginate di avere una grossa torcia, da alimentare con una batteria da 12 V e di misurare una corrente di 1,3 A attraverso il circuito (vedremo come

eseguire la misura della corrente nel [Capitolo 12](#)). Potete calcolare la resistenza della lampadina prendendo la tensione attraverso la lampadina (12 V) e dividendola per la corrente attraverso la lampadina (1,3 A). Si tratta di un rapido calcolo:

$$R_{\text{lampadina}} = 12 \text{ V} / 1,3 \text{ A} = 9 \, \Omega$$

Che cosa governa, realmente, la Legge di Ohm?

La Legge di Ohm è comoda per l'analisi di tutti i tipi di circuiti, semplici o complessi. Potete utilizzarla per progettare e modificare dei circuiti elettronici, magari per assicurarvi di ottenere la corrente e la tensione corrette nei punti corretti del circuito. Nella progettazione dei circuiti, vi troverete a utilizzare la Legge di Ohm talmente tante volte che la imparerete certamente a memoria.

Analisi di circuiti complessi

La Legge di Ohm è particolarmente comoda per analizzare circuiti più complessi del semplice circuito a lampadina di cui abbiamo appena parlato. Spesso occorre impiegare il concetto di resistenza equivalente per poter applicare la Legge di Ohm e scoprire esattamente dove sta andando la corrente e come calano le tensioni all'interno del circuito.

Per esempio, supponiamo di aggiungere al circuito rappresentato nella [Figura 3.11](#) una resistenza da 2,2 k Ω in parallelo con quella da 1 k Ω , come rappresentato nella [Figura 3.12](#). Potete calcolare la corrente che attraversa ciascuna resistenza, passo dopo passo, nel seguente modo.

1. Calcolo della resistenza equivalente del circuito.

Potete trovare questo valore applicando le regole per le resistenze in parallelo e le resistenze in serie, nel seguente modo:

$$R_{\text{equivalente}} = 220 + \frac{1.000 \times 2.200}{1.000 + 2.200}$$

$$\approx 220 + 688$$

$$\approx 908 \, \Omega$$

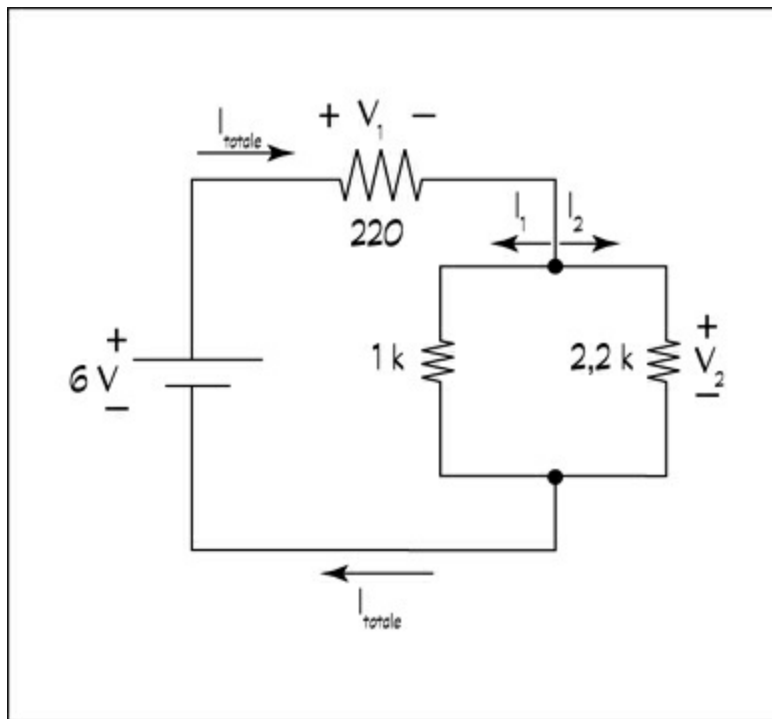


Figura 3.12 I circuiti complessi possono essere analizzati applicando la Legge di Ohm e calcolando le resistenze equivalenti.

2. Calcolo della corrente totale fornita dalla batteria.

Qui si applica la Legge di Ohm utilizzando la tensione della batteria e la resistenza equivalente:

$$I_{\text{totale}} = 6 \text{ V} / 908 \, \Omega$$

$$\approx 0,0066 \text{ A ovvero } 6,6 \text{ mA}$$

3. Calcolo del calo di tensione attraverso resistenze in parallelo.

Potete eseguire questo calcolo in due modi.

- *Applicare la Legge di Ohm alle resistenze parallele.* Potete calcolare la resistenza equivalente delle due resistenze in parallelo e poi moltiplicarla per la corrente erogata. La resistenza equivalente è di $688\ \Omega$, come si può vedere nel primo passo di questa procedura. Pertanto la tensione è:

$$V_2 = 0,0066\text{ A} \times 688\ \Omega \\ \approx 4,55\text{ V}$$

- *Applicare la Legge di Ohm alla resistenza da $220\ \Omega$ e sottrarre la sua tensione dalla tensione erogata.* La tensione attraverso la resistenza da $220\ \Omega$ è:

$$V_1 = 0,0066\text{ A} \times 220\ \Omega \\ \approx 1,45\text{ V}$$

E pertanto la tensione attraverso le resistenze parallele è:

$$V^2 = V^{\text{erogata}} - V_1 \\ = 6\text{ V} - 1,45\text{ V} = 4,55\text{ V}$$

4. Infine calcolo della corrente attraverso ognuna delle resistenze parallele.

Per ottenere questo risultato, si applica la Legge di Ohm a ciascuna resistenza, utilizzando la tensione appena calcolata (V_2). Ecco cosa fare:

$$I_1 = 4,55\text{ V} / 1.000\ \Omega \approx 0,0046\text{ A ovvero } 4,6\text{ mA}$$

$$I_2 = 4,55\text{ V} / 2.200\ \Omega \approx 0,002\text{ A ovvero } 2\text{ mA}$$

Notate che le correnti dei due rami, I_1 e I_2 , si sommano alla corrente totale erogata, I_{totale} : $4,6\text{ mA} + 2\text{ mA} = 6,6\text{ mA}$. Questa è una buona cosa (e un buon modo per controllare di aver eseguito correttamente i calcoli).

Progettazione e modifica di circuiti

Potete utilizzare la Legge di Ohm per determinare quali componenti utilizzare in un circuito. Per esempio, potreste avere un circuito in serie costituito da una fonte di alimentazione a 9 V più una resistenza e un LED, come illustrato nella [Figura 3.1](#), all'inizio del capitolo. Come vedrete nel [Capitolo 6](#), la caduta di tensione attraverso un LED rimane costante per un determinato intervallo di corrente che lo attraversa, ma se provate a far passare troppa corrente attraverso il LED, questo si brucerà. Supponete, per esempio, che la tensione del LED sia di 2 V e che la corrente massima che possa sopportare sia 25 mA. Quale resistenza dovrà essere posta in serie al LED per limitare la corrente, in modo che non superi mai i 25 mA?

Per determinarlo, dovete calcolare innanzitutto la caduta di tensione attraverso la resistenza quando il LED è acceso. Sapete già che la tensione erogata è di 9 V e che il LED consuma 2 V. L'unico altro componente del circuito è la resistenza e dunque sapete che dovrà consumare la tensione rimanente, ovvero 7 V. Se volete limitare la corrente in modo che non sia più di 25 mA, avrete bisogno di una resistenza che sia di *almeno* $7 \text{ V} / 0,025 \text{ A} = 280 \Omega$. Poiché non è possibile trovare una resistenza da 280 Ω , supponete di scegliere una resistenza da 300 Ω . La corrente sarà di $7 \text{ V} / 300 \Omega = 0,023 \text{ A}$ ovvero 23 mA. Il LED potrà accendersi in modo un po' meno luminoso, ma funzionerà.

La Legge di Ohm può essere comoda anche per intervenire su un circuito. Supponete che vostra moglie stia cercando di dormire, ma voi volete leggere e dunque vi procurate la vostra bella lampada a torcia. La lampadina della torcia ha una resistenza di 9 Ω ed è alimentata da una batteria da 6 V e dunque sapete che la corrente nel circuito della torcia è $6 \text{ V} / 9 \Omega = 0,65 \text{ A}$. A vostra moglie una luce così intensa dà fastidio e pertanto per ridurre la sua luminosità (e salvare il matrimonio) volete limitare un po' la corrente che attraversa la lampadina. Pensate che riducendola a 0,45 A le cose andranno meglio e sapete che collocando una resistenza in serie fra la batteria e la lampadina, limitereste la corrente. Ma quale valore di resistenza utilizzare? Potete utilizzare la Legge di Ohm per scoprire il valore della resistenza nel seguente modo.

■  Utilizzando la nuova corrente desiderata, calcolate la caduta di

tensione desiderata attraverso la lampadina: $V_{\text{lampadina}} = 0,45 \text{ A} \times 9 \Omega \approx 4,1 \text{ V}$

- ✓ Calcolate la porzione della tensione di alimentazione che volete applicare attraverso la nuova resistenza. Questa è la tensione di alimentazione meno la tensione attraverso la lampadina: $R = 1,9 \text{ V} / 0,45 \text{ A} \approx 4,2 \Omega$.
- ✓ Calcolate il valore della resistenza necessario per creare tale calo di tensione data la nuova corrente desiderata: $R = 1,9 \text{ V} / 0,45 \text{ A} \approx 4,2 \Omega$.
- ✓ Infine scegliete una resistenza prossima al valore calcolato e assicuratevi che possa gestire la dissipazione di potenza: $P_{\text{resistenza}} = 1,9 \text{ V} \times 0,45 \text{ A} \approx 0,9 \text{ W}$.

Risultato: poiché non è possibile trovare sul mercato una resistenza da $4,2 \Omega$, potete impiegare una resistenza da $4,7 \Omega$ 1 W per ridurre la luminosità della torcia. Vostra moglie potrà dormire tranquillamente, sempre che il suo russare non interferisca con le vostre letture.

La potenza della Legge di Joule

Un altro scienziato che ha svolto molto lavoro all'inizio dell'Ottocento è stato James Prescott Joule. Joule è responsabile dell'equazione che fornisce i valori di potenza (di cui abbiamo parlato in precedenza nel capitolo). Si tratta della *Legge di Joule*:

$$P = V \times I$$

Questa equazione stabilisce che la potenza (in watt) sia uguale alla tensione (in volt) che attraversa un componente moltiplicata per la corrente (in ampere) che attraversa tale componente. La cosa più bella di questa equazione è che si applica a ogni componente elettronico, che sia una resistenza, una lampadina, un condensatore... qualsiasi altra cosa. Calcola il livello di energia elettrica consumata dal componente, ovvero la potenza.

Uso della Legge di Joule per scegliere i componenti

Avete già visto come utilizzare la Legge di Joule per garantire che il livello di resistenza sia sufficiente per non bruciare un circuito, ma dovete sapere che questa equazione è comoda anche per scegliere altri componenti elettronici. Lampade, diodi (come vedremo nel [Capitolo 6](#)) e altri componenti dotati di un livello di alimentazione massimo. Se vi aspettate che operino anche a livelli di potenza più elevati rispetto a quelli previsti, scoprirete con sconcerto che troppa corrente li farà saltare o bruciare. Nella scelta del componente, dovrete considerare la potenza *massima possibile* che il componente dovrà gestire nel circuito. Potete farlo determinando la corrente massima che attraversa il componente, poi la tensione che attraversa il componente e poi moltiplicando fra loro queste quantità. In tal modo potrete scegliere un componente con un livello di alimentazione che superi il livello massimo stimato.

Joule e Ohm: un duo straordinario

Se vi sentite creativi, potete combinare le leggi di Joule e di Ohm per ottenere equazioni ancora più utili per calcolare la potenza per i componenti resistivi e i circuiti. Per esempio, se sostituite $I \times R$ per V nella Legge di Joule ottenete:

$$P = (I \times R) \times I = I^2 R$$

Che fornisce un modo per calcolare la potenza conoscendo la corrente e la resistenza ma non la tensione. Analogamente, potete sostituire V / R per I nella Legge di Joule per ottenere:

$$P = V \times V / R = V^2 / R$$

Utilizzando tale formula, potete calcolare la potenza conoscendo la tensione e la resistenza, ma non la corrente.

La Legge di Joule e la Legge di Ohm vengono utilizzate insieme con tale frequenza che spesso a Georg Ohm vengono attribuite entrambe le leggi!

Realizzare semplici circuiti con resistenze

Se volete provare a sperimentare qualche circuito che opera tramite resistenze, date un'occhiata ad alcuni dei circuiti pratici che si trovano all'inizio del [Capitolo 14](#), nella [Parte III](#). Questi circuiti mostrano in azione la Legge di Ohm e consentono di impiegare un potenziometro per variare la resistenza e ripartire le tensioni. Ma prima di saltare così avanti nel libro, vi consigliamo di leggere la [Parte II](#), che spiega come configurare l'area di lavoro, come lavorare in sicurezza, come leggere gli schemi, come realizzare circuiti e come misurare tutto ciò di cui avete bisogno.

Capitolo 4

Condensatori alla carica!

In questo capitolo

Caricare energia elettrica nei condensatori.

Caricare e scaricare i condensatori.

No alla corrente continua e sì alla corrente alternata.

In quale modo i condensatori reagiscono alle varie frequenze.

Usare (con cautela!) la Legge di Ohm per i circuiti a condensatore.

Una grande coppia: condensatori e resistenze.

Impiegare i condensatori per bloccare, filtrare, addolcire e ritardare i segnali.

Le resistenze sono il componente elettronico più noto, seguite a ruota dai condensatori. Particolarmente adatti a conservare energia elettrica, i condensatori sono una presenza importante in ogni circuito elettronico; senza il loro impegno, la vostra vita non sarebbe così ricca e vivace.

I condensatori consentono di cambiare la forma (l'andamento nel corso del tempo) dei segnali elettrici trasportati dalla corrente, un compito che le resistenze, da sole, non possono svolgere. Anche se il loro comportamento non è di immediata comprensione (come nel caso delle resistenze), i condensatori sono ingredienti fondamentali di molti dei sistemi elettronici e industriali impiegati oggi, come i sintonizzatori radio, le memorie per computer e i sistemi *automotive* per la gestione degli airbag e dunque vale la

pena di dedicare del tempo a cercare di scoprire come funzionano i condensatori.

In questo capitolo vedremo come sono fatti i condensatori, come riescono a conservare energia elettrica e come i circuiti possono poi utilizzare tale energia. Vedremo come un condensatore può caricarsi e poi scaricarsi, cedendo la propria energia e osserveremo come reagisce un condensatore ai segnali di varie frequenze. Poi descriveremo l'uso della Legge di Ohm per analizzare i circuiti a condensatore e per scoprire come i condensatori collaborano con le resistenze per svolgere attività utili. Infine vedremo vari usi dei condensatori nei circuiti elettronici.

Condensatori: una riserva di energia

Quando avete sete, generalmente vi procurate l'acqua in due diversi modi: potete prendere dal rubinetto di casa l'acqua che, partendo dalla sorgente, scorre lungo le tubature oppure potete prendere l'acqua raccolta in un contenitore, per esempio una bottiglia. Potete considerare l'energia elettrica in modo analogo: potete trarre l'energia direttamente da una sorgente (ovvero da una batteria o da un generatore) oppure potete ottenerla da un dispositivo che la conserva temporaneamente: un condensatore.

Esattamente come si può riempire una bottiglia da una sorgente d'acqua, si può riempire un condensatore connettendolo a una sorgente di energia elettrica. E proprio come l'acqua conservata in una bottiglia vi rimane anche una volta che la togliamo dalla fonte, così anche l'energia elettrica conservata in un condensatore rimane al suo interno anche dopo che la fonte di alimentazione viene tolta. In entrambi i casi, il materiale (l'acqua o l'energia elettrica) conservato nel dispositivo vi rimane finché non viene qualcosa a prelevarla: una persona assetata o un componente elettronico che ha bisogno di energia elettrica.

Un *condensatore* è un componente elettronico passivo, che conserva l'energia elettrica erogata da una fonte di tensione ([Figura 4.1](#)). Se rimuovete la fonte di tensione e isolate elettricamente il condensatore (separandolo dal

circuito), esso manterrà l'energia elettrica che vi avete inserito. Se invece lo connettete ad altri componenti di un circuito, il condensatore rilascerà, almeno in parte, l'energia che conserva. Un condensatore è costituito da due piastre metalliche separate da un isolante, chiamato *dielettrico*.

Condensatori e batterie: qual è la differenza?

I condensatori e le batterie conservano entrambi energia, ma in modi differenti. Come abbiamo detto nel [Capitolo 2](#), una batteria utilizza delle reazioni elettrochimiche per produrre particelle cariche, che si accumulano sui suoi terminali metallici, generando una tensione. Un condensatore non produce particelle cariche, ma offre a tali particelle la possibilità di accumularsi sulle sue piastre metalliche interne, creando una tensione fra di esse (vedere “Caricare e scaricare i condensatori”). L'energia elettrica di una batteria è il risultato di un processo di conversione dell'energia che ha origine dai composti chimici contenuti nella materia stessa, mentre l'energia elettrica del condensatore viene fornita da una fonte (elettrica) esterna.

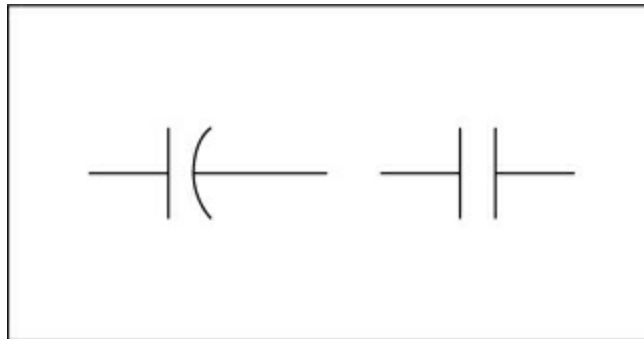


Figura 4.1 Simboli impiegati per i condensatori.

Caricare e scaricare i condensatori

Se fornite tensione in corrente continua a un circuito contenente un condensatore in serie con una lampadina (vedi [Figura 4.2](#)), il flusso di corrente non può essere continuo, poiché non si chiude un percorso conduttivo fra le due piastre del condensatore. Tuttavia, gli elettroni circolano in questo piccolo circuito, almeno temporaneamente, in modo interessante.

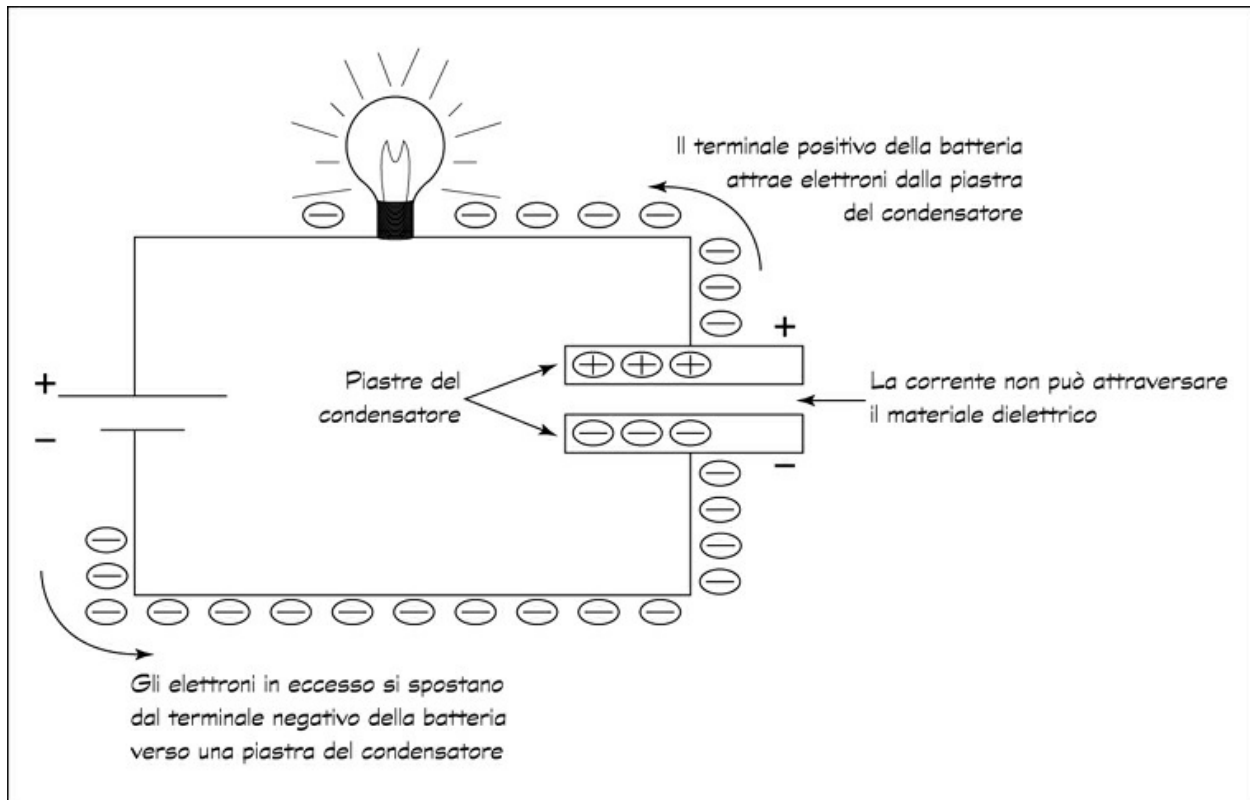


Figura 4.2 Quando una batteria viene collocata in un circuito dotato di un condensatore, il condensatore si carica. Un condensatore carico conserva dell'energia elettrica, un po' come una batteria.

Ricordate che il terminale negativo di una batteria ha un eccesso di elettroni. Pertanto nel circuito rappresentato nella [Figura 4.2](#), tali elettroni in eccesso iniziano a lasciare la batteria, dirigendosi verso il condensatore. Una volta raggiunto il condensatore, si fermano, in quanto non esiste alcun percorso conduttivo per attraversarlo. Il risultato è che l'eccesso di elettroni si trasferisce sulla superficie della piastra del condensatore.

Contemporaneamente, il terminale positivo della batteria attrae gli elettroni

dall'altra piastra del condensatore e dunque *anch'essi* iniziano a spostarsi. Mentre attraversano la lampadina, la accendono (ma solo per un istante, come vedremo nel prossimo paragrafo). Ciò produce una carica positiva netta (data la carenza di elettroni) su tale piastra. Con una carica negativa netta su una piastra e una carica positiva netta sull'altra piastra, il risultato è una differenza di tensione fra le due piastre. Questa differenza di tensione rappresenta l'energia elettrica conservata nel condensatore.

La batteria continua a sospingere elettroni verso una piastra del condensatore (e a trarre elettroni dall'altra piastra) finché la differenza di tensione fra le piastre del condensatore è uguale alla tensione della batteria. Quando viene raggiunto questo punto di equilibrio, non esiste più alcuna differenza di tensione fra la batteria e il condensatore e dunque non vi è più nulla che spinga gli elettroni dalla batteria al condensatore. Il condensatore smette di caricarsi e gli elettroni smettono di muoversi nel circuito, così la lampadina si spegne.

Quando la caduta di tensione attraverso le piastre è uguale alla tensione della batteria, si dice che il condensatore è *completamente carico*. In realtà sono le *piastre* del condensatore a essere cariche; il condensatore, di per sé, non ha alcuna carica netta. Anche se la batteria rimane connessa, il condensatore non si caricherà più, poiché non vi è più alcuna differenza di tensione fra la batteria e il condensatore. Togliendo la batteria dal circuito, la corrente non scorrerà e la carica rimarrà sulle piastre del condensatore. Il condensatore si comporta come una fonte di tensione e mantiene la propria carica, conservando l'energia elettrica.



Maggiore è la tensione della batteria applicata al condensatore, maggiore è la carica che si accumula su ciascuna piastra e maggiore sarà la caduta di tensione attraverso il condensatore, fino a un certo punto. I condensatori hanno alcuni limiti fisici: possono gestire solo una certa quantità di tensione prima che la parte di elettrica che separa le piastre inizi ad arrendersi alla quantità di energia elettrica accumulata e inizi a cedere elettroni, producendo

una scintilla tra le piastre. Per ulteriori informazioni leggete “Un occhio alla tensione di lavoro” più avanti in questo capitolo.

Se sostituite la batteria con un semplice cavo, fornite un percorso verso la lampadina per gli elettroni in eccesso su una piastra; questi possono seguire tale percorso per raggiungere l'altra piastra (che ha carenza di elettroni). Le piastre del condensatore si scaricano attraverso la lampadina, illuminandola ancora per breve tempo, anche se il circuito non ha più la batteria, questo avviene solo finché le due piastre del condensatore non si neutralizzano a vicenda. L'energia elettrica che è stata accumulata nel condensatore verrà pertanto consumata dalla lampadina. Quando il condensatore è scarico (ancora una volta, in realtà sono le piastre che si scaricano), non vi sarà più alcun passaggio di corrente.



Un condensatore può accumulare energia elettrica anche per ore. Dovreste assicurarvi che un condensatore sia scarico prima di prenderlo in mano, o potrebbe scaricare la propria carica proprio su di voi. Per scaricare un condensatore, basta collocare con cautela una lampadina ai suoi contatti, utilizzando coccodrilli isolati (vedere il [Capitolo 9](#)). Se la lampadina si accende, sapete che il condensatore era carico e la luce dovrebbe affievolirsi e poi spegnersi dopo pochi secondi, mentre il condensatore si scarica. Se non avete a disposizione una lampadina adatta, collocate una resistenza da 10 k Ω 1 W ai terminali e attendete almeno 30 secondi.

Opposizione ai cambiamenti di tensione

Poiché ci vuole del tempo perché le cariche si accumulino sulle piastre del condensatore quando viene applicata della corrente continua e occorre tempo perché la carica lasci le piastre una volta che la tensione in corrente continua viene tolta, i condensatori si dicono a “cambiamento opposto di tensione”. Questo significa semplicemente che se cambiate improvvisamente la tensione applicata a un condensatore, questo non può reagire immediatamente; la

tensione attraverso il condensatore cambia più lentamente rispetto alla velocità di commutazione della tensione.

Immaginate di essere in auto, fermi al semaforo rosso. Quando il semaforo diventa verde, potete ripartire, aumentando la velocità, sempre entro i limiti. Ci vuole del tempo per raggiungere la velocità “normale”, esattamente come ci vuole del tempo perché il condensatore raggiunga un determinato livello di tensione. La situazione è differente rispetto a ciò che si verifica in una resistenza. Se attaccate una batteria a una resistenza, la tensione nella resistenza cambia quasi istantaneamente.

Ci vuole invece del tempo perché la tensione del condensatore raggiunga la tensione dell'origine. Questo non è un fatto negativo; in realtà molti circuiti usano condensatori proprio per il fatto che essi hanno bisogno di tempo per caricarsi. Proprio per questo motivo i condensatori sono in grado di cambiare la forma (l'andamento) dei segnali elettrici.

Un “pass” solo per corrente alternata

Mentre i condensatori non lasciano passare la corrente continua (se non per qualche istante, come abbiamo visto nel paragrafo precedente) in quanto il dielettrico oppone una barriera al flusso degli elettroni, essi consentono il passaggio della corrente alternata.

Supponete di applicare a un condensatore una fonte in corrente alternata. Come sappiamo, la tensione in corrente alternata varia in alto e in basso, andando da 0 V alla tensione di picco, scendendo di nuovo a 0 V, poi andando alla tensione negativa di picco, poi risalendo a 0 V, poi alla sua tensione di picco e così via. Immaginate di essere un atomo su una delle piastre del condensatore alla ricerca del terminale più vicino della fonte di alimentazione. Noterete che talvolta sentite una forza che vi strappa via elettroni e subito dopo una forza che vi preme addosso nuovi elettroni. In entrambi i casi, l'intensità di questa forza varia nel corso del tempo. Voi e gli altri atomi della piastra del condensatore passate quindi costantemente dal fornire elettroni al ricevere elettroni, in base alle oscillazioni della tensione.

Ciò che accade in realtà è che quando la tensione di alimentazione cresce da 0 V alla tensione di picco, il condensatore si carica, così come fa quando si applica una tensione in corrente continua. Quando la tensione erogata è al suo picco, il condensatore può essere o meno completamente carico (dipende da vari fattori, come le dimensioni delle piastre del condensatore). Poi la tensione di origine inizia a decrescere dal picco, per tornare 0 V. Mentre lo fa, a un certo punto la tensione diviene più bassa rispetto a quella del condensatore. Il condensatore inizia a scaricarsi attraverso la fonte di corrente alternata. Poi la tensione inverte la polarità e il condensatore inizia a scaricarsi. Mentre la tensione di alimentazione continua ad abbassarsi verso il punto di picco negativo, le cariche cominciano ad accumularsi sulla piastra *opposta* del condensatore: la piastra che precedentemente conteneva più cariche negative, ora si carica positivamente e viceversa. Mentre la tensione di alimentazione cresce rispetto al picco negativo, il condensatore si scarica nuovamente attraverso la fonte di corrente alternata, ma nella direzione opposta rispetto alla sua scarica iniziale e il ciclo si ripete. Questo continuo ciclo di carica/scarica può verificarsi migliaia e perfino milioni di volte al secondo, mentre il condensatore cerca di “stare al passo” con gli alti e bassi della fonte di alimentazione in corrente alternata.

Poiché la fonte di alimentazione in corrente alternata cambia costantemente direzione, il condensatore attraversa continuamente un ciclo di carica, scarica e ricarica. Come risultato, le cariche elettriche vanno avanti e indietro attraverso il circuito e, anche se in realtà non vi è alcun passaggio di corrente attraverso il dielettrico (tranne pochissime *perdite*), l'effetto è lo stesso del passaggio della corrente attraverso il condensatore. Pertanto si dice che questi sorprendenti condensatori fanno “passare” la corrente alternata, mentre bloccano la corrente continua.

Se aggiungete una lampadina al circuito a condensatore alimentato a corrente alternata, la lampadina si accenderà e *rimarrà accesa* fintantoché la corrente alternata rimane connessa. La corrente cambia la direzione di attraversamento della lampadina, ma alla lampadina questo non interessa (diversamente da quanto accade per un LED, un diodo a emissione di luce, il quale deve sapere esattamente in quale direzione viaggia la corrente). Anche se *attraverso* il condensatore non passa mai alcuna corrente, la carica e scarica del

condensatore crea un effetto di passaggio della corrente attraverso il circuito.

A cosa serve un condensatore?

I condensatori sono presenti in quasi ogni apparecchio attualmente disponibile. Le principali funzionalità svolte da un condensatore (per esempio accumulare energia elettrica, bloccare la corrente continua e variare l'opposizione alla corrente a seconda della frequenza applicata) vengono sfruttate dai progettisti di circuiti per realizzare funzionalità particolarmente utili nei circuiti elettronici. Ecco alcuni dei modi in cui i condensatori vengono impiegati nei circuiti.

- ✓ **Accumulare temporaneamente energia elettrica:** molti dispositivi usano condensatori per conservare temporaneamente dell'energia da utilizzare in un secondo tempo. I sistemi UPS (Uninterruptible Power Supplies) e le sveglie sono dotate di condensatori che intervengono in caso di blackout. L'energia conservata nel condensatore verrà rilasciata nel momento in cui il circuito di carica viene disconnesso (ovvero in caso di blackout). Le fotocamere usano dei condensatori per accumulare temporaneamente l'energia che verrà utilizzata dal flash e molti apparecchi elettronici impiegano condensatori per garantire un'alimentazione tampone durante la fase di sostituzione delle batterie. Le autoradio utilizzano comunemente dei condensatori per erogare energia quando l'amplificatore richiede più energia elettrica rispetto a quanto l'impianto dell'automobile sia in grado di fornire. Senza l'intervento dei condensatori, ogni nota bassa suonata dall'autoradio provocherebbe un'attenuazione delle luci!
- ✓ **Impedire alla corrente continua di attraversare determinati punti del circuito:** quando viene connesso in serie con la fonte di un segnale (per esempio un microfono), un condensatore blocca la corrente continua ma fa passare la corrente alternata. In questo caso si parla di *accoppiamento capacitivo* o di *accoppiamento CA*, e quando il condensatore viene usato in questo modo, viene chiamato

condensatore di accoppiamento. I sistemi audio multistadio usano comunemente questa funzionalità fra i vari stadi in modo che solo la porzione in corrente alternata del segnale audio (la parte che trasporta l'informazione codificata del suono) passi da uno stadio al successivo. Tutta la corrente continua usata per alimentare i componenti dello stadio precedente verrà eliminata prima che il segnale audio possa essere amplificato.

- ✓ **Livellamento della tensione:** le fonti di alimentazione che eseguono la conversione della corrente da alternata a continua, spesso sfruttano il fatto che i condensatori non reagiscono rapidamente alle variazioni improvvise di tensione. Questi apparecchi utilizzano grossi condensatori elettrolitici per “livellare” le fonti di alimentazione variabili in corrente continua. Questi *condensatori di livellamento* mantengono la tensione di uscita a un livello relativamente costante, scaricando attraverso il carico le situazioni in cui la corrente continua scende sotto un determinato livello. Questo è il classico esempio d'uso di un condensatore per conservare l'energia elettrica fino al momento del bisogno: quando la sorgente in corrente continua non è in grado di mantenere la tensione, il condensatore fornisce un po' dell'energia che conserva, per colmare la differenza.
- ✓ **Creazione di timer:** poiché ci vuole del tempo per caricare e scaricare un condensatore, i condensatori vengono spesso utilizzati nei circuiti di temporizzazione per creare dei “tic-tac” quando la tensione sale sopra o scende sotto un determinato livello. La temporizzazione del “tic-tac” può essere controllata attraverso una scelta appropriata del condensatore e degli altri componenti del circuito. Per informazioni, consultate il paragrafo “Condensatori e resistenze”.
- ✓ **Selezione (o eliminazione) di frequenze:** i condensatori vengono frequentemente utilizzati per contribuire a selezionare o eliminare determinati segnali elettrici, in base alla loro frequenza. Per esempio, un circuito di sintonizzazione di un ricevitore radio conta su condensatori e altri componenti per far sì che solo il segnale di una stazione radio possa raggiungere lo stadio di amplificazione, bloccando i segnali di tutte le altre stazioni radiofoniche. Ogni



stazione radio ha una propria frequenza di trasmissione ed è compito del costruttore della radio progettare circuiti in grado di sintonizzarsi su una sola frequenza. Poiché i condensatori si comportano in modo differente per frequenze differenti, sono un componente chiave di tutti questi circuiti di sintonizzazione. L'effetto finale è una sorta di filtraggio elettronico. Ulteriori informazioni sulla realizzazione di un semplice filtro elettronico, si trovano nel paragrafo "Selezione delle frequenze con semplici filtri RC".

Caratterizzare i condensatori

Vi sono vari modi per realizzare condensatori, impiegando materiali differenti per le piastre e il componente dielettrico e variando le dimensioni delle piastre. La particolare configurazione di un condensatore determinerà poi le sue caratteristiche e influenzerà il suo comportamento in un circuito.

Quanta carica può accumulare la piastra di un condensatore

La *capacità* misura la capienza di un contenitore. Lo stesso termine, *capacità*, viene impiegato per descrivere quanta carica un condensatore può conservare su una delle sue piastre. Più elevata è la capacità, più carica il condensatore è in grado di accumulare in un'unità di tempo.

La capacità di un determinato condensatore dipende da tre fattori: la superficie delle piastre metalliche, lo spessore del materiale dielettrico che le separa e il tipo di dielettrico utilizzato (riparleremo dei materiali dielettrici più avanti in questo paragrafo).

Non è necessario imparare a calcolare la capacità (e, tra l'altro, la formula per calcolarla fa davvero paura), poiché ogni condensatore degno di questo nome ne reca il valore stampigliato sul corpo. Basti sapere che quanto le piastre di un condensatore possono accumulare dipende dal tipo di costruzione del condensatore.

La capacità si misura in unità chiamate *farad*. 1 farad (abbreviato con F) si definisce come la capacità necessaria per far sì che 1 ampere di corrente scorra quando la tensione cambia a un livello di 1 V per secondo. Non preoccupatevi troppo dei dettagli di questa definizione; basti sapere che 1 farad è una capacità molto, molto, molto grande. Probabilmente incontrerete solo condensatori con valori di capacità molto più piccoli, dell'ordine dei microfarad (μF) o addirittura dei picofarad (pF). Un microfarad è un milionesimo di farad o 0,000001 farad e un picofarad è un milionesimo di un milionesimo di farad, ovvero 0,000000000001 farad.

Ecco alcuni esempi.

- ✓ Un condensatore da 10 μF è da 10 milionesimi di farad.
- ✓ Un condensatore da 1 μF è da 1 milionesimo di farad.
- ✓ Un condensatore da 100 pF è da 100 milionesimi di milionesimi di farad; in altre parole, da 100 milionesimi di microfarad.

I condensatori di maggiori dimensioni (1 F o più) vengono utilizzati per l'accumulazione nei grossi sistemi di alimentazione, mentre i condensatori più piccoli vengono utilizzati per varie applicazioni, come vedremo nella [Tabella 4.1](#).

La maggior parte dei condensatori si comporta in modo piuttosto impreciso. L'effettiva capacità di un condensatore può variare un po' rispetto alla capacità nominale. Le tecniche di produzione impiegate sono soggette a questo genere di problemi; non è che i costruttori di condensatori vogliano confondere di proposito le cose. Fortunatamente queste imprecisioni non rappresentano un grosso problema nei circuiti fatti in casa. In ogni caso occorre sapere che possono esistere variazioni, in modo che se un circuito richiede un condensatore di precisione elevata, sappiate che cosa acquistare. Come per le resistenze, anche per i condensatori viene riportato un valore di tolleranza, espresso in percentuale.

Grossi condensatori in un minuscolo spazio vitale

La produzione di condensatori operanti nell'ambito dei farad è possibile solo da poco tempo a questa parte. Utilizzando le vecchie tecniche costruttive, un condensatore da 1 farad sarebbe grande quanto una credenza. Piuttosto scomodo.

Utilizzando altre tecnologie e materiali, per esempio granuli microscopici di carbonio, i produttori sono ora in grado di realizzare condensatori da 1 farad e più, che possono entrare nel palmo di una mano. Le memorie dei computer, le radiosveglie e altri dispositivi elettrici che devono accumulare una piccola carica per lunghi periodi quando non hanno accesso continuo all'alimentazione, usano condensatori al posto delle batterie.

Un occhio alla tensione di lavoro

La *tensione di lavoro* è la tensione più elevata che il produttore consiglia di utilizzare per il condensatore. Superando la tensione di lavoro, potreste danneggiare il dielettrico, il che farebbe scoccare un arco di corrente fra le due piastre, come un piccolo fulmine. Ciò può mettere fuori uso il condensatore, ma anche produrre il passaggio di ogni genere di corrente indesiderata, con il conseguente danneggiamento di altri componenti a valle.

I condensatori progettati per circuiti in corrente continua, in genere, hanno una tensione di lavoro non superiore a 16 o 35 V. Si tratta di un ampio margine di sicurezza per i circuiti in corrente continua, che normalmente vengono alimentati con tensioni da 3,3 a 12 V. Se usate circuiti che utilizzano tensioni più elevate, assicuratevi di scegliere un condensatore dotato di una tensione di lavoro che superi di almeno il 10 o 15% quella impiegata nel circuito, giusto per sicurezza.

Scegliere il tipo (di dielettrico) giusto per un certo lavoro

I progettisti di circuiti elettronici catalogano i condensatori in base al materiale dielettrico impiegato. Alcuni materiali si rivelano migliori per determinate applicazioni, ma sono inappropriati per altre. Per esempio, i condensatori ceramici sono affidabili solo per segnali con frequenze inferiori a 100.000 Hz, mentre i condensatori in mica esibiscono eccezionali caratteristiche di frequenza e vengono frequentemente utilizzati nei circuiti di temporizzazione e filtraggio di precisione.

I materiali dielettrici più comunemente utilizzati sono l'alluminio elettrolitico, il tantalio elettrolitico, la ceramica, la mica, il polipropilene, il poliestere (o mylar) e il polistirene. Se lo schema di un circuito richiede un condensatore di un determinato tipo, assicuratevi di procurarvene uno corrispondente.

La [Tabella 4.1](#) elenca i tipi più comuni di condensatori, il loro intervallo di valori tipico e le loro principali applicazioni.

Tabella 4.1 Caratteristiche dei condensatori		
<i>Tipo</i>	<i>Intervallo tipico</i>	<i>Applicazione</i>
Ceramico	da 1 pF a 2,2 μ F	Filtraggio, bypass
Mica	da 1 pF a 1 μ F	Timer, oscillatori, circuiti di precisione
Film metallico	a 100 μ F	Bloccaggio CC, alimentazione, filtraggio
Poliestere (Mylar)	da 0,001 a 100 μ F	Accoppiamenti, bypass
Polipropilene	da 100 pF a 50 μ F	Alimentazione commutata
Polistirene	da 10 pF a 10	Timer, circuiti sintonizzatori

	μF	
Tantalio (elettrolitico)	da 0,001 a 1.000 μF	Bypass, accoppiamenti, bloccaggio CC
Alluminio elettrolitico	da 10 a 220.000 μF	Filtraggio, accoppiamenti, bypass, livellamento

Dimensionamento dei condensatori

I condensatori possono avere varie forme e dimensioni, come potete vedere nella [Figura 4.3](#). I condensatori elettrolitici in alluminio e i condensatori in carta hanno, normalmente, una forma cilindrica. I condensatori elettrolitici al tantalio, ceramici, micacei e al polistirene hanno una forma più globulare, poiché in genere vengono immersi in un bagno plastico o epossidico che ne forma la superficie esterna. Tuttavia, non tutti i condensatori di un determinato tipo (per esempio quelli in mica o Mylar) vengono prodotti allo stesso modo e dunque non sempre è possibile determinare il tipo del componente dal suo aspetto.

Il vostro fornitore di componenti potrebbe etichettare i condensatori sulla base del modo in cui sono disposti i suoi contatti: assiale o radiale. Assiale significa che i contatti si estendono dalle due estremità di un condensatore di forma cilindrica, lungo il suo asse; i contatti radiali si estendono da una sola estremità del condensatore, uscendone in parallelo (almeno finché non li piegherete per usarli in un circuito).

Se provate a cercare dei condensatori all'interno del vostro PC, potreste non riconoscerli tutti. Questo perché molti dei condensatori del PC non hanno neppure dei piedini per i contatti! Si tratta di condensatori a *montaggio superficiale* che sono estremamente compatti e sono progettati per essere saldati direttamente sui circuiti stampati (PCB), come quelli presenti nel PC. Fin dagli anni Ottanta, i processi di produzione di massa hanno utilizzato la tecnologia a montaggio superficiale per connettere i condensatori e gli altri componenti direttamente sulla superficie della scheda, risparmiando spazio e migliorando le prestazioni dei circuiti.

Pensare positivo: la polarità dei condensatori

Alcuni condensatori elettrolitici di valore elevato ($1\ \mu\text{F}$ o più) sono *polarizzati*, ovvero il terminale positivo deve essere mantenuto a una tensione più elevata rispetto al terminale negativo e dunque è importante curare il modo in cui si inserisce il condensatore nel circuito. I condensatori polarizzati sono progettati per l'impiego in circuiti in corrente continua.

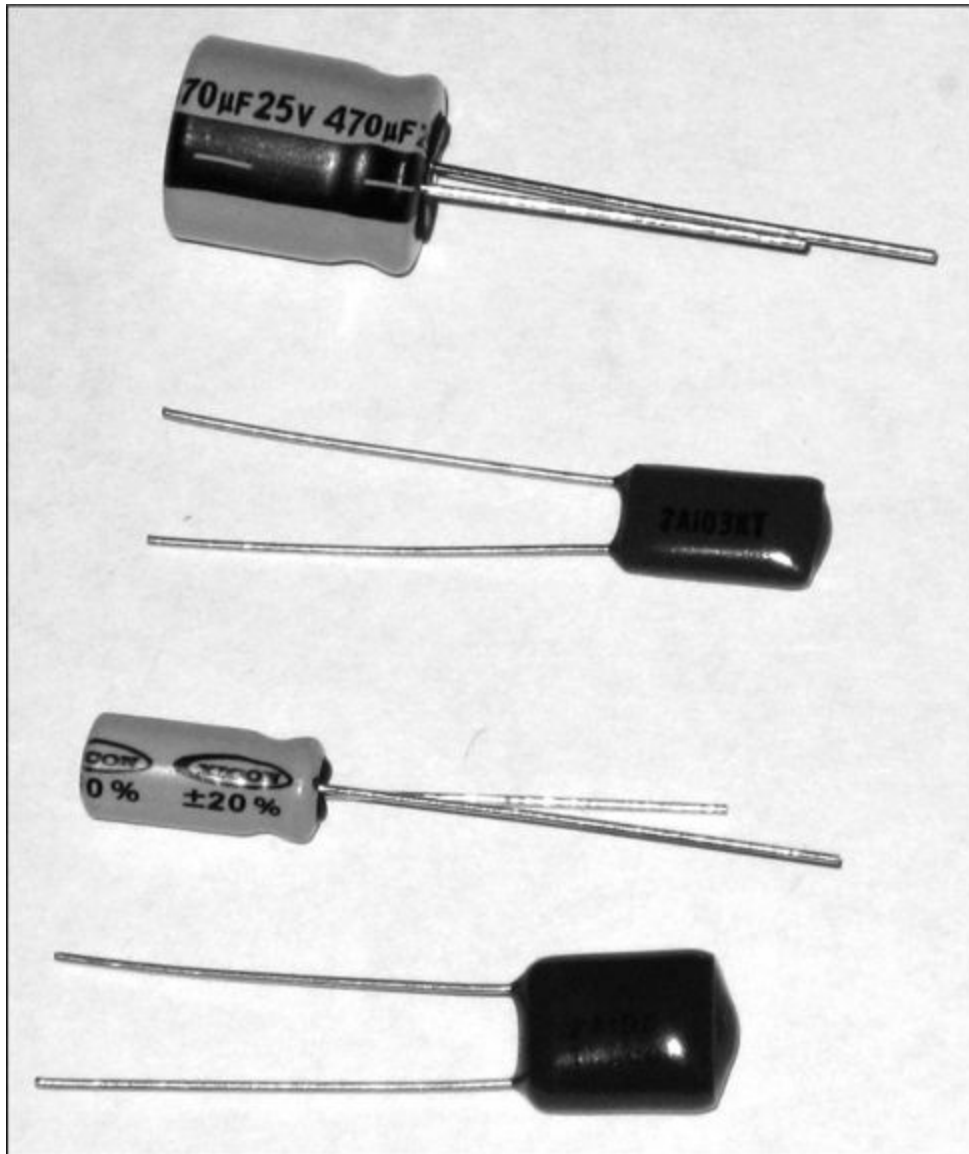


Figura 4.3 I condensatori possono avere varie forme e dimensioni e possono essere polarizzati o meno.

Molti condensatori polarizzati recano il segno meno (-) o una grossa freccia rivolta verso il terminale negativo. Per i condensatori radiali, il piedino negativo è normalmente più corto rispetto a quello positivo.

Per il solo fatto che la freccia sul corpo del condensatore generalmente punta verso il terminale negativo, questo non significa che gli schemi elettrici seguano la stessa convenzione. Normalmente, se il circuito contiene un condensatore polarizzato, si trova un segno più (+) su un lato del simbolo del condensatore ([Figura 4.4](#)), per indicare come orientare il condensatore nel circuito.



Se un condensatore è polarizzato, occorre, *davvero*, fare attenzione a come lo si installa nel circuito, curando l'orientamento corretto. Invertendo i piedini, ovvero connettendo il lato + alla massa del circuito, si provoca la rottura del dielettrico interno del condensatore, il che lo metterebbe, in effetti, in corto circuito. Questo danno, a sua volta, potrebbe danneggiare altri componenti del circuito (a causa del passaggio di un'elevata quantità di corrente) e, addirittura, il condensatore potrebbe esplodere.

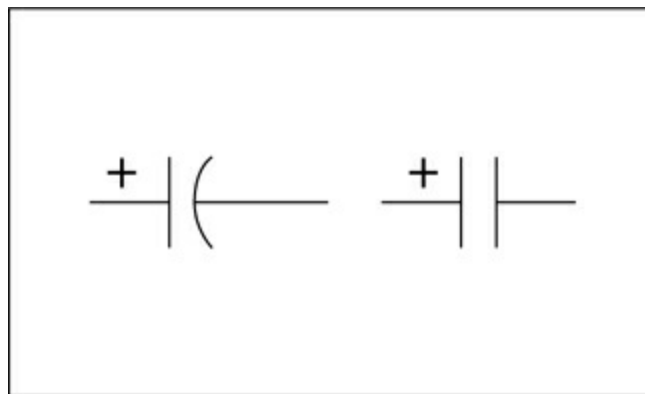


Figura 4.4 Simboli di condensatori polarizzati.

Interpretare i valori dei condensatori

Alcuni condensatori riportano sul corpo un valore stampato, espresso in farad o in frazioni di farad. Normalmente si trovano più indicazioni su condensatori di grossa capacità, dove, date le dimensioni, vi è spazio per indicare sia la capacità sia la tensione di lavoro.

La maggior parte dei condensatori di piccole dimensioni (come i condensatori in disco di mica da 0,1 μF o 0,01 μF) usano tre cifre per codificare la capacità. In genere si tratta di un codice di facile uso, ma vi è un problema. Il codice si basa su *pico*-farad e non su *micro*-farad. Un numero che utilizza questo codice, per esempio 103, significa 10, seguito da tre zeri e dunque a 10.000, per un totale di 10.000 picofarad. Alcuni condensatori riportano un numero di due cifre, che è semplicemente il valore in picofarad. Per esempio, il valore 22 significa 22 picofarad. In pratica l'assenza della terza cifra significa che dopo il numero non vi sono altri zeri.

Per valori superiori ai 1000 picofarad, il fornitore di componenti probabilmente elencherà nel catalogo la capacità del condensatore in microfarad, anche se l'indicazione riportata su di esso sarà in picofarad. Per convertire in microfarad il valore in picofarad riportato sul condensatore, basta spostare il punto decimale di sei posizioni *a sinistra*. Pertanto, un condensatore che riporta l'indicazione 103 (l'esempio del paragrafo precedente) ha un valore pari a 10.000 pF, ovvero 0,01 μF .

Supponete di voler realizzare un circuito che richiede un condensatore a disco da 0,1 μF . Potete convertire i microfarad in picofarad per determinare quale indicazione ricercare sul condensatore stesso. Basta spostare il punto decimale di sei posizioni *verso destra* e otterrete 100.000 pF. Poiché il segno di tre cifre è costituito dalle prime due cifre del valore di pF (10) ed è seguito dal numero di zeri da aggiungere (4), avrete bisogno di un condensatore a disco di mica con indicazione "104".

Potete utilizzare la [Tabella 4.2](#) come guida di riferimento per determinare il sistema di numerazione dei condensatori.

Tabella 4.2

Valore di riferimento dei condensatori

Contrassegno	Valore
<i>nn</i> (un numero compreso fra 01 e 99)	nn pF
101	100 pF
102	0,001 μ F
103	0,01 μ F
104	0,1 μ F
221	220 μ F
222	0,0022 μ F
223	0,022 μ F
224	0,22 μ F
331	330 μ F
332	0,0033 μ F
333	0,033 μ F
334	0,33 μ F
471	470 pF
472	0,0047
473	0,047 μ F
474	0,47 μ F

Un altro sistema di numerazione, meno utilizzato, impiega numeri e lettere, nel seguente modo: 4R1.

La lettera R indica la posizione del punto decimale: pertanto 4R1 significa 4,1. Questo sistema di numerazione non indica le unità di misura che, tuttavia, possono essere solo microfarad o picofarad.

Potete verificare la capacità di un condensatore con un capacimetro o un tester dotato di misurazione della capacità. La maggior parte dei tester richiede che il condensatore venga inserito direttamente nello strumento, in quanto la capacità può aumentare se misurata in fondo ai piedini. Ciò renderebbe la lettura poco precisa.

In molti condensatori, la tolleranza è indicata da un codice costituito da una sola lettera. Potete trovare tale lettera indicata separatamente sul corpo del condensatore o anche di seguito al codice di tre cifre, nel seguente modo:

103Z.

Qui la lettera Z indica una tolleranza dall'80% al 20%. Questa tolleranza significa che il condensatore, di capacità 0,01 μF , può avere un valore effettivo che è fino all'80% più elevato o fino al 20% inferiore rispetto al valore stabilito. La [Tabella 4.3](#) elenca il significato dei codici alfanumerici utilizzati per indicare la tolleranza del condensatore. Notate che le lettere B, C e D rappresentano tolleranze espresse in valori assoluti di capacità e non in percentuali. Questi contrassegni sono utilizzati solo su condensatori molto piccoli (nella gamma dei pF).

Tabella 4.3 Contrassegni di tolleranza dei condensatori	
<i>Codice</i>	<i>Tolleranza</i>
B	$\pm 0,1 \text{ pF}$
C	$\pm 0,25 \text{ pF}$
D	$\pm 0,5 \text{ pF}$
F	$\pm 1\%$
G	$\pm 2\%$
J	$\pm 5\%$
K	$\pm 10\%$
M	$\pm 20\%$
P	+100%, -0%
Z	+80%, -20%

Capacità variabile

I condensatori variabili consentono di regolare la capacità sulla base delle esigenze del circuito. La [Figura 4.5](#) mostra i simboli impiegati per i condensatori variabili.

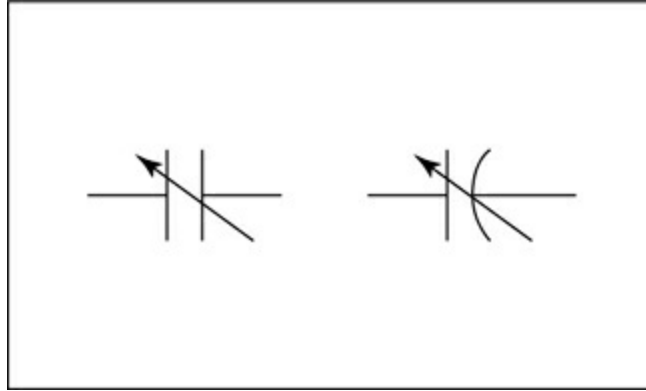


Figura 4.5 Simboli che rappresentano i condensatori variabili.

Il tipo più comune di condensatore variabile è quello dielettrico ad aria, normalmente presente nei controlli di sintonia delle radio AM. Piccoli condensatori variabili vengono frequentemente utilizzati nei ricevitori e trasmettitori radio e in circuiti che impiegano cristalli di quarzo per generare un segnale di riferimento. Il valore di questi condensatori variabili rientra, normalmente, nella gamma dei 5 - 500 pF.

I condensatori variabili a controllo meccanico funzionano modificando la distanza fra le piastre del condensatore oppure il livello di sovrapposizione fra le superfici delle due piastre. Un *diode* appositamente realizzato (un dispositivo a semiconduttore di cui parleremo nel [Capitolo 6](#)) può funzionare come un condensatore variabile a controllo elettronico; si chiamano *diodi varicap* o *varactor* ed è possibile regolarne la capacità intervenendo sulla tensione in corrente continua che viene loro applicata.

È molto probabile che vi troverete a operare molto frequentemente con i condensatori variabili. In particolare, sui condensatori variabili si basano molti dispositivi tattili, come la tastiera dei computer, i pannelli di controllo di molti apparecchi e i pulsanti di ascensori e telecomandi. Esiste un tipo di microfono che utilizza un condensatore variabile per convertire il suono in segnali elettrici: in questo caso, la membrana del microfono si comporta come la piastra mobile di un condensatore. Le oscillazioni del suono fanno vibrare la membrana, che varia la capacità generando fluttuazioni di tensione. Questo dispositivo è chiamato microfono a condensatore, proprio perché impiega un condensatore.

Condensatori in combinazione

Se volete analizzare i condensatori presenti in un circuito, potete combinarli per determinarne la capacità equivalente. Ma, come vedrete, le regole per combinare i condensatori sono differenti da quelle viste in precedenza per le resistenze.

Condensatori in parallelo

La [Figura 4.6](#) mostra due condensatori posti in parallelo, dove i punti di connessione comuni sono indicati con le lettere A e B. Notate che il punto A è connesso a una piastra del condensatore C1 e a una piastra del condensatore C2. In termini elettrici, il punto A risulta connesso a un'unica piastra metallica che ha le dimensioni delle due piastre combinate. La stessa cosa vale per il punto B, che è connesso all'altra piastra di entrambi i condensatori: C1 e C2. Maggiore è l'area di superficie delle piastre dei condensatori, maggiore sarà la sua capacità combinata.



I condensatori in parallelo si sommano. Una piastra metallica di un condensatore è unita, elettricamente, a una piastra metallica dell'altro condensatore connesso in parallelo. Ogni coppia di piastre si comporta come un'unica piastra più grande, con una capacità più elevata, come si può vedere nella [Figura 4.6](#).

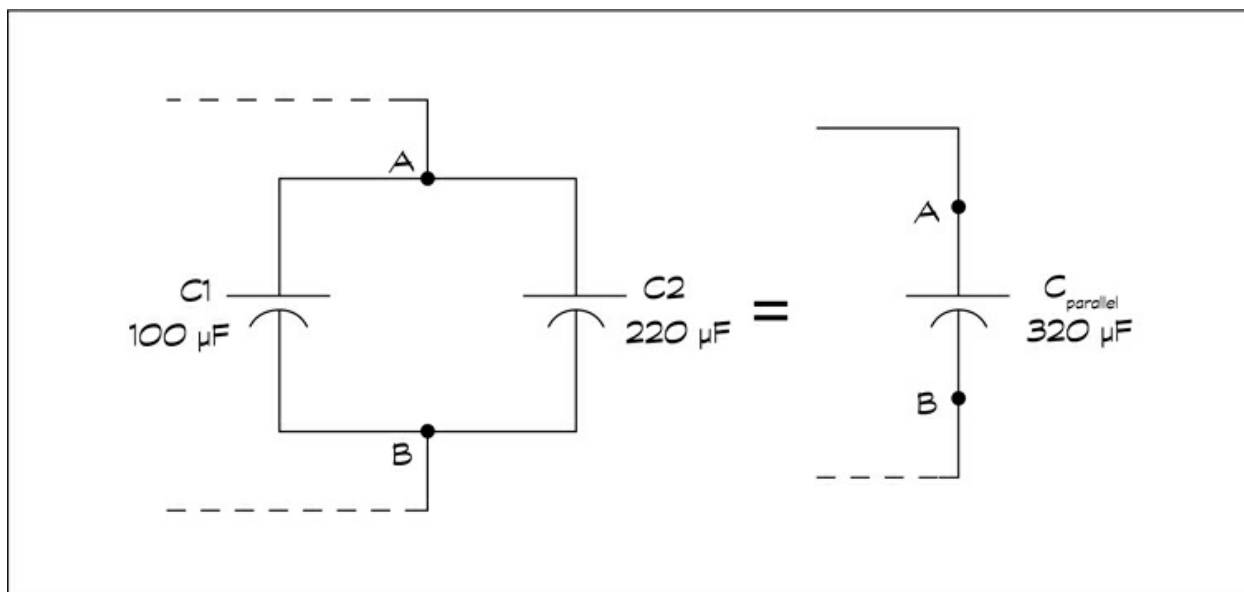


Figura 4.6 I condensatori in parallelo si sommano.

La capacità equivalente di un gruppo di condensatori in parallelo è:

$$C_{\text{parallelo}} = C1 + C2 + C3 + C4 + \dots$$

$C1$, $C2$, $C3$ e così via rappresentano i valori dei condensatori e $C_{\text{parallelo}}$ rappresenta la capacità equivalente totale.

Per i condensatori rappresentati nella [Figura 4.6](#), la capacità totale è:

$$\begin{aligned} C_{\text{parallelo}} &= 100 \mu\text{F} + 220 \mu\text{F} \\ &= 320 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Se collocate i condensatori della [Figura 4.6](#) in un circuito, la tensione su ciascun condensatore sarà la stessa e la corrente che scorre nel punto A si suddividerà attraversando i due condensatori e poi si sommerà nuovamente nel punto B.

Condensatori in serie

I condensatori collocati in serie operano uno in opposizione all'altro, riducendo la capacità effettiva nello stesso modo in cui le resistenze in parallelo riducono la resistenza totale. Il calcolo ha il seguente aspetto:

$$C_{\text{serie}} = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2}$$

C1 e C2 sono i valori dei singoli condensatori e C_{serie} è la capacità equivalente. La capacità totale (in μF) di un condensatore da 100 μF posto in serie con un condensatore da 220 μF ([Figura 4.7](#)) è:

$$\begin{aligned} C_{\text{serie}} &= \frac{100 \times 220}{100 + 220} \\ &= \frac{22.000}{320} \\ &= 68,75 \end{aligned}$$

$$C_{\text{serie}} = 68,75 \mu\text{F}$$



Temporaneamente potete ignorare la parte “ μ ” di “ μF ” mentre eseguite questi calcoli, sempre che tutti i valori di capacità siano espressi in μF e che vi ricordiate che anche la capacità *totale* risultante è espressa in μF .

La capacità equivalente di un insieme di condensatori posti in serie è:

$$C_{\text{serie}} = \frac{1}{\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} \dots} \text{ (e più, se necessario)}$$

Come per ogni componente connesso in serie, la corrente che scorre attraverso ogni condensatore in serie sarà la stessa, ma la caduta di tensione attraverso ciascun condensatore può essere differente.

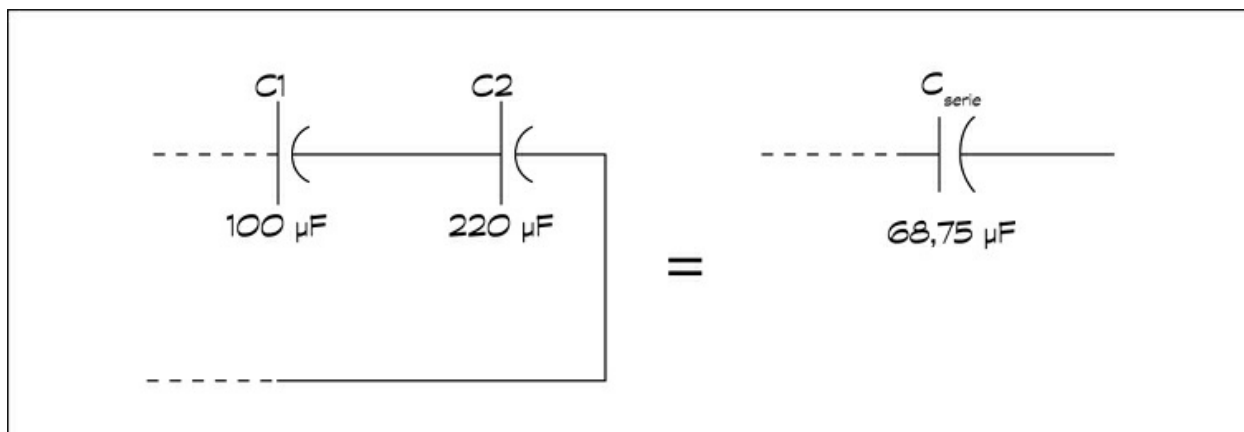


Figura 4.7 I condensatori posti in serie operano uno contro l'altro, riducendo la capacità globale.

La reattanza capacitiva

Nel [Capitolo 3](#), abbiamo definito la resistenza come la misura della opposizione di un oggetto al flusso degli elettroni e abbiamo detto che le resistenze hanno un determinato livello di resistenza che rimane costante indipendentemente dalla tensione o dalla situazione corrente. Se poteste misurare l'opposizione di un condensatore al flusso degli elettroni, invece, scoprireste che varia, a seconda della situazione.

In precedenza, sempre in questo capitolo, abbiamo detto che i condensatori bloccano la corrente continua (tranne per un breve periodo, mentre si caricano e scaricano) e consentono il passaggio della corrente alternata. Quando a un condensatore viene applicata improvvisamente una tensione in corrente continua, come nel circuito della lampadina rappresentato nella [Figura 4.2](#), ecco cosa accade.

1. Innanzitutto, mentre il condensatore si carica, la corrente scorre attraverso il circuito, accendendo la lampadina.
2. Mentre il condensatore si approssima alla propria capacità di carica, scorre meno corrente, fino a quando il condensatore non è completamente carico; a quel punto la corrente non scorre più.

Il condensatore offre inizialmente pochissima resistenza al flusso degli elettroni, non appena viene applicata una tensione; ma poi si comporta come un circuito aperto, opponendosi al flusso degli elettroni. Quando invece viene applicata una tensione in corrente alternata al circuito a condensatore, la corrente può attraversare il circuito. Più velocemente fluttua la tensione di origine, meno resistenza opporrà il condensatore al flusso degli elettroni, esattamente come quando alla batteria viene improvvisamente applicato un condensatore scarico, nella [Figura 4.2](#). Più lentamente fluttua la tensione di origine, più il condensatore si opporrà al flusso degli elettroni.



L'apparente resistenza alla corrente alternata è nota come *reattanza capacitiva* ed è misurata in ohm (eh sì, proprio in ohm!). La reattanza capacitiva è simile alla resistenza, in quanto rappresenta un'opposizione alla corrente. Tuttavia, a differenza della resistenza, che è costante per un determinato componente, la reattanza capacitiva varia a seconda della frequenza della tensione applicata al condensatore.

Si calcola la reattanza capacitiva, simboleggiata con X_c , utilizzando la seguente formula:

$$X_c = (2 \times \pi \times f \times C)^{-1}$$

In questa formula, f rappresenta la frequenza in hertz (Hz) della corrente alternata applicata, C è la capacità in farad (e *non* in μF o pF) e π è la classica costante che abbiamo imparato a conoscere tutti nelle lezioni di geometria, che inizia con 3,14. Potete approssimare $2 \times \pi$ come 6,28 e semplificare la formula nel seguente modo:

$$X_c \approx (6,28 \times f \times C)^{-1}$$

Da questa formula potete vedere che la reattanza capacitiva si riduce quando la frequenza della tensione applicata aumenta (un valore più elevato di frequenza rende più elevato il denominatore, che abbatte il valore della

frazione). Per esempio, potete calcolare la reattanza capacitiva di un condensatore da 0,1 pF quando la tensione in corrente alternata di origine fluttua a 20 kHz nel seguente modo:

$$X_c \approx (6,28 \times 20.000 \times 0,0000001)^{-1}$$

$$\approx 80 \, \Omega$$

Se riducete la frequenza della tensione di origine a 1 Hz, la reattanza capacitiva cambia nel seguente modo:

$$X_c \approx (6,28 \times 1 \times 0,0000001)^{-1}$$

$$\approx 1,6 \, M\Omega$$

Notate che si tratta di un valore *molto* differente rispetto alla resistenza assolutamente costante di una comune resistenza. Per i condensatori, più velocemente fluttua la tensione (ovvero maggiore è la frequenza di fluttuazione), minore è la reattanza e più liberamente potrà muoversi la corrente. Più lentamente fluttua la tensione (ovvero minore è la frequenza), più elevata sarà la reattanza (e più fatica farà a passare la corrente). Se la frequenza è 0, ovvero non avviene alcuna fluttuazione di tensione (si ha una tensione costante, una corrente continua), il denominatore è 0 e la reattanza diventa infinita. Si tratta di un circuito aperto (con resistenza infinita) in cui il condensatore blocca tutti i segnali in corrente continua.

Usare la Legge di Ohm per calcolare la reattanza capacitiva

Poiché la reattanza capacitiva si misura in ohm, potreste chiedervi se sia possibile utilizzare la Legge di Ohm anche per i condensatori. La risposta è positiva, o almeno quasi. La Legge di Ohm vale anche per determinare la reattanza capacitiva, ma solo per *una frequenza per volta*. Se cambiate la frequenza della tensione in corrente alternata, anche se mantenete lo stesso livello di tensione, dovrete ricalcolare la Legge di Ohm sulla base della nuova

frequenza.

Supponete di applicare una sorgente di tensione in corrente alternata con un valore di picco di 5 V al vostro condensatore da 0,1 μF . La corrente che attraversa il circuito si alternerà alla stessa frequenza della tensione, ma la Legge di Ohm dice che il valore di picco della corrente dipende dal valore di picco della tensione e dalla reattanza capacitiva. Supponete (per esempio) che la frequenza sia di 1 Hz; dai calcoli presentati nel paragrafo precedente sapete che la reattanza di un condensatore da 0,1 μF a 1 Hz è 1,6 M Ω . Ora potete applicare la Legge di Ohm per calcolare la corrente alternata di picco che passa “attraverso” il condensatore con un segnale da 1 Hz nel seguente modo:

$$\begin{aligned} I_{\text{picco}} &= \frac{V_{\text{picco}}}{X_c} \\ &= \frac{5 \text{ volt}}{1.600.000 \text{ ohm}} \end{aligned}$$

Immaginiamo di cambiare la frequenza a 20 kHz, mantenendo la stessa tensione di picco di 5 V. Ora la reattanza capacitiva diviene di 80 Ω (come calcolato nel paragrafo precedente). Utilizzando la Legge di Ohm, la corrente di picco che “attraversa” il condensatore quando si applica una tensione da 20 kHz con un valore di picco di 5 V è:

$$\begin{aligned} I_{\text{picco}} &= \frac{V_{\text{picco}}}{X_c} \\ &= \frac{5 \text{ volt}}{80 \text{ ohm}} \end{aligned}$$

Dunque, per lo stesso condensatore presente nel circuito, incrementando la frequenza della tensione, si riduce la reattanza capacitiva, provocando un incremento nel flusso della corrente che attraversa il circuito. Analogamente, se si riduce la frequenza della tensione, si incrementa la reattanza capacitiva, riducendo pertanto la corrente.

A differenza delle resistenze, il comportamento di un condensatore all'interno di un circuito in corrente alternata dipende dalla frequenza della tensione

applicata. Possiamo sfruttare questo comportamento dipendente dalla frequenza per creare circuiti che svolgono funzioni utili (per esempio filtri che fanno passare i segnali ad alta frequenza e bloccano quelli a bassa frequenza (o viceversa). A tale proposito consultate “Selezione delle frequenze con semplici filtri RC”.

Condensatori e resistenze

I condensatori si trovano spesso a lavorare fianco a fianco con le resistenze, combinando la loro capacità di conservare energia elettrica con il controllo del flusso di elettroni offerto dalle resistenze. Mettete insieme queste due funzionalità e potrete controllare con quale velocità gli elettroni possono “caricare” e poi “scaricare” un condensatore. Questa importante coppia dell’elettronica è talmente comune che i circuiti che contengono resistenze e condensatori vengono comunemente chiamati circuiti RC.

Il tempo è tutto

Date un’occhiata al circuito RC rappresentato nella [Figura 4.8](#): quando si chiude l’interruttore, la batteria carica il condensatore attraverso una resistenza. Inizialmente, la tensione attraverso il condensatore, V_c , è pari a 0 (supponendo che il condensatore parta scarico). Chiudendo l’interruttore, la corrente inizia a circolare e gli elettroni iniziano ad accumularsi sulle piastre del condensatore. La Legge di Ohm ci dice che la corrente di carica, I , è data dalla tensione attraverso la resistenza, V_r , e dal valore della resistenza, $R \left(I = \frac{V_r}{R} \right)$.

E poiché la caduta di tensione è uguale all’incremento di tensione attraverso il circuito, si sa che la tensione alla resistenza è la differenza fra la tensione di alimentazione, $V_{\text{alimentazione}}$, e la tensione del condensatore, V_c ($V_r = V_{\text{alimentazione}} - V_c$). Utilizzando questi due fatti, potete analizzare ciò che accade in questo circuito nel corso del tempo, nel seguente modo.

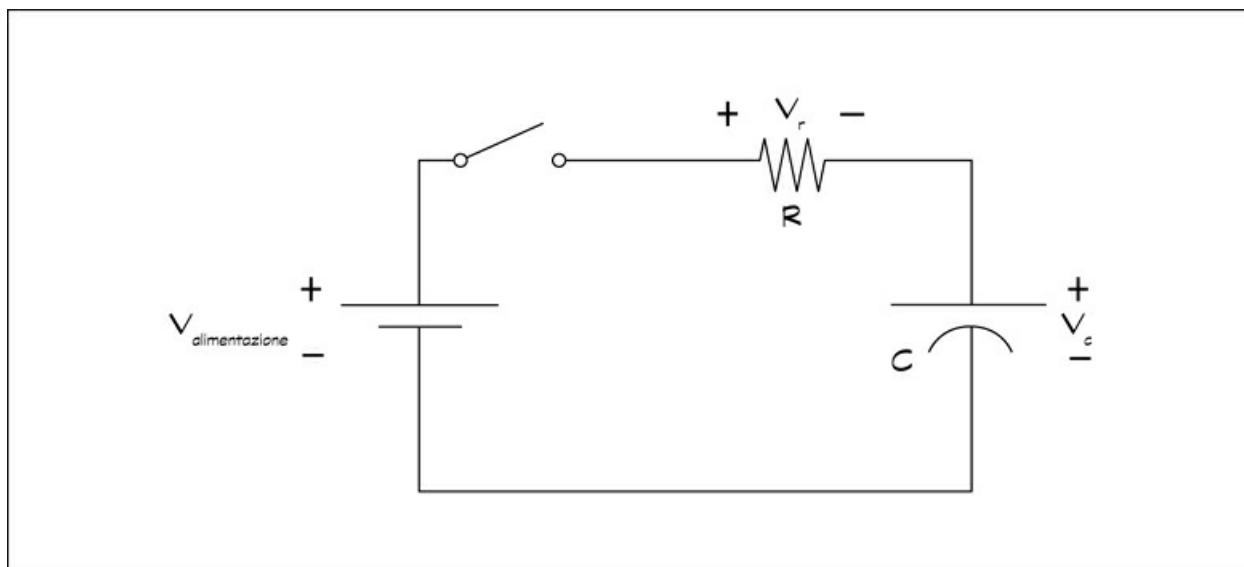


Figura 4.8 In un circuito RC, il condensatore si carica attraverso la resistenza. I valori della resistenza e del condensatore determinano la rapidità di questa carica.

- ✓ **All'inizio:** poiché la tensione del condensatore, inizialmente, è pari a 0, la tensione della resistenza, sempre inizialmente, è uguale alla tensione di alimentazione.
- ✓ **In carica:** mentre il condensatore inizia a caricarsi, sviluppa una tensione e dunque la tensione alla resistenza inizia a calare, il che a sua volta riduce la corrente di carica. Il condensatore continua a caricarsi, ma a un ritmo più lento, poiché la corrente di carica è calata. Mentre V_c continua ad aumentare, V_r continua a ridursi e così si riduce anche la corrente.
- ✓ **Completamente carico:** quando il condensatore è completamente carico, la corrente smette di circolare, la caduta di tensione alla resistenza è pari a 0 e la caduta di tensione al condensatore è uguale alla tensione di alimentazione.

Eliminando la batteria e connettendo la resistenza in parallelo con il condensatore, quest'ultimo inizierà a scaricarsi attraverso la resistenza. Questa volta, la tensione attraverso la resistenza è uguale alla tensione attraverso il condensatore ($V_r = V_c$) e dunque la corrente è V_c / R . Ecco ciò

che accade.

- ✓ **All'inizio:** poiché il condensatore è completamente carico, la sua tensione è inizialmente $V_{\text{alimentazione}}$. Poiché $V_r = V_c$, la tensione alla resistenza è inizialmente $V_{\text{alimentazione}}$, pertanto la corrente si innalza immediatamente a $\frac{V_{\text{alimentazione}}}{R}$. Questo significa che il condensatore invia carica da una piastra all'altra con una certa rapidità.
- ✓ **In carica:** mentre la carica inizia a scorrere da una piastra del condensatore all'altra, la tensione al condensatore (e così anche V_r) inizia a calare, riducendo la corrente. Il condensatore continua a scaricarsi, ma a un ritmo più lento. Mentre V_c (e anche V_r) continua a ridursi, così fa anche la corrente.
- ✓ **Completamente scarico:** quando il condensatore è completamente scarico, la corrente smette di circolare e non vi è alcun calo di tensione attraverso la resistenza o il condensatore.

La forma d'onda rappresentata nella [Figura 4.9](#) mostra come, quando al circuito viene applicata e poi rimossa una tensione costante, la tensione al condensatore cambia nel corso del tempo durante la carica e poi durante la scarica che avviene attraverso la resistenza. La velocità con cui il condensatore si carica (e si scarica) dipende dalla resistenza e dalla capacità del circuito RC. Maggiore è la resistenza, meno sarà la corrente che scorre per la stessa tensione di alimentazione e più tempo impiegherà il condensatore a caricarsi. Una resistenza minore consente il passaggio di più corrente, garantendo una carica più rapida del condensatore. Analogamente, maggiore è la capacità, più carica sarà necessaria per caricare le piastre del condensatore e dunque più tempo sarà necessario per caricare il condensatore. Durante il ciclo di scarica, una resistenza maggiore rallenta gli elettroni nel loro passaggio da una piastra all'altra, aumentando il tempo di scarica e un condensatore di maggiore capacità contiene più carica, pertanto per scaricarlo è necessario più tempo.

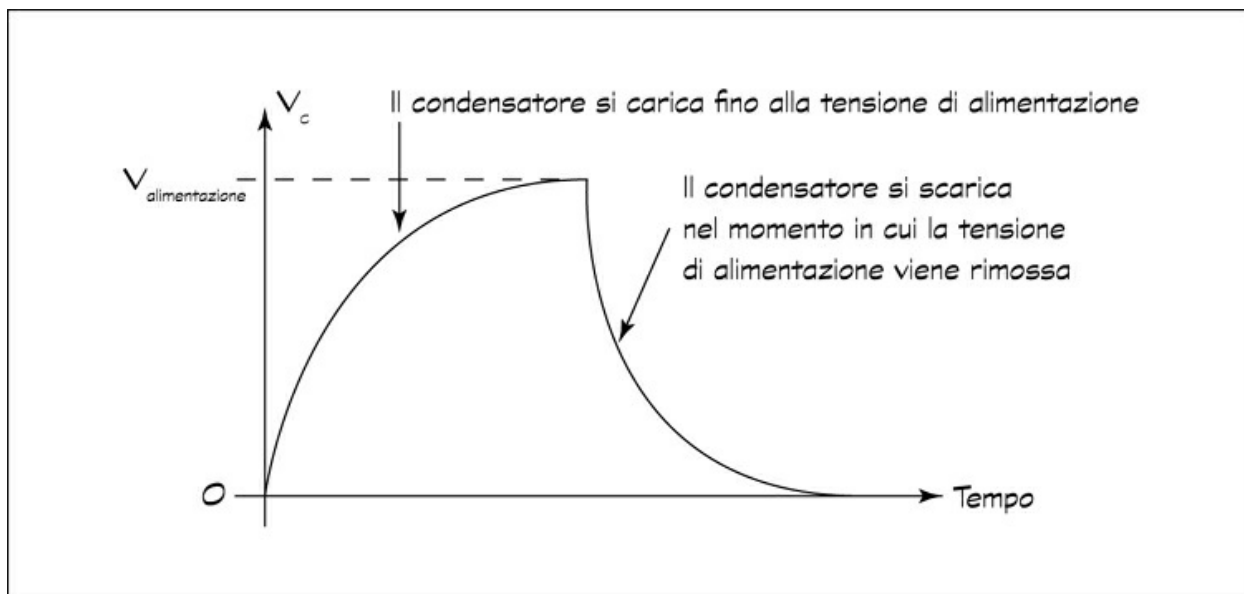


Figura 4.9 La tensione in corrispondenza di un condensatore cambia nel corso del tempo, mentre il condensatore si carica e poi si scarica.

Calcolo delle costanti temporali RC

Scegliendo attentamente i valori del condensatore e della resistenza, è possibile regolare il tempo di carica e scarica del condensatore. Di conseguenza, la scelta della resistenza, R , e della capacità, C , *definisce* il tempo necessario per caricare e scaricare il condensatore attraverso la resistenza scelta. Se moltiplicate R (in ohm) per C (in farad), ottenete quella che viene chiamata *costante temporale RC* del circuito RC, simboleggiata da T . Ne ricaviamo un'altra comoda formula:

$$T = R \times C$$



Un condensatore si carica e scarica quasi completamente dopo cinque volte la sua costante temporale RC, ovvero $5RC$ (che in realtà significa $5 \times R \times C$). Una volta trascorso un tempo equivalente a una costante temporale, un condensatore scarico si caricherà a circa due terzi della sua capacità e un

condensatore carico si scaricherà a circa due terzi.

Per esempio, supponete di aver scelto una resistenza da 2 MΩ e un condensatore da 15 μF per il circuito rappresentato nella [Figura 4.8](#). Calcolate la costante temporale RC nel seguente modo:

Costante temporale $RC = R \times C = 2.000.000 \, \Omega \times 0,000015 \text{ farad} = 30$ secondi

A questo punto sapete che occorrono circa 150 secondi (due minuti e mezzo) per caricare o scaricare completamente il condensatore. Se volete un ciclo di carica/scarica più rapido, potete ridurre il valore scelto per la resistenza o per il condensatore (o per entrambi). Supponete di avere a disposizione solo un condensatore da 15 μF e di volerlo caricare in 5 secondi. Potete scoprire quale resistenza impiegare nel seguente modo.

- ✓ **Calcolo della costante temporale RC:** sapete che occorre cinque volte il tempo costante RC per caricare completamente il condensatore e volete caricarlo completamente in cinque secondi. Ciò significa che $5RC = 5$ secondi, quindi $RC = 1$ secondo.
- ✓ **Calcolo di R:** se $R \times C = 1$ secondo e C è 15 μF, allora sapete che $R = 1 \text{ secondo} / 0,000015 \text{ farad}$, che è approssimativamente 66.667 Ω, ovvero 67 kΩ

Creazione di un timer

Conoscendo la costante temporale RC, potete utilizzare un circuito RC per creare un timer. Supponete, per esempio, che un lontano cugino si piazzì in casa per un mesetto, ma che sia solito depredare il vostro indifeso frigorifero nel cuore della notte. Decidete di predisporre un allarme per scoraggiarlo ogni volta che apre il frigorifero. Per divertirvi, volete lasciargli qualche istante per rimirare il bendidio che si trova in frigo, prima di spaventarlo con il suono di un buzzer, attivato da un interruttore che si chiude ogni volta che lui apre la porta del frigorifero.

Se avete un buzzer che richiede una tensione di 6 V e utilizzate una batteria da 9 V per alimentare il circuito di allarme, potete realizzare un circuito RC come quello rappresentato nella [Figura 4.8](#) e utilizzare la tensione del condensatore per attivare il buzzer. L'idea è quella di caricare il condensatore fino a circa 6 V nel tempo che volete concedere al cugino di rimirare il cibo; poi si attiva l'allarme.

Supponete di voler lasciare al cugino circa 10 secondi per godersi la vista del frigorifero aperto. Avete a disposizione un condensatore da 15 μF e dunque dovete calcolare la resistenza necessaria per caricare il condensatore fino a 6 V in 10 secondi. Poiché il condensatore continuerà a caricarsi finché non raggiungerà la tensione di alimentazione di 9 V, il punto di attivazione del buzzer è quando il condensatore raggiunge i 6 / 9 della sua capacità, circa due terzi. Ciò accade appena dopo una costante temporale. Potete calcolare la resistenza adatta per generare un ritardo di attivazione dell'allarme di 10 secondi nel seguente modo:

$$10 \text{ secondi} = R \times 0,000015 \text{ farad}$$

$$R = 10 \text{ secondi} / 0,000015 \text{ farad} \approx 667.000 \, \Omega \text{ ovvero } 667 \text{ k}\Omega$$

Avete a disposizione una resistenza da 620 k Ω e dunque l'effettivo tempo costante RC è di circa 9,3 secondi (620.000 $\Omega \times 15 \, \mu\text{F}$). Saranno necessari circa 9,3 secondi perché la tensione del condensatore raggiunga i 6 V e dunque il cugino avrà il tempo per guardare, ma non per allungare le mani sul cibo, o verrà "beccato".



Se preferite ottimizzare il ritardo, utilizzate una resistenza con un valore leggermente inferiore rispetto a quello necessario e aggiungete un potenziometro in serie con la resistenza. Poiché la resistenza totale è la somma del valore della resistenza fissa e del potenziometro, potete incrementare o decrementare la resistenza regolando il potenziometro. Provate ad aprire e chiudere un po' di volte la porta del frigorifero fino a

ottenere il ritardo desiderato (i potenziometri vengono descritti più in dettaglio nel [Capitolo 3](#)).

Selezione delle frequenze con semplici filtri RC

Poiché i condensatori si comportano in modo così differente a seconda della frequenza della tensione o della corrente in un circuito, vengono frequentemente impiegati in particolari circuiti chiamati *filtri* per consentire o rifiutare vari segnali. I condensatori bloccano, per loro stessa natura, i segnali in corrente continua e consentono il passaggio dei segnali in corrente alternata, ma potete controllare esattamente quali segnali in corrente alternata possono passare scegliendo attentamente i componenti del circuito del filtro.

Parleremo di alcuni filtri molto semplici e di come sia possibile controllare quali frequenze possono attraversarli. La progettazione di filtri elettronici, che è un campo di studi a parte e non rientra negli scopi di questo libro, prevede la creazione di circuiti ben più complessi per garantire un controllo più preciso dell'uscita. I concetti di base, tuttavia, sono gli stessi impiegati dai semplici filtri descritti in queste pagine.

Filtro passa-basso

Nel circuito rappresentato nella [Figura 4.10](#), una fonte di tensione variabile, V_{in} viene applicata a un circuito RC in serie e l'uscita del circuito, V_{out} , è la tensione attraverso il condensatore. Supponete di applicare a questo circuito una tensione costante ($f = 0$ Hz). Non passa alcuna corrente e dunque l'intera tensione d'ingresso cala attraverso il condensatore: $V_{out} = V_{in}$. All'altra estremità dello spettro di frequenze, la reattanza capacitiva di una frequenza molto, molto elevata è un valore molto, molto contenuto. In pratica questo mette in corto circuito il condensatore e dunque la caduta di tensione attraverso il condensatore è pari a 0: $V_{out} = 0$.

Regolando la frequenza del segnale di ingresso da molto basso a molto alto, la reattanza capacitiva varia da molto alto a molto basso. Più elevata è la reattanza, più tensione cade attraverso il condensatore (a spese della tensione che cade attraverso la resistenza). Più bassa è la reattanza, meno tensione cade attraverso il condensatore (e più ne cade attraverso la resistenza). Il circuito tende a consentire il passaggio delle frequenze basse dall'ingresso all'uscita, bloccando le frequenze più elevate e pertanto è chiamato filtro passa-basso.

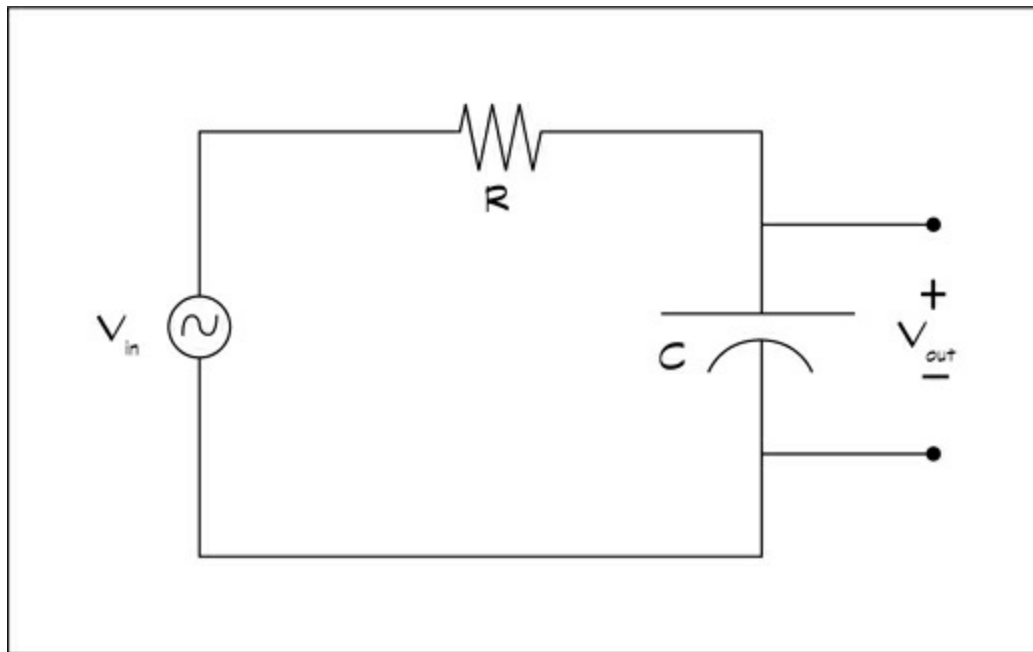


Figura 4.10 Un filtro passa-basso consente il passaggio dei segnali di ingresso con frequenze basse.

Filtro passa-alto

Invertendo i ruoli della resistenza e del condensatore nel filtro passa-basso RC, si crea l'effetto opposto: un *filtro passa-alto*. Nel circuito rappresentato nella [Figura 4.11](#), la tensione di uscita è la tensione che attraversa la resistenza. Per segnali di ingresso a frequenza molto bassa, il condensatore blocca il passaggio della corrente e dunque non avviene alcuna caduta di tensione attraverso la resistenza: $V_{out} = 0$. Per segnali di ingresso con

frequenza molto elevata, il condensatore si comporta come un corto circuito e dunque la corrente scorre e tutta la tensione d'ingresso cade attraverso la resistenza: $V_{out} = V_{in}$.

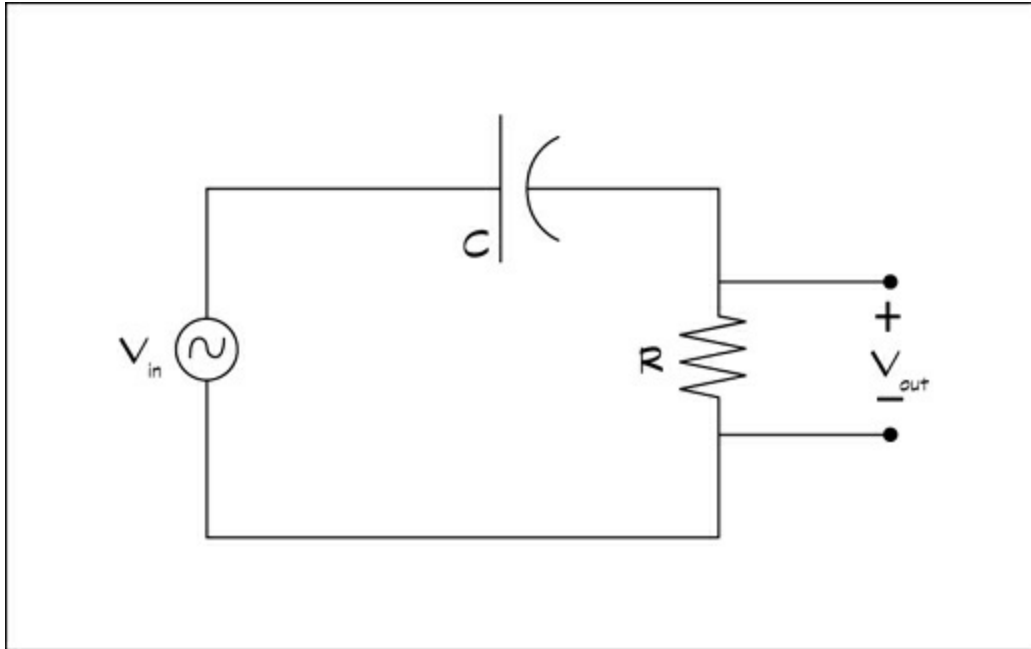


Figura 4.11 Un filtro passa-alto consente il passaggio dei segnali di ingresso con frequenze più elevate.

Alterando la frequenza dal basso all'alto, la reattanza capacitiva varia da elevata a bassa. Potete considerarlo come un dispositivo immaginario (un potenziometro controllato in frequenza) inserito nel circuito al posto del condensatore: più aumenta la frequenza di ingresso, più la reattanza si riduce e più la tensione d'ingresso cade attraverso la resistenza.

Taglio delle frequenze

I circuiti per filtri sono progettati per far passare determinate frequenze, *attenuando* o riducendo l'ampiezza delle altre frequenze. Nessun filtro è perfetto; non può far passare completamente tutti i segnali sopra o sotto una determinata frequenza bloccando completamente tutte le altre frequenze. I veri progetti di filtri sono ben più efficaci e molto migliori rispetto a un

semplice filtro RC nel distinguere quali frequenze far passare e quali bloccare, ma tutti i filtri, semplici o complessi, hanno un parametro progettuale chiamato *frequenza di taglio*.

La *frequenza di taglio*, F è la frequenza alla quale il filtro inizia a limitare il passaggio del segnale di ingresso. La [Figura 4.12](#) mostra un grafico dell'ampiezza del segnale di uscita per varie frequenze di ingresso per un filtro passa-alto (notate che questo grafico rappresenta la frequenza e non il tempo). Il grafico mostra che le frequenze sopra il valore di taglio possono passare con poca attenuazione o addirittura senza attenuazione, mentre le frequenze sotto il valore di taglio vengono notevolmente attenuate.

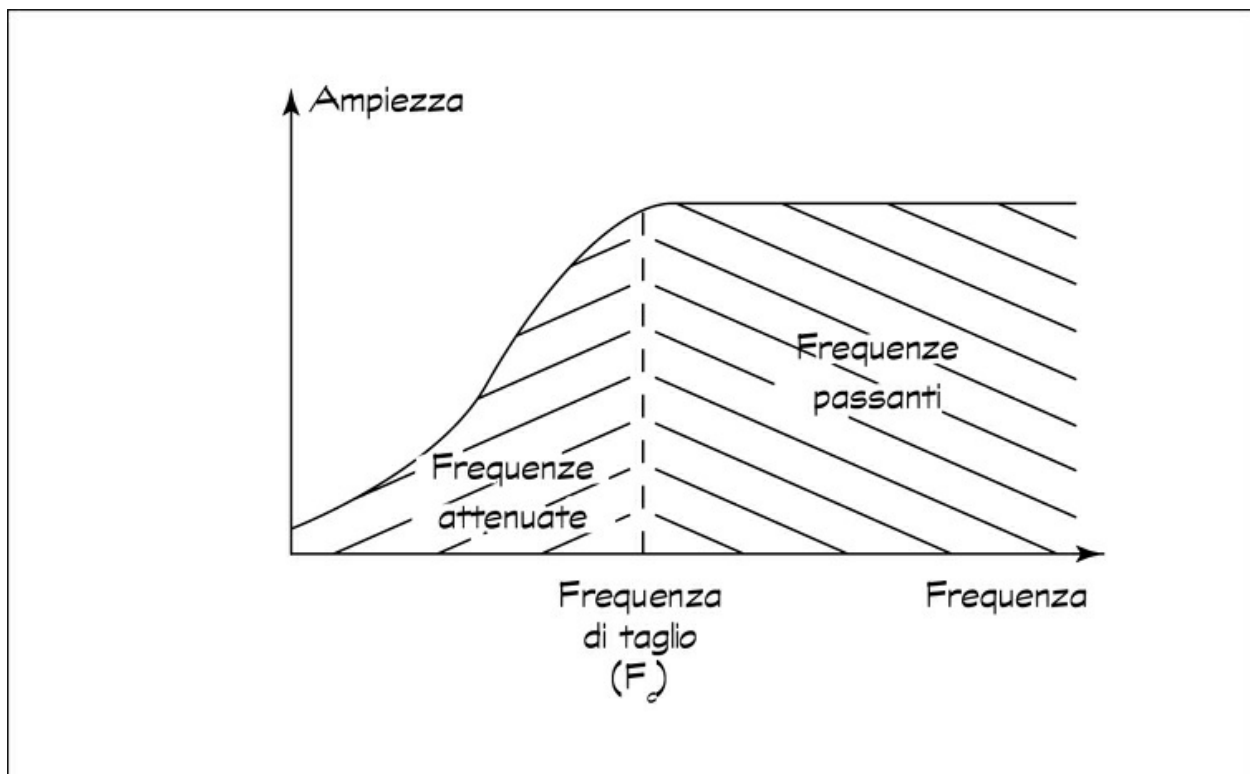


Figura 4.12 La frequenza di taglio del filtro, F_c , è la frequenza in cui il filtro inizia ad attenuare il segnale.

La frequenza di taglio si verifica in prossimità della curva; potete calcolarne la posizione utilizzando la seguente equazione:

$$F_c = (2 \times \pi \times T)^{-1}$$

Poiché $T = R \times C$, potete controllare la frequenza di taglio del semplice filtro passa-basso o passa-alto scegliendo attentamente i valori delle resistenze e del condensatore sulla base della seguente equazione:

$$F_c = (2 \times \pi \times R \times C)^{-1}$$

Per esempio, supponete di avere una configurazione a filtro passa-alto con una resistenza da 220 Ω e un condensatore da 0,1 μF . La frequenza di taglio del filtro sarà approssimativamente di $1 / 6,28 \times 220 \Omega \times 0,0000001 \text{ farad}$, ovvero 7.200 Hz. Se utilizzate questo filtro in un sistema audio, non sorprendetevi di non riuscire a sentire le voci o gli strumenti del vostro gruppo preferito: i loro suoni si trovano ben sotto i 7.000 Hz e vengono del tutto attenuati dal filtro!

Filtraggio di bande di frequenza

Potete progettare filtri per produrre due frequenze di taglio, una alta e una bassa, per consentire il passaggio di una determinata *banda*, di un intervallo di frequenze, oppure per rifiutare una banda di frequenze. Tali filtri si chiamano rispettivamente *filtri passa-banda* e *elimina-banda* e sono realizzati combinando opportunamente dei filtri passa-basso e passa-alto.

I filtri a passa-banda vengono comunemente utilizzati nei sistemi di ricezione radio per selezionare il segnale corretto fra i tanti segnali presenti nell'etere. Potete utilizzare un filtro elimina-banda per “filtrare” i rumori indesiderati dalla linea di alimentazione di 50 Hz, sempre che conosciate la gamma delle frequenze di disturbo. La maggior parte di questi filtri complessi impiega induttanze, oltre a condensatori e resistenze, un argomento di cui parleremo nel [Capitolo 5](#).

Realizzare semplici circuiti con condensatori

Potete saltare al [Capitolo 14](#) della [Parte III](#) per provare a realizzare alcuni circuiti a condensatore. I semplici circuiti presentati in questo capitolo vi hanno insegnato a caricare e scaricare un condensatore e vi hanno offerto le

basi del funzionamento della costante temporale RC. Se decidete di saltare a tale capitolo, vi preghiamo di leggere attentamente la [Parte II](#), nella quale si parla di negozi di elettronica, schemi elettrici e, soprattutto, di sicurezza nella realizzazione di circuiti.

Capitolo 5

Avvolti fra bobine e cristalli

In questo capitolo

Indurre correnti nelle bobine cambiando il campo magnetico.

Opporsi ai cambiamenti di corrente con un induttore.

Uso degli induttori nei circuiti a filtro.

Risonanze con circuiti RLC.

Frequenze cristalline.

Accoppiare un flusso magnetico per trasferire energia da un circuito a un altro.

Molte delle migliori invenzioni del mondo, compresa la penicillina, i foglietti gialli adesivi, il prosecco e il pacemaker sono stati il risultato di scoperte accidentali (in alcuni casi attribuibili a disattenzioni o a scienza empirica). Una di queste scoperte casuali, le interazioni esistenti fra elettricità e magnetismo, hanno portato allo sviluppo di due componenti elettronici estremamente utili: l'avvolgimento di induzione e il trasformatore.

L'avvolgimento *di induzione*, o *induttore*, conserva l'energia elettrica in un campo magnetico e manipola i segnali elettrici in un modo diverso rispetto a quanto fa un condensatore. Operando da soli, in particolari coppie chiamate *trasformatori* o insieme a condensatori e resistenze, gli induttori rappresentano il cuore di molti apparecchi di utilizzo quotidiano praticamente irrinunciabili, fra cui sistemi radiofonici, televisivi, senza dimenticare quella

“piccolissima” cosa che è l’intera rete di trasmissione dell’energia elettrica.

In questo capitolo scopriremo la relazione esistente fra elettricità e magnetismo e vedremo come gli scienziati del Diciannovesimo secolo hanno sfruttato questa relazione per creare induttori e trasformatori. Vedremo ciò che accade quando si cerca di cambiare troppo rapidamente la direzione della corrente attraverso un induttore e come la Legge di Ohm può essere applicata agli induttori. Poi esploreremo il modo in cui gli induttori vengono utilizzati nei circuiti e perché i cristalli risuonano a una certa frequenza. Infine, vedremo come i trasformatori trasferiscono energia elettrica da un circuito a un altro, in perfetto isolamento, senza alcun contatto diretto fra i due circuiti.

Parenti prossimi: il magnetismo e l’elettricità

Il magnetismo e l’elettricità erano ritenuti due fenomeni completamente distinti, finché uno scienziato del Diciannovesimo secolo di nome Hans Christian Ørsted non ha scoperto che l’ago della bussola smetteva di puntare verso il Nord magnetico quando la corrente erogata da una batteria posta nelle vicinanze veniva accesa e spenta. L’acuta osservazione di Ørsted ha portato a molte ricerche e sperimentazioni che, alla fine, hanno confermato il fatto che l’elettricità e il magnetismo sono forze strettamente correlate. Dopo molti anni (e molte altre scoperte accidentali), Michael Faraday e altri scienziati del Diciannovesimo secolo hanno imparato a mettere a frutto il fenomeno *dell’elettromagnetismo* per creare i primi dispositivi elettromeccanici del mondo. I trasformatori di potenza di oggi, i generatori elettromagnetici e molti motori industriali attualmente in uso si basano proprio su quei principi dell’elettromagnetismo.

Questa parte del capitolo descrive proprio le interazioni esistenti fra elettricità e magnetismo.

Tracciare le linee (di flusso) con i magneti

Così come l’elettricità è una forza (tensione) fra due cariche elettriche, allo stesso modo il magnetismo è una forza fra due poli magnetici. Se avete mai

eseguito il classico esperimento scolastico in cui si colloca un magnete su una superficie e si versa della limatura di ferro in prossimità del magnete, avrete visto gli effetti della forza magnetica. Ricordate che cosa è accaduto? La limatura si è disposta lungo linee curve dal polo Nord del magnete al polo Sud. La limatura ha mostrato l'andamento delle linee di forza (o *linee di flusso*) magnetiche all'interno del campo magnetico creato dal magnete. Probabilmente la maggior parte della limatura si è disposta in prossimità del magnete, dove il campo magnetico è più forte. La [Figura 5.1](#) mostra lo schema prodotto dalle invisibili linee di flusso che circondano un magnete.

Il flusso magnetico è semplicemente un modo per rappresentare la forza e la direzione di un campo magnetico. Per comprendere l'andamento delle linee magnetiche di un flusso, immaginate gli effetti dell'aria sulla vela di una barca. Più è forte il vento e più è grande la vela, maggiore sarà la pressione dell'aria sulla vela. Se però la vela viene orientata in modo parallelo alla direzione del flusso del vento, l'aria scorrerà lungo di essa e anche il vento più forte non produrrà alcuna spinta. L'effetto del vento è maggiore quando colpisce la vela frontalmente, ovvero quando la superficie della vela è perpendicolare al flusso del vento. Se provate a rappresentare la forza e la direzione del vento e l'orientamento della vela in un disegno, potete tracciare delle frecce che mostrano la forza del vento che si estende attraverso la superficie della vela. Analogamente, le linee del flusso magnetico illustrano la forza e l'orientamento di un campo magnetico, mostrando come la sua forza agisca su un oggetto collocato all'interno del campo. Gli oggetti collocati nel campo magnetico saranno fortemente influenzati dalla forza prodotta dal campo magnetico, ma solo se sono orientati in modo perpendicolare alle linee di flusso.

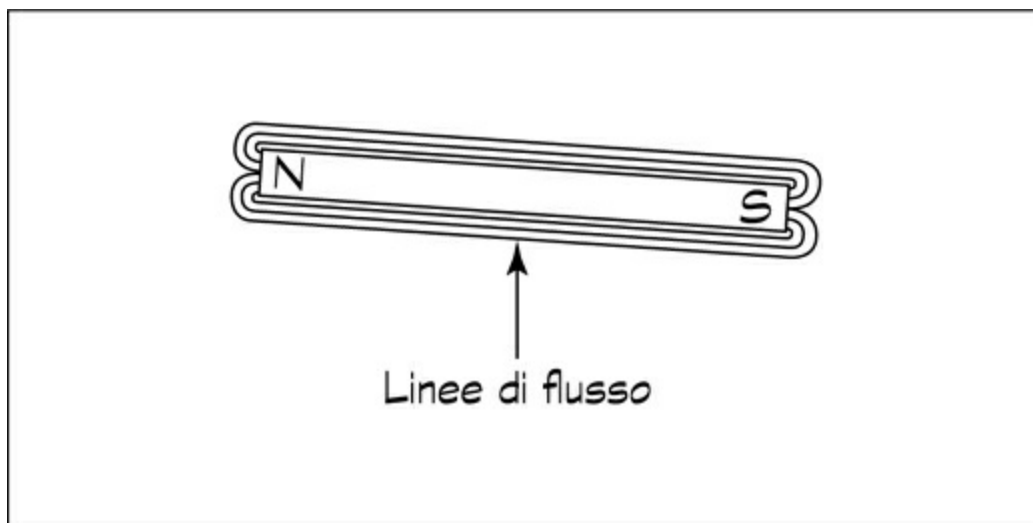


Figura 5.1 Le linee magnetiche della forza sono parallele al flusso e si estendono dal polo nord al polo sud di un magnete.

Produrre un campo magnetico con l'elettricità

Ørsted ha scoperto che la corrente elettrica, quando scorre attraverso un cavo, produce un debole campo magnetico che circonda il cavo stesso. Questo è il motivo per cui l'ago della bussola si muoveva quando veniva posto in prossimità del circuito di Ørsted. Basta fermare il flusso della corrente e il campo magnetico sparisce. Questo magnetismo temporaneo è controllabile elettronicamente, ovvero si può accendere e spegnere il magnetismo accendendo e spegnendo la corrente, e un oggetto che produce elettricamente il campo magnetico è chiamato *elettromagnete*.

Accendendo la corrente, le linee di forza “avvolgono” il cavo e si alternano uniformemente lungo tutta la sua lunghezza, come indicato nella [Figura 5.2](#). Immaginate un rotolo di panni carta avvolto su un cavo, che lo attraversa esattamente al centro. Se fate passare della corrente nel cavo, le invisibili linee del flusso avvolgeranno il cavo, formando come delle “spire” a varie distanze dal cavo. La forza del campo magnetico si riduce allontanandosi dal cavo elettrico.

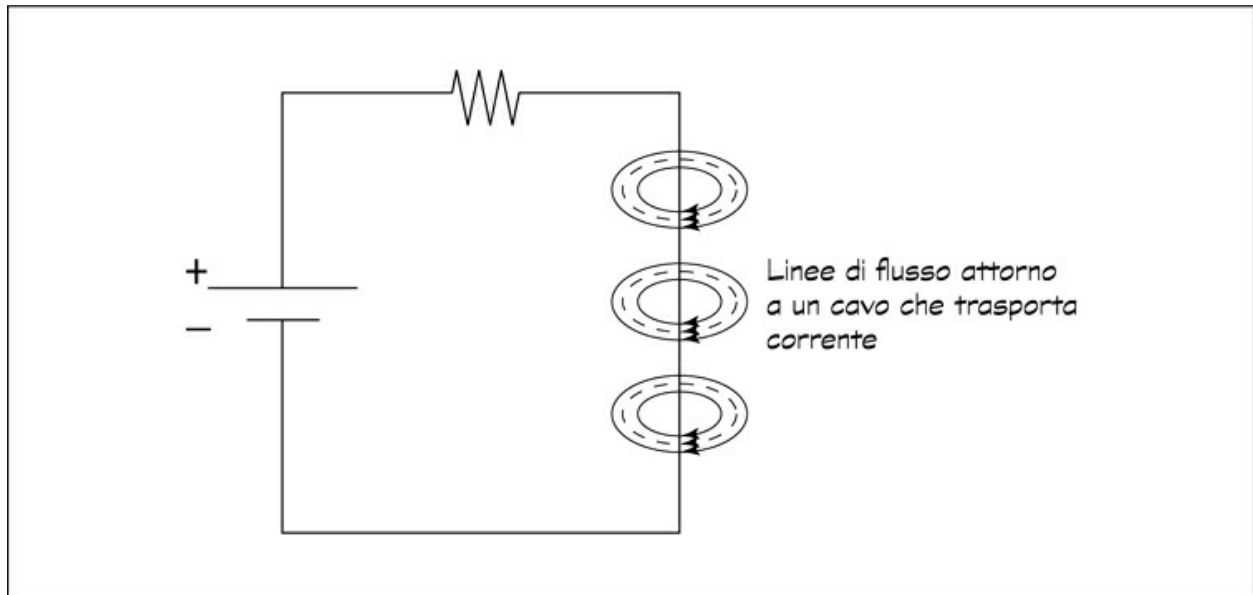


Figura 5.2 La corrente che scorre attraverso un cavo produce un debole campo magnetico.

Indurre corrente con un magnete

Dunque, se l'elettricità che scorre in un cavo genera un campo magnetico, cosa accade se avvolgete un cavo attorno a un magnete permanente? In realtà, non accade nulla, a meno che spostiate il magnete. Un campo magnetico in movimento *induce* una tensione fra le estremità del cavo elettrico, generando un passaggio di corrente attraverso il cavo. *L'induzione elettromagnetica* sembra far comparire magicamente la corrente, senza alcun contatto diretto con il cavo. L'intensità della corrente dipende da molte cose, fra cui la potenza del magnete, il numero di linee di flusso intercettate dal cavo, l'angolo in cui il cavo attraversa le linee di flusso e la velocità di spostamento del magnete. Potete aumentare la capacità di questo meccanismo di indurre una corrente, avvolgendo il cavo a formare una bobina e ponendo il magnete al *centro* dell'avvolgimento. Più fitti saranno gli avvolgimenti del cavo elettrico, più intensa sarà la corrente.

Supponete di porre un forte magnete permanente al centro di una bobina di cavo, come rappresentato nella [Figura 5.3](#). Se spostate il magnete verso l'alto, la corrente indotta nel cavo scorre in una direzione. Se lo spostate verso il

basso, la corrente viene ancora una volta indotta, ma scorre nella direzione opposta. Spostando il magnete ripetutamente verso l'alto e verso il basso, potete indurre nel cavo elettrico una corrente alternata. Alternativamente potete decidere di spostare il *cavo* verso l'alto e verso il basso attorno al magnete: si verificherà lo stesso fenomeno. Nel momento in cui vi è un movimento relativo fra il cavo avvolto e il magnete, nel cavo elettrico verrà indotta la corrente.

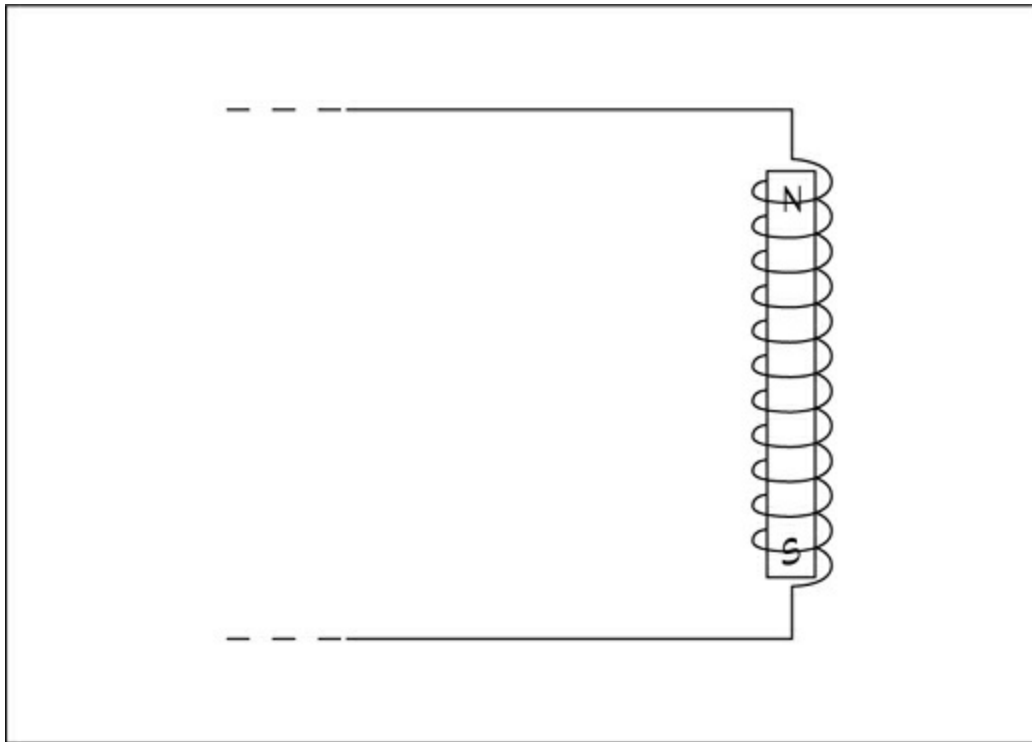


Figura 5.3 Spostando un magnete all'interno di una bobina di cavo elettrico si induce una corrente nel cavo stesso.



Molti generatori di corrente alternata funzionano perché fanno ruotare un materiale conduttivo all'interno di un potente magnete a ferro di cavallo. Il materiale conduttivo è connesso a una turbina, che ruota quando le viene applicata una pressione generata dall'acqua o dal vapore. Mentre il materiale conduttivo esegue una rotazione completa nel campo magnetico prodotto dal

magnete, il magnete spinge gli elettroni prima in una direzione e poi nella direzione opposta, generando corrente alternata.

Ecco a voi l'induttore: un avvolgimento con una personalità magnetica



Il simbolo dell'induttore ha l'aspetto rappresentato a lato. Un *induttore* è un componente elettronico passivo, costituito da un cavo avvolto attorno a un nucleo, che può essere d'aria, di ferro o di ferrite (un materiale ceramico a base di ferro). I materiali ferrosi del nucleo aumentano di varie centinaia di volte l'intensità del campo magnetico indotto dalla corrente. Gli induttori vengono talvolta chiamati *avvolgimenti*, *elettromagneti* e *solenoidi*, a seconda del modo in cui vengono utilizzati nei circuiti.



Se fate passare corrente attraverso un induttore, create un campo magnetico attorno al cavo. Se *cambiate* la corrente, aumentandola o riducendola, il flusso magnetico attorno all'avvolgimento cambia e attraverso l'induttore viene indotta una tensione. Tale tensione, chiamata *tensione inversa*, provoca un flusso di corrente che si oppone alla corrente principale. Questa proprietà degli induttori è chiamata *auto-induttanza* o semplicemente *induttanza*.

Misurare l'induttanza

L'induttanza, simboleggiata con una L , si misura in unità chiamate *henry* (dal nome di Joseph Henry, uno statunitense di New York che amava giocare con i magneti e in tal modo ha scoperto la proprietà dell'auto-induttanza).

Un'induttanza di 1 henry (abbreviato con H) induce 1 V quando la corrente varia di 1 ampere al secondo. Naturalmente, 1 A è un valore molto grosso in

elettronica e dunque in genere si sente parlare di millihenry (mH), ovvero di *millesimi* di henry, e di microhenry (μH), *milionesimi* di henry.

Opporsi ai cambiamenti di corrente

Nella [Figura 5.4](#), viene applicata una corrente continua a una resistenza posta in serie con l'induttore. Se nel circuito non vi fosse un induttore, allora nel circuito scorrerebbe istantaneamente una corrente uguale a $V_{\text{alimentazione}}/R$ non appena venisse accesa la tensione in corrente continua. L'introduzione di un induttore cambia ciò che accade alla corrente che scorre nel circuito.

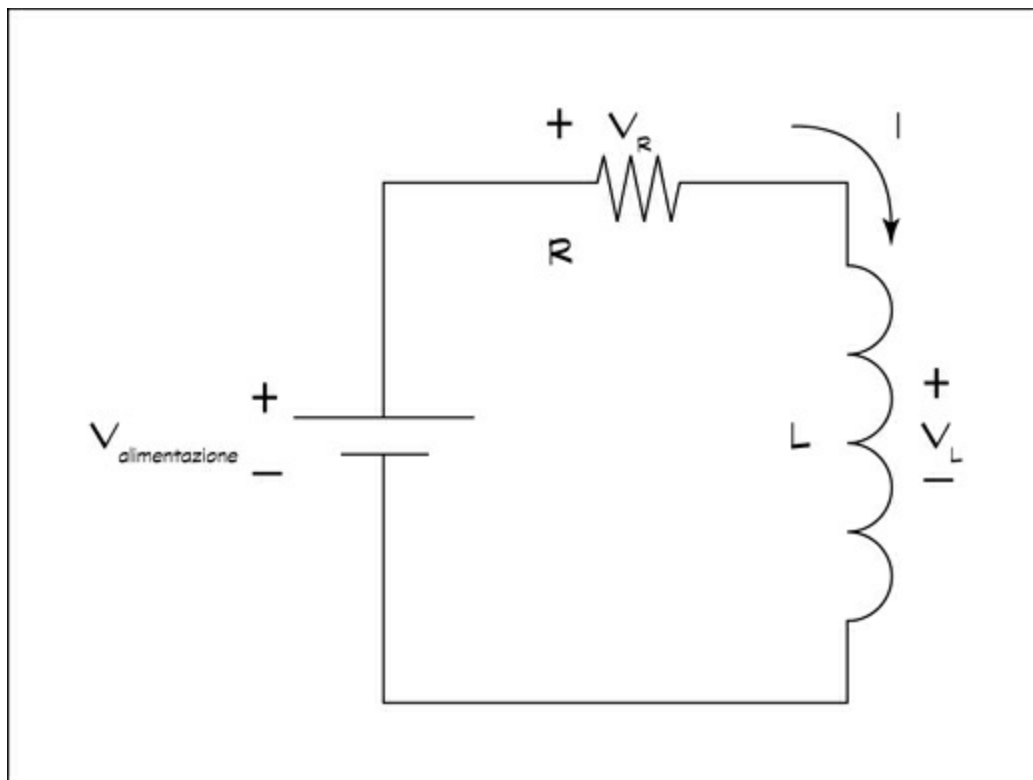


Figura 5.4 Un induttore si oppone ai cambiamenti di corrente.

Quando viene applicata la tensione in corrente continua, la corrente inizia a scorrere e induce un campo magnetico attorno all'avvolgimento dell'induttore. Aumentando la corrente (cosa che avviene istantaneamente), la forza del campo magnetico aumenta proporzionalmente. Poiché il campo magnetico cambia, induce una tensione inversa, che a sua volta induce una

corrente nel cavo elettrico, *nella direzione opposta* a quella della corrente che già scorre dalla sorgente di alimentazione. L'induttore sembra tentare di impedire alla corrente dell'origine di variare troppo rapidamente e l'effetto è che la corrente non incrementa istantaneamente. Questo è il motivo per cui si dice che gli induttori si “oppongono ai cambiamenti di corrente”.

La corrente indotta nell'avvolgimento riduce un po' la potenza del campo magnetico in espansione. Mentre la corrente di origine continua ad aumentare, il campo magnetico continua a espandersi (ma sempre più lentamente) e la corrente che si oppone alla corrente di origine continua a essere indotta (ma diventa sempre più piccola). Il ciclo continua finché, alla fine, la corrente torna a essere continua. Quando la corrente raggiunge un livello fisso, il campo magnetico non cambia più e l'induttore cessa di influenzare la corrente nel circuito.

L'effetto finale è che occorre un tempo ben preciso perché la corrente che scorre attraverso l'induttore raggiunga un valore di corrente continua fisso. Il tempo specifico richiesto dipende da alcuni fattori, come le caratteristiche dell'induttore e le dimensioni della resistenza nel circuito. A tale proposito consultate “Calcolo della costante temporale RL” più avanti in questo capitolo. Quando si verifica ciò, la corrente scorre liberamente attraverso l'induttore, che si comporta come un semplice cavo elettrico (si parla comunemente di *corto circuito* o semplicemente *corto*) così che $V_L = 0 \text{ V}$ e la corrente è determinata dalla tensione di origine e dalla resistenza, secondo la Legge di Ohm ($I = V_{\text{alimentazione}}/R$).

Se poi togliete la fonte di alimentazione in corrente continua e connettete la resistenza attraverso l'induttore, la corrente scorrerà per un breve periodo di tempo e l'induttore, ancora una volta, si opporrà all'improvviso calo di corrente finché, finalmente, la corrente tornerà a 0 e il campo magnetico sparirà.



Dal punto di vista dell'energia, quando applicate al conduttore una fonte di

corrente continua, questa conserva l'energia elettrica in un campo magnetico. Quando togliete la fonte di corrente continua e connettete all'induttore una resistenza, l'energia viene trasferita alla resistenza, che la dissipa sotto forma di calore. Gli induttori conservano l'energia elettrica all'interno di campi magnetici. Un induttore reale, contrapposto a un induttore "ideale", teorico, esibisce una certa quantità di resistenza e di capacità oltre all'induttanza, a causa delle proprietà fisiche degli avvolgimenti, del materiale del nucleo e della natura dei campi magnetici. Di conseguenza, un induttore non può conservare energia elettrica a lungo (come invece fa un condensatore), in quanto l'energia si perde a causa della dissipazione termica.



Per comprendere il funzionamento degli induttori, pensate all'acqua che scorre in una tubatura, con una turbina al suo interno. La prima volta che applicate la pressione dell'acqua, le pale della turbina si oppongono al flusso, applicando una pressione di resistenza al flusso dell'acqua. Ma mentre le pale iniziano a ruotare, oppongono sempre meno pressione e dunque l'acqua scorre più liberamente. Se improvvisamente togliete la pressione dell'acqua, le pale continueranno a ruotare per un po', spingendo ancora acqua con il loro moto, finché non si fermeranno e anche l'acqua smetterà di scorrere.



Non preoccupatevi di tutti i dettagli delle correnti indotte, dell'espansione e contrazione dei campi magnetici e di altre cose così. Ricordatevi solo alcune cose importanti degli induttori.

- ✓ Un induttore si oppone (resiste) ai cambiamenti di corrente.
- ✓ Un induttore si comporta come un circuito aperto quando viene applicata per la prima volta la corrente continua (ovvero nessuna corrente scorre immediatamente e l'intera tensione di origine si

perde all'induttore).

- ✓ Un induttore, alla fine, si comporta come un corto all'interno dei circuiti in corrente continua, ovvero, quando tutto il campo magnetico si assesta, la tensione è 0 e l'induttore consente il passaggio di tutta la corrente continua.

Induttori a corrente alternata

Quando applicate una tensione in corrente alternata a un circuito che contiene un induttore, l'induttore si oppone ai cambiamenti della corrente in arrivo. Se continuate a variare la tensione di alimentazione a frequenze elevate, l'induttore si opporrà a questi improvvisi cambiamenti di corrente.

All'estremità elevata dello spettro di frequenze, attraverso l'induttore non passerà corrente, semplicemente perché l'induttore non è in grado di reagire così rapidamente ai cambiamenti di corrente.

Immaginatevi davanti a due dessert davvero invitanti. Li vorreste assaggiare entrambi, ma non sapete decidervi da quale partire. Vi dirigete verso uno, ma improvvisamente cambiate idea e volete assaggiare prima l'altro. Poi cambiate ancora idea e vi dirigete verso il primo e così via. Più rapidamente cambiate idea, più resterete nel mezzo, senza andare da nessuna parte (ma niente dessert). Questi due invitanti dessert vi faranno comportare come gli elettroni in un induttore, quando al circuito viene applicato un segnale ad alta frequenza: né voi, né gli elettroni farete alcun progresso.

La reattanza induttiva

L'opposizione di un induttore al cambiamento della corrente è chiamata reattanza induttiva. Più rapidamente la corrente tenta di cambiare, più l'induttore resiste al cambiamento.

Nell'esempio dei due dessert di poco fa, se non cambiate idea troppo rapidamente, riuscite a portarvi sul primo piatto, assaggiarlo, per poi passare al secondo piatto, assaggiarlo e così via. Se cambiate idea un po' più rapidamente (ma non ogni secondo), potreste trovarvi a dirigerli verso un

dessert, a metà strada tornare indietro e dirigersi verso l'altro dessert, a metà strada tornare indietro e così via. La frequenza dipende dalla rapidità con cui cambiate idea. Lo stesso vale per il flusso della corrente attraverso l'induttore: quanto in là si spinge la corrente dipende dalla rapidità con cui cambia la corrente.

La reattanza induttiva, simboleggiata con X_L , si misura in (indovinate un po') ohm. La reattanza induttiva, come la reattanza capacitiva (di cui abbiamo parlato nel [Capitolo 4](#)) varia con la frequenza e pertanto è molto differente rispetto alla resistenza fissa di una comune resistenza. Per calcolare X_L si usa la seguente formula:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

In questa formula, f rappresenta la frequenza in hertz (Hz) della tensione in corrente alternata applicata, L è l'induttanza in henry e π è la nota costante, che è approssimativamente 3,14. Potete approssimare $2 \times \pi$ con 6,28 e semplificare la formula come segue:

$$X_L \approx 6,28 \times f \times L$$

Pertanto si calcola la reattanza induttiva di un induttore da 0,1 mH per una sorgente elettrica con frequenza di 1 Hz nel seguente modo:

$$\begin{aligned} X_L &\approx 6,28 \times 1 \times 0,0001 \\ &\approx 0,000628 \, \Omega \end{aligned}$$

Se elevate la frequenza a 2 MHz (ovvero 2.000.000 Hz), l'induttanza reattiva diviene:

$$\begin{aligned} X_L &\approx 6,28 \times 1 \times 0,0001 \\ &\approx 0,000628 \, \Omega \end{aligned}$$

Notate che per un segnale a bassa frequenza (1 Hz), la reattanza induttiva è approssimativamente 0 e dunque l'induttore si comporta come un corto

circuito, non offrendo alcuna opposizione alla corrente. Per un segnale ad alta frequenza (2 MHz), l'induttore oppone una grande resistenza al flusso della corrente (1,3 kΩ di reattanza).

Applicazione della Legge di Ohm alla reattanza induttiva

Potete utilizzare la Legge di Ohm per calcolare la reattanza induttiva come la reattanza capacitiva, sempre che facciate attenzione e la applichiate per una singola frequenza per volta. Supponete di applicare una tensione in corrente alternata da 2 MHz con un valore di picco di 5 V a un induttore da 0,1 mH. Potete calcolare la corrente di picco che attraversa l'induttore impiegando la Legge di Ohm:

$$I_{\text{picco}} = \frac{V_{\text{picco}}}{X_L}$$

L'induttanza reattiva per un induttore da 0,1 mH a 2 MHz è di 1,3 kΩ (come calcolato in precedenza), pertanto la corrente di picco è:

$$\begin{aligned} I_{\text{picco}} &\approx \frac{5 \text{ V}}{1.300 \text{ } \Omega} \\ &\approx 0,0038 \text{ A oppure } 3,8 \text{ mA} \end{aligned}$$

Comportamenti differenti a seconda della frequenza (ancora...)

Come i condensatori, anche gli induttori, in un circuito in corrente alternata, si comportano in modo differente a seconda della frequenza della tensione applicata. Come la corrente che attraversa un induttore è influenzata dalla frequenza, così lo sono le cadute di tensione attraverso l'induttore e gli altri componenti del circuito. Questo comportamento, dipendente dalla frequenza, rappresenta la base di alcune funzioni utili, come i filtri passa-basso, passa-alto e passa-banda.



Gli induttori sono gli alter ego dei condensatori. I condensatori si oppongono ai cambiamenti di tensione; gli induttori si oppongono ai cambiamenti di corrente. I condensatori bloccano la corrente continua e fanno passare sempre più corrente alternata a mano a mano che aumenta la frequenza; gli induttori fanno passare la corrente continua e bloccano la corrente alternata a mano a mano che aumenta la frequenza.

Uso degli induttori nei circuiti

Gli induttori vengono utilizzati prevalentemente nei circuiti di sintonia, per selezionare o rifiutare i segnali di specifiche frequenze: per bloccare i segnali ad alta frequenza e per eliminare le interferenze in radiofrequenza nelle trasmissioni via cavo. Nelle applicazioni audio, gli induttori vengono comunemente utilizzati anche per eliminare il rumore a 50 Hz generato dalle linee di alimentazione.

Probabilmente vi trovate a utilizzare gli induttori molto più frequentemente di quanto immaginate. Molti sensori del traffico (quei dispositivi che sembrano sapere quando un'auto sta attendendo al semaforo) usano un induttore per governare l'incrocio. Sotto il manto stradale vi è un sensore induttivo costituito da varie spire di avvolgimenti di grande diametro, connesse a un circuito che controlla il semaforo. Quando passate sopra al sensore, l'acciaio della carrozzeria influenza il flusso magnetico del sensore. Il circuito rileva pertanto il passaggio e comanda il semaforo.

Isolamento e schermatura degli induttori

Il cavo che compone l'induttore deve essere isolato per impedire cortocircuiti indesiderati fra le spire. Gli induttori utilizzati nella maggior parte dei circuiti elettronici sono anche *schermati* o inclusi in un involucro metallico non ferroso (normalmente ottone o alluminio) per evitare che le linee magnetiche

del flusso si infiltrino negli altri componenti del circuito. Si usano induttori schermati quando non si vogliono indurre tensioni o correnti in altri elementi del circuito. Si usano induttori (o avvolgimenti) non schermati quando invece si intende influenzare altri elementi del circuito. Parleremo dell'uso di avvolgimenti non schermati nei circuiti nel paragrafo "Influenze fra avvolgimenti: i trasformatori".

Lettura dei valori di induttanza

Il valore di un induttore è tipicamente contrassegnato sul corpo utilizzando la stessa codifica a colori impiegata per le resistenze, di cui abbiamo parlato nel [Capitolo 3](#). Spesso trovate il valore degli induttori più grossi stampato direttamente sui componenti. Gli induttori di valore più piccolo sono simili a piccole resistenze e induttori e resistenze condividono la stessa codifica a colori. Induttori di valore più elevato possono avere varie dimensioni e forme che dipendono da come si prevede di utilizzarli.

Gli induttori possono essere fissi o variabili. In entrambi i casi, un certo tratto di cavo viene avvolto attorno a un nucleo. Il numero di spire del cavo, il materiale del nucleo, il diametro del cavo e la lunghezza dell'avvolgimento sono tutti elementi che determinano il valore numerico dell'induttore. Gli induttori fissi hanno un valore costante e gli induttori variabili hanno valori regolabili. Il nucleo di un induttore può essere costituito da aria, ferrite o vari altri materiali (compresa l'intera vostra auto). I materiali più impiegati per il nucleo sono l'aria e la ferrite.

Combinare più induttori schermati

È molto probabile che non utilizzerete induttori nei semplici circuiti elettronici che predisporrete, ma li incontrerete negli schemi di alimentatori e in altri apparecchi, che comprendono più induttori. In ogni caso, dovrete imparare a calcolare l'induttanza equivalente prodotta da combinazioni di più induttori schermati, in modo da poter avere un'idea chiara del funzionamento del circuito. Gli induttori in serie si sommano, come le resistenze:

$$L_{\text{serie}} = L1 + L2 + L3 \dots$$

Come le resistenze, gli induttori in parallelo si combinano, sommando i reciproci di ogni singola induttanza e poi prendendo il reciproco di tale somma. Forse ricorderete dalle lezioni di matematica che il reciproco è l'inverso moltiplicatore di un numero o il numero per cui occorre moltiplicare un numero in modo che il risultato sia 1. Pertanto, dato un intero x , il reciproco è $1/x$.

$$L_{\text{parallelo}} = \frac{1}{\frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3} \dots}$$

Un altro modo per esprimere questa equazione è:

$$\frac{1}{L_{\text{parallelo}}} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3} \dots$$

Se avete solo due induttori in parallelo, potete semplificare le cose nel seguente modo:

$$L_{\text{parallelo}} = \frac{L1 \times L2}{L1 + L2}$$

Filtraggio dei segnali con gli induttori

Ricordate: gli induttori sono gli alter ego dei condensatori. Ne consegue che potete utilizzare gli induttori nei circuiti di filtraggio per fare esattamente l'opposto di ciò che fanno i condensatori (di cui abbiamo parlato nel [Capitolo 4](#)).

La [Figura 5.5](#) mostra un *circuito RL* che comprende semplicemente una resistenza e un induttore, con una tensione di uscita, V_{out} , definita come la caduta di tensione attraverso l'induttore.

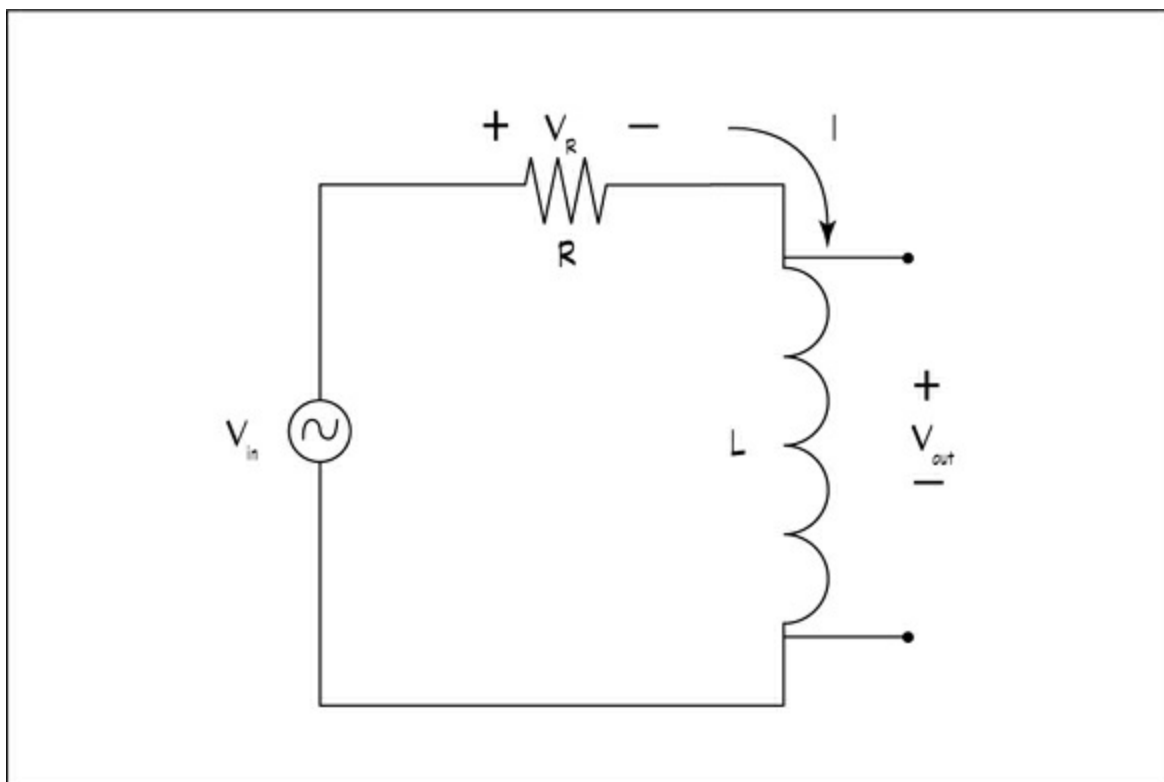


Figura 5.5 Un circuito RL può essere utilizzato con un semplice filtro passa-alto.

Più bassa è la frequenza della tensione d'ingresso, più l'induttore è in grado di reagire ai cambiamenti della corrente, pertanto più l'induttore si comporterà come un "corto", facendo passare corrente senza opporsi troppo. Come risultato, per le frequenze d'ingresso basse, la tensione di uscita è praticamente zero. Più alta è la frequenza della tensione d'ingresso, più l'induttore si opporrà al cambiamento della corrente e meno successo avrà la tensione di ingresso a inviare corrente nel circuito. Come risultato, per frequenze di ingresso elevate, attraverso la resistenza cadrà pochissima tensione (poiché $V_R = I \times R$ e I è molto bassa), pertanto la maggior parte della tensione d'ingresso cadrà attraverso l'induttore e la tensione di uscita sarà praticamente la stessa della tensione d'ingresso.

Questo circuito RL è configurato come un *filtro passa-alto*, in quanto "consente" ai segnali di ingresso ad alta frequenza di "passare" verso l'uscita, bloccando invece la corrente continua e le basse frequenze e impedendone il passaggio.

Se invertite i ruoli della resistenza e dell'induttore nella [Figura 5.5](#) e definite la tensione di uscita come la caduta di tensione attraverso la resistenza, ottenete un *filtro passa-basso*. Per le basse frequenze, poiché l'induttore si comporta sempre più come un corto, attraverso di esso non vi sarà una grande caduta di tensione, dunque praticamente tutta la tensione d'ingresso cadrà attraverso la resistenza; a frequenze più elevate, l'induttore si comporta sempre più come un circuito aperto, consentendo il passaggio di sempre meno corrente attraverso la resistenza, in modo che la tensione di uscita sia notevolmente *attenuata*.

Calcolo della costante temporale RL

Potete calcolare la quantità di tempo (in secondi) necessaria perché la tensione indotta dall'induttore raggiunga approssimativamente i due terzi del proprio valore utilizzando la costante temporale RL, T. La formula ha il seguente aspetto:

$$T = L/R$$

Come la costante temporale RC (di cui abbiamo parlato nel [Capitolo 4](#)) dà un'idea di quanto tempo è necessario perché il condensatore si carichi a piena capacità, così la costante temporale RL aiuta a conoscere quanto tempo è necessario perché un induttore conduca completamente una corrente continua: la corrente continua si adagia su un valore fisso dopo circa cinque costanti temporali RL. Potete anche utilizzare la costante temporale RL per calcolare la *frequenza di taglio del filtro* (la frequenza alla quale un filtro inizia a influenzare il segnale di ingresso) nel seguente modo:

$$\begin{aligned} F_c &= (2 \times \pi \times T)^{-1} \\ &= (2 \times \pi \times L)^{-1} \end{aligned}$$

Ora introduciamo l'impedenza!

Come abbiamo già detto in precedenza in questo capitolo, l'opposizione che

offre un induttore al cambiamento della corrente è chiamata reattanza induttiva, così come l'opposizione di un condensatore a ogni variazione di corrente è chiamata reattanza capacitiva ([Capitolo 4](#)). Sebbene la reattanza e la resistenza offrano entrambe un'opposizione alla corrente alternata, non sono la stessa cosa: la resistenza è costante su tutte le frequenze, mentre la reattanza varia con la frequenza. Nei circuiti che oppongono *reattanza e resistenza*, per esempio, il circuito RL della [Figura 5.5](#), potete dover conoscere l'opposizione totale alla corrente alternata nel circuito per un segnale di ingresso a una determinata frequenza.



Sia la resistenza sia la reattanza vengono misurate in ohm e dunque potreste pensare che basti sommare la reattanza induttiva, X_L , e la resistenza, R , per ottenere l'opposizione totale alla corrente (come per una somma di due resistenze), mentre ciò non è possibile. Il motivo per cui non è possibile ha a che fare con il tempo necessario per un induttore (e analogamente per un condensatore) per reagire ai cambiamenti in atto nel circuito. La buona notizia è che esiste un modo per calcolare l'opposizione totale alla corrente in un circuito a una determinata frequenza.



L'*impedenza* è l'opposizione totale offerta da un circuito alla variazione della corrente per una determinata frequenza. È analoga alla resistenza di un circuito puramente resistivo, di quelli trattati nel [Capitolo 3](#), tenendo in considerazione tutte le singole resistenze del circuito. Per rappresentare l'impedenza si utilizza il simbolo Z . L'impedenza tiene conto della resistenza totale e della reattanza totale di un circuito.

Potete calcolare l'impedenza totale di un circuito in serie RL utilizzando la seguente formula:

$$Z_L = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Analogamente, per un circuito in serie RC, l'impedenza totale è:

$$Z_C = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Dunque come si *applicano*, in pratica, queste formule così complesse? Se volete utilizzare la Legge di Ohm per calcolare la corrente attraverso una serie di circuiti RL o RC quando si applica un segnale di ingresso di una determinata frequenza, potete calcolare l'impedenza totale del circuito a tale frequenza e poi applicare la Legge di Ohm, utilizzando l'impedenza per calcolare il valore di picco della corrente che attraversa il circuito per quella specifica frequenza:

$$I_{\text{picco}} = \frac{V_{\text{picco}}}{Z_L}$$

Se avete un circuito con una resistenza, un condensatore e un induttore tutti in serie (un *circuito RLC*), la formula per le impedenze diventa più complicata, poiché la reattanza totale del circuito (X_T) è la *differenza* fra la reattanza induttiva, X_L , e la reattanza capacitiva, X_C ($X_T = X_L - X_C$). Per una disposizione parallela delle resistenze e degli induttori o delle resistenze e dei condensatori, la formula per l'impedenza è ancora più complessa, ma in questo libro non ce ne occuperemo.

Sintonizzarsi sulle stazioni radio

Gli induttori sono filtri passa-basso naturali e i condensatori sono filtri passa-alto naturali, pertanto che cosa accade quando vengono collocati insieme nello stesso circuito? Come potete immaginare, gli induttori e i condensatori vengono frequentemente utilizzati insieme nei circuiti di sintonia per sintonizzare le frequenze di una determinata stazione radio.

Risunano i circuiti RLC

Osservate il circuito RLC rappresentato nella [Figura 5.6](#). L'impedenza totale di questo circuito può essere calcolata utilizzando la seguente formula, davvero spaventosa:

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \end{aligned}$$

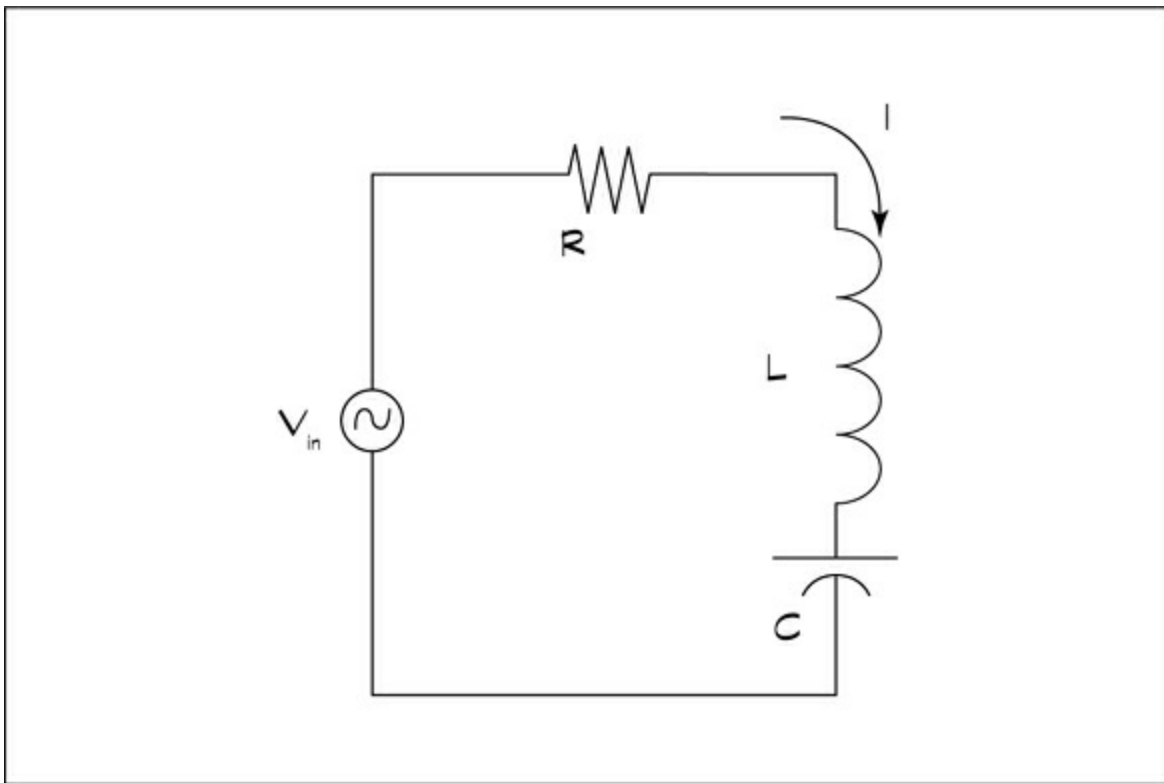


Figura 5.6 Un circuito RLC ha una specifica frequenza di risonanza, in cui la reattanza totale è pari a 0.

Ma non preoccupatevi troppo per il suo aspetto. Considerate una cosa su tale formula: se $X_L = X_C$, allora l'impedenza totale si riduce alla radice quadrata di R^2 , ovvero, semplicemente R , la resistenza. In altre parole, quando $X_L = X_C$, la reattanza induttiva e la reattanza capacitiva si annullano

vicendevolmente; è come se nel circuito ci fosse solo la resistenza. Questa situazione si verifica esattamente a una frequenza, detta *frequenza di risonanza*. La frequenza di risonanza è quella frequenza, f , che rende $X_L = X_C$ per una determinata combinazione di induttanza (L) e capacitanza (C).

Qual è, dunque, il significato della frequenza di risonanza? A questa frequenza si verifica qualcosa di speciale che non avviene, invece, in altre frequenze. Alle frequenze che si trovano sopra o sotto la frequenza di risonanza, esiste sempre una certa reattanza nel circuito, cui si somma l'opposizione della resistenza al flusso della corrente. Per frequenze molto basse, il condensatore esibisce un'elevata reattanza; per frequenze molto elevate, l'induttore esibisce un'elevata reattanza. Pertanto, per segnali a bassa frequenza, i condensatori abbattano il flusso della corrente; per le frequenze elevate, l'induttore abbatte il flusso della corrente. Alla frequenza di risonanza, la reattanza generale è 0 e sembra che solo la resistenza si opponga al flusso della corrente. Si dice che il circuito *risuona* a una determinata frequenza e dunque si parla di *circuito risonante*. La [Figura 5.7](#) è un grafico delle frequenze, che mostra il passaggio della corrente attraverso il circuito; notate che il picco di corrente si presenta alla frequenza di risonanza.

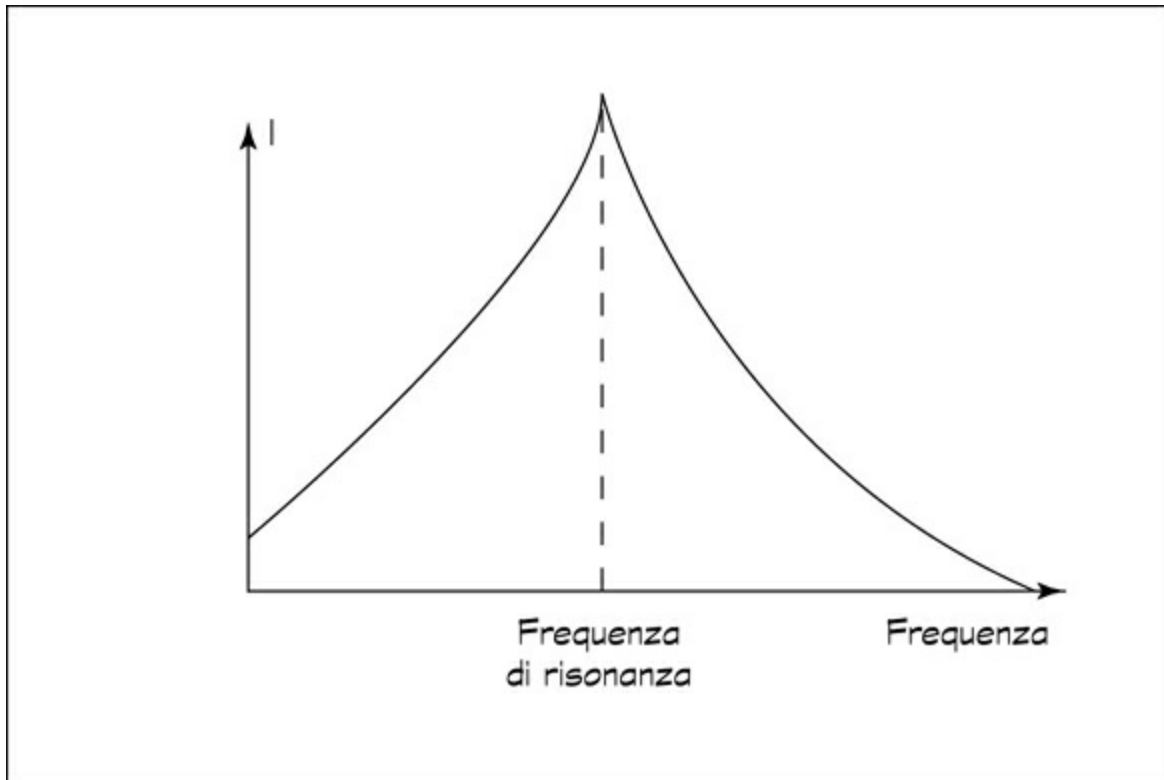


Figura 5.7 La corrente in un circuito RLC in serie è più elevata alla frequenza di risonanza.

I sintonizzatori radio utilizzano circuiti RLC per consentire il passaggio di una sola frequenza. Questa operazione è chiamata “sintonia” della frequenza e il circuito è chiamato *circuito di sintonia*. Un condensatore variabile consente di regolare la frequenza di risonanza in modo da potersi sintonizzare sulle varie stazioni emittenti, ovvero su frequenze differenti. La manopola che consente di cambiare la capacitance è accessibile dall’esterno della radio e si chiama Sintonia.

Cambiando un po’ la posizione dei componenti, ovvero collocando l’induttore in parallelo con il condensatore, si crea un circuito che produce invece *minima* corrente alla frequenza di risonanza. Questa specie di circuito anti-risonante, “elimina” tale frequenza, consentendo il passaggio di tutte le altre e viene utilizzato per creare *filtro blocca banda*. Questi circuiti vengono impiegati per eliminare il ronzio a 50 Hz che gli apparecchi elettronici possono captare dalle linee di alimentazione.

Garantire la massima precisione di risonanza con i cristalli



Questo è il simbolo circuitale di un cristallo, abbreviato con XTAL. Se tagliate a fettine un cristallo di quarzo nel modo corretto, gli applicate due terminali e racchiudete il tutto in un involucro sigillato, avete creato un componente che si comporta come i componenti RLC di un circuito RLC, che risuona a una specifica frequenza. I *cristalli di quarzo*, o semplicemente *cristalli*, vengono impiegati nei circuiti per generare un segnale elettrico a una frequenza molto precisa.

I cristalli funzionano grazie all'effetto *piezoelettrico*: se applicate una tensione appropriata a un cristallo di quarzo, questo inizierà a vibrare a una specifica frequenza, chiamata frequenza di risonanza. Quando smettete di applicare la tensione, il cristallo continua a vibrare fino a tornare alla forma precedente. Mentre vibra, genera una tensione alla frequenza di risonanza.

Magari conoscete i pick-up piezoelettrici per chitarre, che utilizzano cristalli per convertire le vibrazioni meccaniche generate dalle corde della chitarra in segnali elettrici, che vengono poi semplificati. E se siete nati prima dell'era dei CD, vi interesserà sapere che le puntine dei giradischi utilizzavano l'effetto piezoelettrico per convertire in energia elettrica le ondulazioni tracciate tramite i solchi dei dischi di vinile.

La frequenza alla quale risuona un cristallo dipende dallo spessore e dalle dimensioni e si possono trovare cristalli con frequenze di risonanza che vanno da poche decine di kHz ad alcune decine di MHz. I cristalli sono più precisi e affidabili rispetto alle combinazioni di condensatori e induttori, ma hanno un problema. Normalmente sono più costosi. I cristalli vengono pertanto impiegati in circuiti chiamati oscillatori per generare segnali elettrici a una frequenza molto precisa. Gli oscillatori sono responsabili dei tic-tac degli orologi al quarzo e dei circuiti integrati digitali (ne parleremo nel [Capitolo 7](#)) e della precisione degli apparecchi radio.

I cristalli di quarzo sono precisi a un livello dello 0,001% rispetto alla frequenza di risonanza (ecco perché costano di più!); potreste aver sentito parlare anche di risuonatori ceramici, che si comportano allo stesso modo, ma costano meno e non sono altrettanto precisi. I risuonatori in ceramica hanno una tolleranza della frequenza pari allo 0,5%, ovvero l'effettiva frequenza di risonanza può variare dello 0,5% in più o in meno rispetto alla frequenza dichiarata; pertanto vengono utilizzati in molti dispositivi di elettronica di consumo come apparecchi televisivi, videocamere e giocattoli.

Influenze fra avvolgimenti: i trasformatori

Gli induttori utilizzati nei circuiti di sintonia sono schermati in modo che il campo magnetico che producono non interagisca con gli altri componenti del circuito. Gli avvolgimenti non schermati vengono talvolta collocati uno in fianco all'altro con l'esplicito scopo di far interagire i rispettivi campi magnetici. In questa parte finale del capitolo vedremo come possono interagire gli avvolgimenti non schermati e come si possono sfruttare queste interazioni per fare qualcosa di utile, impiegando un dispositivo elettronico chiamato trasformatore.

Interazioni fra avvolgimenti non schermati

Quando mettete due avvolgimenti non schermati uno in prossimità dell'altro, il campo magnetico variabile generato dal passaggio della corrente alternata attraverso un avvolgimento induce una tensione in tale bobina, *ma anche nell'altra*. Il termine utilizzato per descrivere l'effetto di indurre una tensione in un'altra bobina è *induttanza reciproca*, mentre il termine *auto-induttanza* fa riferimento all'effetto di indurre una tensione nella stessa bobina che ha prodotto il campo magnetico variabile. Più vicini sono gli avvolgimenti, più intensa sarà l'interazione. L'induttanza reciproca può sommarsi o opporsi all'auto-induttanza di ciascun avvolgimento, a seconda del modo in cui si avvicinano i poli nord e sud degli induttori.

Se nel circuito avete un avvolgimento non schermato e lo collocate in

prossimità dell'avvolgimento non schermato di un altro circuito, gli avvolgimenti inizieranno a interagire. Facendo passare una corrente attraverso un avvolgimento, potete indurre una tensione nell'altro avvolgimento, anche se si tratta di circuiti distinti, non connessi. Si parla di *azione di trasformazione*.



Un *trasformatore* è un dispositivo elettronico costituito da due avvolgimenti attorno allo stesso nucleo, in modo da massimizzare l'induttanza reciproca. La corrente che attraversa un avvolgimento, chiamato *primario*, induce una tensione nell'altro avvolgimento, chiamato *secondario*. Lo scopo di un trasformatore è quello di trasferire energia elettrica da un circuito a un altro.

Il simbolo del circuito per un trasformatore a nucleo d'aria e un trasformatore a nucleo solido, sono presentati nella [Figura 5.8](#).

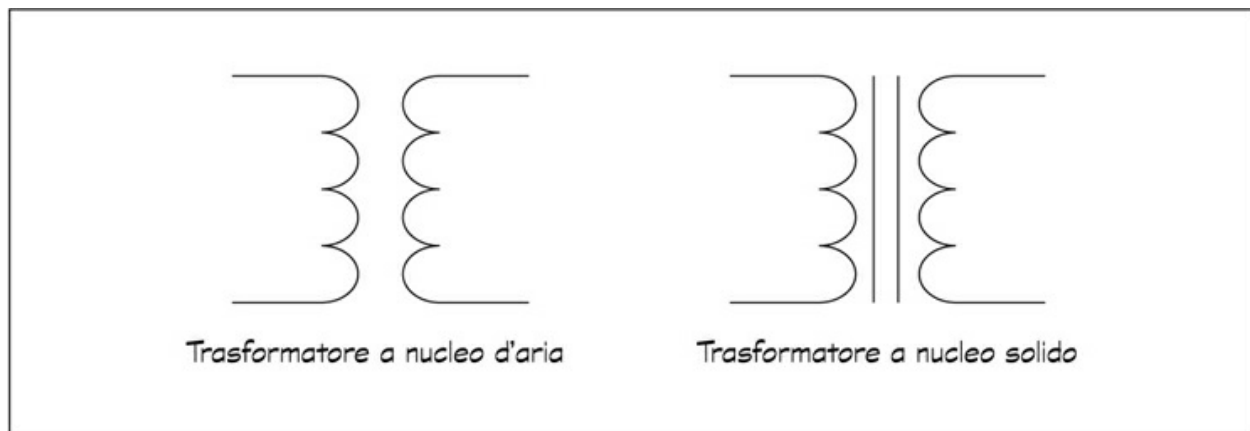


Figura 5.8 Simboli circuitali per un trasformatore ad aria e uno a nucleo solido.

Isolare i circuiti da una fonte di alimentazione

Se il numero di spire di cavo elettrico nell'avvolgimento primario di un trasformatore equivale al numero di spire nell'avvolgimento secondario, teoricamente, tutta la tensione del primario verrà indotta nel secondario. Si

parla di *trasformatore 1:1*, poiché esiste una relazione 1-a-1 fra i due avvolgimenti. In realtà, nessun trasformatore è perfetto, *esente da perdite*, e una parte dell'energia elettrica si perde in questa trasformazione.

I trasformatori 1:1 sono anche chiamati *trasformatori di isolamento* e vengono comunemente utilizzati per separare elettricamente due circuiti, consentendo alla potenza di un segnale in corrente alternata di passare da una parte a un'altra. Il primo circuito, in genere, contiene la fonte di alimentazione, mentre il secondo, in genere, contiene il carico. Nel [Capitolo 1](#), abbiamo definito il carico come la destinazione dell'energia elettrica, o ciò su cui si vuole operare, per esempio la membrana di un altoparlante. Potete voler isolare i circuiti per ridurre il rischio di scosse elettriche o per impedire a un circuito di interferire con un altro.

Innalzamento e riduzione della tensione

Se il numero di spire nell'avvolgimento primario di un trasformatore non coincide con quello dell'avvolgimento secondario, la tensione indotta nel secondario sarà differente rispetto a quella che circola nel primario. Le due tensioni saranno proporzionali l'una all'altra, dove la proporzione è data dal rapporto fra il numero di spire nel secondario e il numero di spire nel primario, come segue:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

Nell'equazione, V_S è la tensione indotta nel secondario, V_P è la tensione nel primario, N_S il numero di spire nel secondario e N_P il numero di spire nel primario.

Supponiamo, per esempio, che il secondario sia costituito da 200 spire di cavo, il doppio del primario, costituito da solo 100 spire di cavo. Se applicate al primario una tensione in corrente alternata con valore di picco di 50 V, la tensione di picco indotta al secondario sarà di 100 V, il doppio. Questo tipo di trasformatore è chiamato *trasformatore elevatore* della tensione, poiché

aumenta la tensione dal primario al secondario.

Se invece il secondario è costituito da 50 spire di cavo e il primario da 100 spire, lo stesso segnale in corrente alternata applicato allo stesso primario ha un risultato differente: la tensione di picco sul secondario sarà di 25 V, la metà della tensione del primario. Si parla quindi di un *trasformatore riduttore*, per ovvi motivi.

In entrambi i casi, la potenza applicata all'avvolgimento primario viene trasferita al secondario. Poiché la potenza è il prodotto della tensione per la corrente ($P = V \times I$), la corrente indotta nell'avvolgimento secondario è inversamente proporzionale alla tensione indotta nel secondario. Pertanto un trasformatore elevatore aumenta la tensione, riducendo la corrente, e un trasformatore riduttore riduce la tensione, aumentando però la corrente.

I trasformatori elevatori e riduttori della tensione vengono utilizzati nei sistemi elettrici di trasmissione dell'alimentazione. L'elettricità generata in una centrale elettrica viene innalzata a tensioni di 110 kV (1 kV = 1.000 V) o più, trasportata per lunghe distanze verso una sottostazione e poi riportata a tensioni più basse, adatte per la distribuzione ai clienti.

Capitolo 6

Il grande mondo dei semiconduttori

In questo capitolo

Che cosa c'è in un semiconduttore.

Unire due o più semiconduttori per creare diodi e transistor.

Far passare la corrente in un senso, ma non nell'altro, grazie ai diodi.

I transistor in azione.

Usare i transistor per creare piccoli interruttori.

Amplificare i segnali con i transistor.

I semiconduttori, in pratica, rappresentano il cuore di ogni sistema elettronico attualmente esistente, dai pacemaker alle navette spaziali. È sorprendente pensare che questi piccoli componenti abbiano reso possibili enormi avanzamenti in così tanti campi: medicina, esplorazione spaziale, automazione industriale, sistemi di intrattenimento domestici, sistemi di comunicazione e in un'infinità di altri campi.

I diodi e i transistor a semiconduttori possono essere realizzati in modo da condurre o bloccare la corrente elettrica, a seconda del modo in cui vengono controllati, elettricamente. Essi consentono di far passare il flusso di corrente in una direzione, ma non nella direzione opposta, e di amplificare segnali deboli, compiti che i componenti elettronici passivi non sono in grado di svolgere.

In questo capitolo scopriremo come funzionano i materiali semiconduttori,

mostrando come consentono di condurre corrente ed esplorando i modi con cui i semiconduttori possono essere combinati per creare diodi e transistor. Poi avrete un'idea del comportamento a “valvola”, dei diodi (e vedrete anche come sfruttare nei circuiti questa loro caratteristica); quindi scopriremo come funzionano i transistor e perché sono così diffusi. A questo punto avremo approntato tutto il necessario per comprendere le basi di tutta l'elettronica di oggi.

Essere, o non essere (conduttivi), questo è il dilemma

Fra i materiali isolanti e quelli conduttivi si situano quei materiali che non sembrano decidersi se trattenere i propri elettroni o lasciarli vagare liberamente. Questi *semiconduttori* si comportano come conduttori in determinate condizioni e come isolanti in altre, consentendo di sfruttare questa specifica capacità. Con un componente realizzato con materiali semiconduttori, come il silicio e il germanio, è possibile controllare con precisione il flusso dell'energia elettrica in una zona del dispositivo, regolando una tensione in un'altra zona del dispositivo.

Si usano diodi a semiconduttore per consentire il passaggio della corrente in una sola direzione, bloccandone il flusso nella direzione opposta: è il comportamento di una valvola. I transistor consentono di commutare il flusso degli elettroni (la corrente) e di regolare la potenza di una corrente più alta applicando una corrente più debole. Questa funzionalità di controllo della corrente rende possibili molte funzioni elettroniche complesse, fra cui l'amplificazione dei segnali elettrici, la *rettificazione* (conversione da corrente alternata a continua) e il controllo della corrente. Le dimensioni microscopiche e il minimo consumo di corrente dei dispositivi a semiconduttore consentono di inserire funzioni di controllo così complesse, in piccoli componenti a basso consumo, da rivoluzionare l'elettronica moderna.

Gli atomi del materiale semiconduttore si allineano in modo strutturato,

formando una trama molto regolare, tridimensionale, un cristallo, come indicato nella [Figura 6.1](#). Gli atomi del cristallo vengono mantenuti insieme da un particolare legame, il legame covalente, in cui ogni atomo condivide i propri elettroni più esterni (detti *elettroni di valenza*) con gli atomi adiacenti (un legame è sempre un'ottima cosa). È un po' come quando si condivide il pianerottolo o il vialetto con i vicini di casa. Ognuno si comporta come se queste “parti comuni” appartenessero a lui.

È proprio grazie a questo legame così amichevole e a questa condivisione degli elettroni che i cristalli di semiconduttori si comportano come isolanti nella maggior parte dei casi. Ogni atomo ritiene di avere più elettroni di valenza di quanti ne abbia in realtà e questi elettroni si comportano come se appartenessero a una grande famiglia di elettroni, non vedendo la necessità di vagare verso un altro atomo. Una situazione molto differente dal comportamento tipico di un atomo di un materiale conduttivo, che spesso ha un solo elettrone di valenza, il quale è molto libero di lasciare il proprio atomo e di vagare qua e là. Ma si può fare qualcosa a un materiale semiconduttore puro, e questo “qualcosa” ne cambia le proprietà elettriche: lo si può “drogare”, per ottenere comportamenti... “stupefacenti”. Ne parleremo fra poco.



La parte rimanente di questa sezione del capitolo è un'infarinatura di fisica dei semiconduttori. Si tratta di informazioni utili, ma se proprio non vi interessa per nulla conoscere il funzionamento dei semiconduttori, potete saltare al paragrafo “Un diodo a giunzione”, più avanti in questo capitolo, dove vedremo di cosa c'è bisogno per utilizzare i semiconduttori nei circuiti.

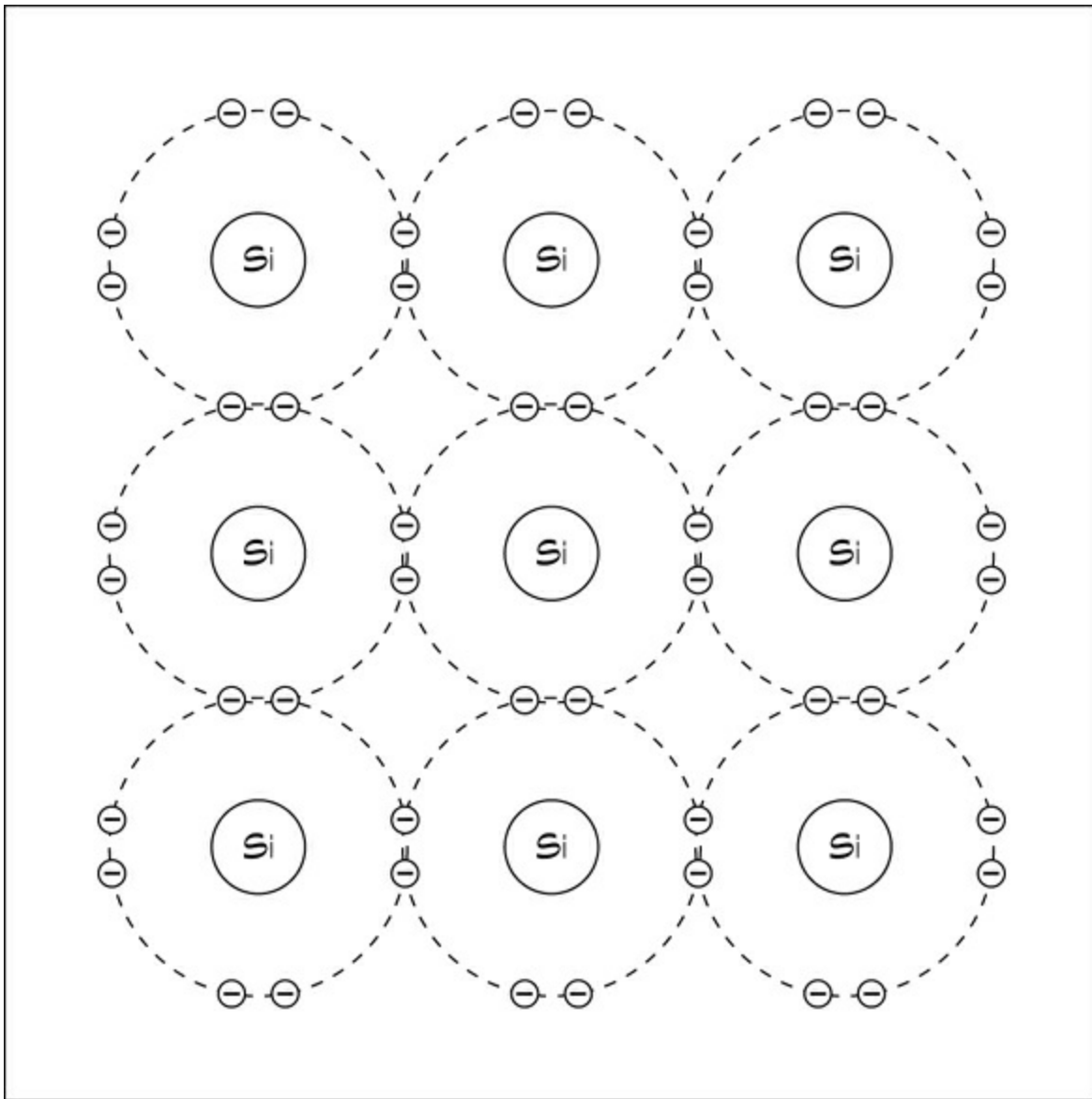


Figura 6.1 I materiali a semiconduttore, come il silicio, hanno forti legami covalenti, che uniscono gli atomi a formare una struttura cristallina.

Drogare i semiconduttori

Aggiungendo impurità (ovvero tipi di atomi differenti, non stiamo parlando di generica “sporcizia”...) a un materiale semiconduttore puro come il silicio, se ne alterano i legami. Questo processo è chiamato *drogaggio* e le impurità sono chiamate *droganti*. Per drogare il silicio puro, vengono comunemente utilizzati l’arsenico e il boro.

I droganti non sono “anabolizzanti”: sono atomi che tentano di dissimularsi fra gli atomi puri del cristallo, provando a legarsi con gli altri atomi, ma sono sufficientemente differenti da cambiare un po’ le cose. Per esempio, un atomo di arsenico ha un atomo esterno *in più* rispetto a un atomo di silicio. Quando aggiungete una piccola quantità di arsenico a un gruppo di atomi di silicio, ogni atomo di arsenico cerca di legarsi con gli atomi di silicio che lo circondano, lasciando vagare il suo elettrone “aggiuntivo” attraverso il cristallo. Anche se il materiale bloccato è elettricamente neutro, ora contiene alcuni elettroni “liberi”, che vagano senza meta e ciò rende il materiale più conduttivo. Drogando il silicio, ne alterate le proprietà elettriche: con l’aggiunta del drogante, il silicio diviene più conduttivo.

Un altro modo per drogare i semiconduttori consiste nell’utilizzare materiali come il boro. Un atomo di boro ha un elettrone di valenza *in meno* rispetto a un atomo di silicio. Per ogni atomo di boro aggiunto a un cristallo di silicio, ottenete un “foro” nella struttura cristallina dove dovrebbe trovarsi un elettrone esterno. Quando vi è una lacuna nella struttura, il legame che trattiene gli atomi insieme è così forte da “rubare” un elettrone da un altro atomo, per colmare la lacuna. Ciò però lascia una lacuna da qualche altra parte, che verrà riempita da un altro elettrone e così via. Potete immaginare che la lacuna si sposti all’interno del cristallo, come illustrato nella [Figura 6.2](#). In realtà, chi si muove sono gli elettroni circostanti, ma sembra che sia la posizione della lacuna a muoversi continuamente. Poiché ogni lacuna rappresenta un elettrone mancante, il movimento delle lacune ha lo stesso effetto del flusso di cariche positive.

Le impurità che liberano gli elettroni (cariche negative), consentendo loro di muoversi all’interno di un semiconduttore, sono chiamate *droganti donatori* e il semiconduttore drogato è chiamato *semiconduttore Tipo N*. Per esempio l’arsenico è un tipico drogante donatore.

Le impurità (come il boro) che aprono delle lacune (simil-cariche positive) che si muovono all’interno del semiconduttore sono chiamate *droganti accettori* e il semiconduttore drogato è chiamato *semiconduttore Tipo P*. Il boro è un tipico esempio di drogante accettore.

Combinare i tipi N e P per creare componenti

Se date tensione a un semiconduttore Tipo N o P, gli elettroni si spostano all'interno del materiale e la corrente scorre dalla tensione negativa verso la tensione positiva (per i semiconduttori Tipo P, il tutto è descritto come un movimento delle lacune dalla tensione positiva verso la tensione negativa).

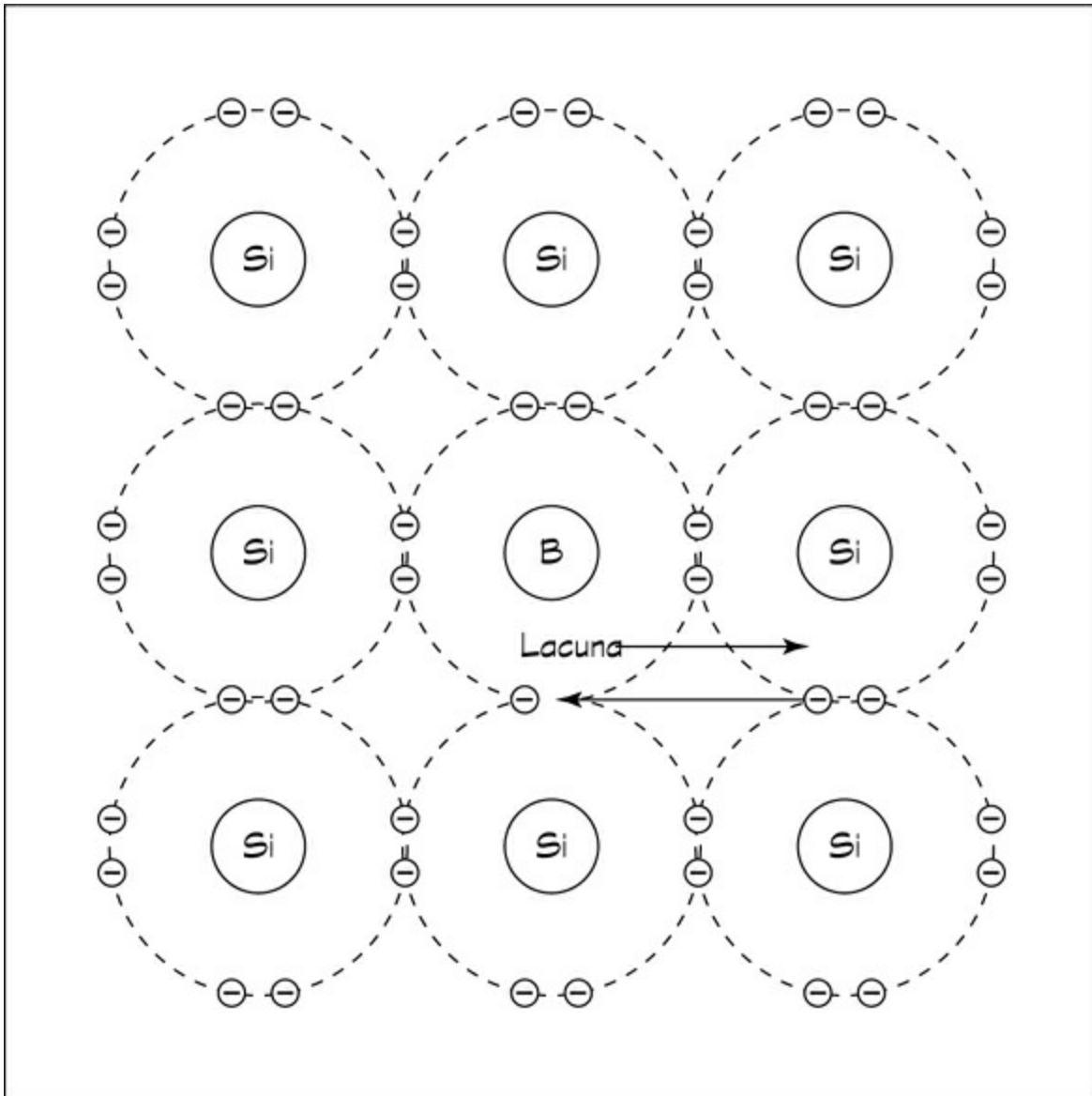


Figura 6.2 Ogni volta che un elettrone da un atomo confinante si sposta per riempire una lacuna in un legame covalente, l'impressione è che la lacuna si muova nella direzione opposta.

Finora tutto bene: i semiconduttori drogati si comportano come normali conduttori e avreste anche potuto utilizzare del comune cavo di rame per ottenere lo stesso effetto.

Le cose cominciano a complicarsi quando si uniscono insieme un semiconduttore Tipo N e uno Tipo P e si applica una tensione attraverso questa *giunzione pn*. Il fatto che la corrente scorra o no dipende dal modo in cui si applica la tensione. Se si connette il terminale positivo di una batteria al materiale Tipo P e quello negativo al materiale Tipo N, la corrente scorrerà (sempre che la tensione applicata superi un certo minimo). Ma se si inverte la batteria, la corrente non scorrerà (a meno che si applichi una tensione veramente alta).

Esattamente, il modo in cui questi semiconduttori Tipo N e P vengono combinati determina quale tipo di dispositivo a semiconduttore essi diverranno e il modo in cui consentiranno o meno il passaggio della corrente quando viene applicata della tensione. La giunzione pn è alla base dell'elettronica a stato solido, che prevede l'impiego di dispositivi elettronici costituiti da materiali *solidi*, statici, al posto di valvole o dispositivi dotati di parti in movimento (come i dischi meccanici e i nastri utilizzati per la memorizzazione delle informazioni di un computer). I semiconduttori hanno ormai quasi completamente soppiantato le valvole nei componenti elettronici.



Le giunzioni pn

Per comprendere appieno i motivi per cui la corrente scorre o non scorre applicando una tensione a una giunzione pn, è necessario approfondire un po' la fisica su cui si basa la giunzione. Non approfondiremo troppo le cose; basti sapere che tutto riguarda il modo in cui le lacune vengono spinte nel materiale Tipo P, gli elettroni vengono spinti nel materiale Tipo N e il modo in cui lacune ed

elettroni si combinano nella giunzione.

Anche senza applicare tensione esterna, si genera comunque una piccola differenza di tensione attraverso la giunzione. Questa tensione è provocata dalle lacune e dagli elettroni che si incontrano alla giunzione, che la attraversano e che si combinano (quando un elettrone riempie una lacuna). Ciò lascia una carica percepibile nell'area alle due estremità della giunzione: sul lato P della giunzione, la carica è negativa; sul lato N è positiva. Pertanto vi è una differenza di carica (dunque una piccola tensione) attraverso la giunzione. Tale tensione si oppone a un ulteriore flusso di lacune ed elettroni attraverso la giunzione.

Connettendo il terminale positivo di una batteria al materiale Tipo P e il terminale negativo della batteria al materiale Tipo N, si spingono le lacune attraverso il materiale Tipo P, verso la giunzione, e si spingono gli elettroni attraverso il materiale Tipo N, verso la giunzione. Se inviate una quantità sufficiente di questi due tipi di cariche attraverso la giunzione, supererete la piccola tensione che vi esiste già; le lacune la attraverseranno verso il materiale Tipo N e gli elettroni la attraverseranno verso il materiale Tipo P. La fonte di tensione esterna continua a spingere le cariche verso la giunzione, in modo che le cariche continuino ad attraversarla. L'effetto totale del fatto che le lacune si spostano da una parte e gli elettroni si spostano nella direzione opposta è la corrente. La corrente convenzionale (movimento di cariche positive) si sposta dal terminale positivo della batteria attraverso materiali Tipo P, attraverso la giunzione e attraverso il materiale Tipo N, dirigendosi verso il terminale negativo della batteria.

Se connettete la batteria al contrario, il terminale negativo attrarrà le lacune di tale materiale Tipo P, allontanandole dalla giunzione e il terminale positivo attrarrà gli elettroni da materiali Tipo N, allontanandoli dalla giunzione. Ciò, in pratica, rafforza la tensione già esistente attraverso la giunzione, rendendo ancora più complicato il flusso della corrente. Se la tensione applicata esternamente è sufficientemente elevata, alla fine la corrente potrà passare, nella

direzione opposta attraverso la giunzione. La tensione in cui ciò si verifica è chiamata *tensione breakdown a valanga* e proprio questo è il processo che fa funzionare un *diodo Zener*.

Un diodo a giunzione



Un *diodo a semiconduttori* è un componente elettronico a due contatti, costituito da un'unica giunzione pn. Di lato è rappresentato il simbolo circuitale del diodo. I diodi si comportano come valvole monodirezionali, che consentono il passaggio della corrente in una sola direzione quando viene loro applicata una tensione. Questa funzionalità è chiamata proprietà di *rettificazione*.

Il lato P della giunzione pn di un diodo è detto *anodo* e il lato N è detto *catodo*. Nel simbolo circuitale, rappresentato in alto, l'anodo è a sinistra e il catodo è a destra (nella direzione in cui punta la "freccia"). La maggior parte dei diodi consente il passaggio della corrente *dall'anodo verso il catodo* (i diodi Zener sono un'eccezione; per informazioni sfogliate più avanti in questo capitolo la parte "Regolare la tensione con i diodi Zener"). Potete immaginare la giunzione di un diodo come se fosse una collina e la corrente come una palla che state cercando di portare dall'altro lato della collina. È facile spingere la palla giù da una collina (dall'anodo al catodo) mentre è molto difficile spingerla su per il pendio (dal catodo verso l'anodo).

I diodi sono cilindrici, come le resistenze, ma sono molto meno colorati. La maggior parte dei diodi presenta una striscia o un contrassegno per indicare il catodo. La [Figura 6.3](#) mostra l'aspetto di alcuni diodi.

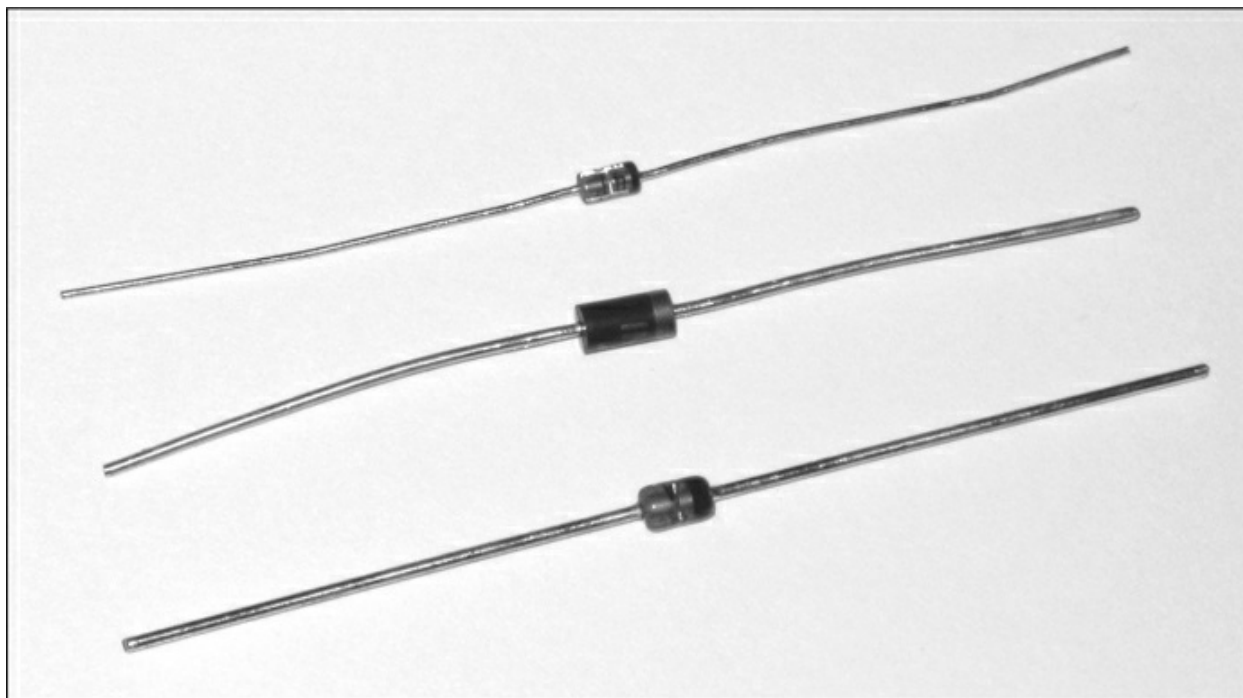


Figura 6.3 I diodi sono simili per forma e dimensioni alle resistenze, ma hanno una sola striscia, che indica il catodo.

Tensione al diodo

I componenti come i diodi e i transistor (di cui ci occuperemo più avanti in questo capitolo) non sono lineari: la relazione fra la tensione e la corrente in questi dispositivi non è costante, ma varia in base alla tensione e alla corrente. Non sono come le resistenze, che esibiscono una relazione lineare (costante) fra la tensione e la corrente.

Quando si applica una tensione al diodo (dall'anodo al catodo) questo consente il passaggio della corrente dall'anodo al catodo e blocca il passaggio della corrente nella direzione opposta. Queste due modalità operative di un diodo sono chiamate *polarizzazione diretta* (conduttivo) e *polarizzazione inversa* (non conduttivo).

Si *polarizza* un diodo (ovvero si fa in modo che conduca corrente) applicando una tensione positiva sufficientemente elevata dall'anodo al catodo, in modo che il diodo “si accenda” (conducendo corrente). Questa tensione minima di

accensione è chiamata *tensione di polarizzazione diretta* e il suo valore dipende dal tipo di diodo. Un tipico diodo al silicio ha una tensione di polarizzazione diretta di 0,6 – 0,7 V, mentre le tensioni di polarizzazione diretta per i LED (Light-Emitting Diode) vanno da 1,5 a 4,6 V (a seconda del colore). Controllate dunque i valori dei diodi che vi troverete a utilizzare nei circuiti. Quando il diodo è polarizzato direttamente, la corrente, chiamata *corrente diretta*, scorre con facilità attraverso la giunzione pn, dall'anodo verso il catodo. Potete incrementare la quantità di corrente che scorre attraverso il diodo (fino alla massima corrente che è in grado di sopportare), e la caduta di tensione di polarizzazione diretta non varierà di molto.

La [Figura 6.4](#) mostra un diodo polarizzato direttamente che consente il passaggio della corrente attraverso una lampada.

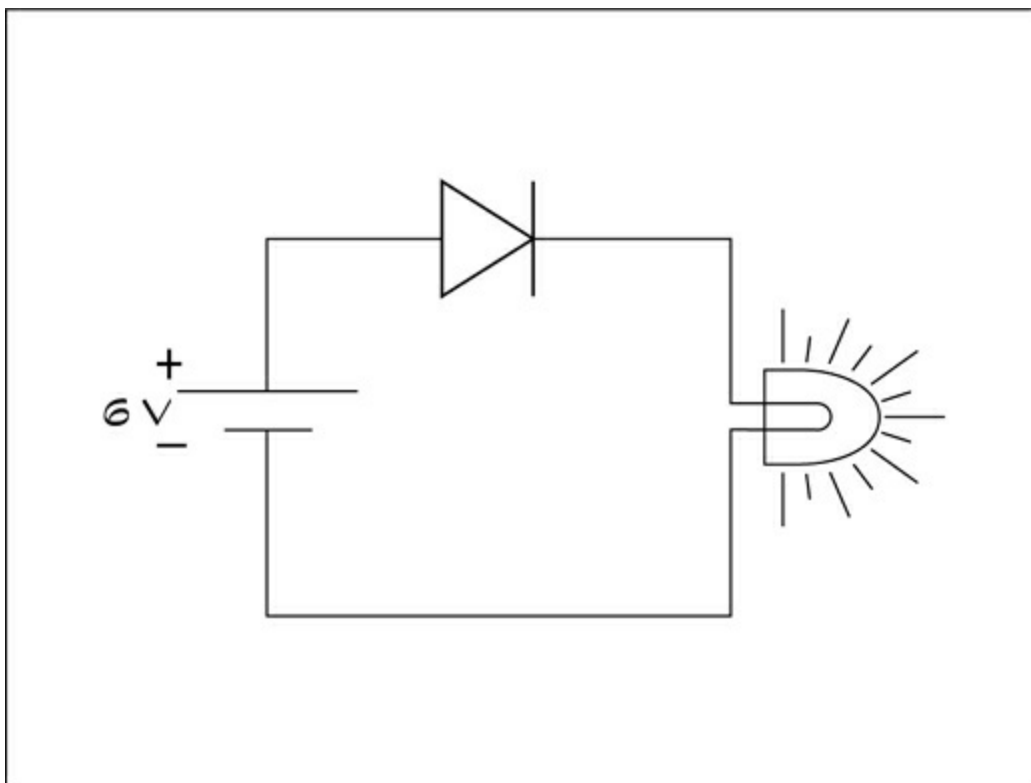


Figura 6.4 La batteria polarizza direttamente il diodo di questo circuito, consentendo il passaggio della corrente attraverso una lampada.

Si *polarizza inversamente* un diodo quando gli si applica una *tensione inversa*

(una tensione negativa dall'anodo verso il catodo), che impedisce il passaggio della corrente, come illustrato nella [Figura 6.5](#). In realtà, una piccola quantità di corrente, dell'ordine di qualche μA , passerà comunque. Se la tensione di polarizzazione inversa supera un determinato livello (normalmente 50 V o più), il diodo si “brucia” e la corrente inversa inizia a scorrere dal catodo verso l'anodo. La tensione inversa a cui il diodo brucia è chiamata *tensione inversa di picco* o semplicemente tensione di picco.



Normalmente non si polarizza inversamente un diodo (a meno che stiate utilizzando un diodo Zener, di cui parleremo nel paragrafo “Regolare la tensione con i diodi Zener”, più avanti in questo capitolo). Potete polarizzare inversamente un diodo in modo accidentale, montandolo invertito in un circuito (vedere il paragrafo “Quale estremità?” più avanti in questo capitolo), ma non preoccupatevi: ciò non danneggerà il diodo e basterà semplicemente invertirlo (ma se superate la sua tensione di picco, il diodo consentirà il passaggio di troppa corrente inversa, la quale può danneggiare altri componenti del circuito).

Se al diodo non viene applicata alcuna tensione o una tensione troppo bassa (minore della tensione di polarizzazione diretta), si dice che non è *polarizzato*. Questo significa semplicemente che non avete ancora messo in funzione il diodo.

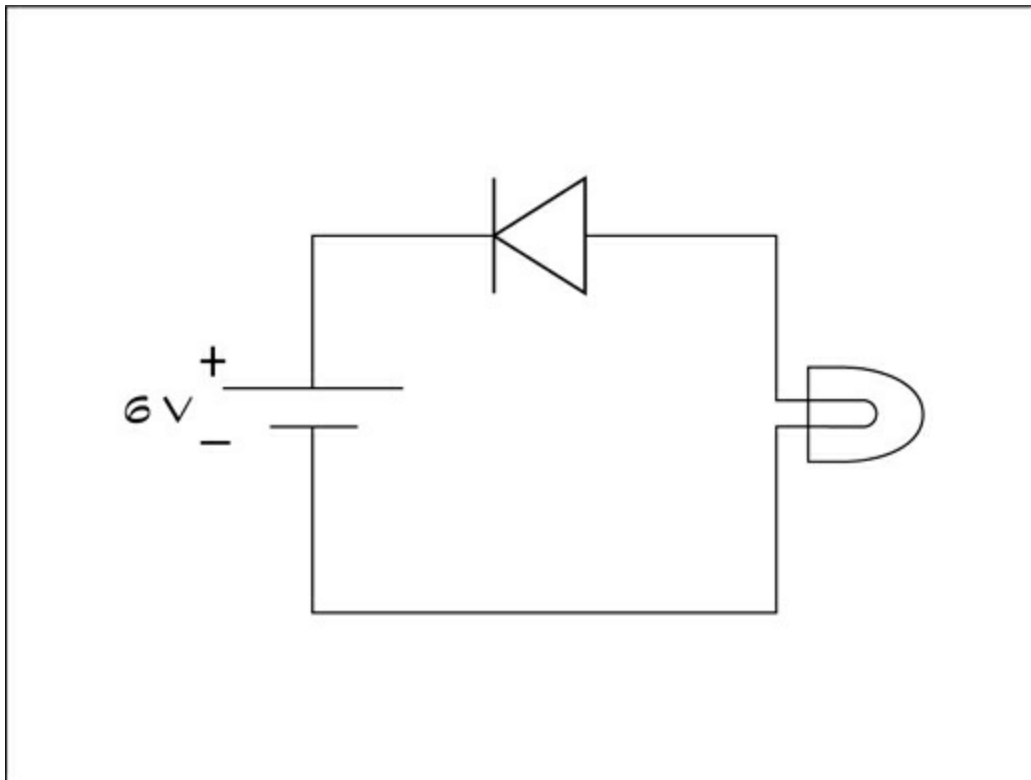


Figura 6.5 Poiché il diodo di questo circuito è polarizzato inversamente, si comporta come una valvola chiusa, bloccando il passaggio della corrente attraverso il circuito.

Condurre corrente attraverso un diodo

Dopo che la corrente inizia a scorrere attraverso il diodo, la caduta di tensione di polarizzazione diretta attraverso il diodo rimane piuttosto costante, anche aumentando la corrente diretta. Per esempio, la maggior parte dei diodi al silicio ha una tensione di polarizzazione diretta di circa 0,6 – 0,7 V su un'ampia gamma di correnti dirette. Se analizzate il circuito che contiene un diodo al silicio (come quello rappresentato nella [Figura 6.4](#)), potete presumere che la caduta di tensione attraverso il diodo sia di circa 0,7 V, anche incrementando la tensione di alimentazione da 6 a 9 V. Incrementando la tensione di alimentazione, incrementate la corrente attraverso il circuito, ma la caduta di tensione al diodo rimane la stessa, dunque l'incrementata tensione di origine viene assorbita dalla lampadina.



Naturalmente, ogni componente elettronico ha dei limiti. Se incrementate troppo la corrente che attraversa un diodo, genererete una grande quantità di calore nel diodo stesso. A un certo punto, tutto questo calore danneggerà la giunzione: fate attenzione a non scegliere una tensione di alimentazione troppo elevata.

Valutazione del diodo

La maggior parte dei diodi non reca particolari valori come le resistenze e i condensatori. Un diodo svolge semplicemente il compito nel controllare il flusso on/off degli elettroni, senza alterarne la forma o le dimensioni. Ma ciò non significa che tutti i diodi siano uguali. I diodi standard vengono valutati sulla base di due criteri principali: tensione inversa di picco e corrente. Questi criteri guidano nella scelta del diodo corretto per un determinato circuito, nel seguente modo.

- ✓ La **tensione inversa di picco** dice la massima tensione inversa che il diodo può sopportare prima di bruciarsi. Per esempio, se il diodo è valutato a 100 V, non lo si dovrebbe utilizzare in un circuito che applica al diodo tensioni superiori. I progettisti di circuiti lasciano un ampio margine sopra la tensione inversa di picco per considerare i picchi di tensione e altre condizioni limite. Per esempio, è pratica comune utilizzare un diodo rettificatore da 1000 V nei circuiti di alimentazione da 220 V di corrente alternata.
- ✓ La **tensione di esercizio** dice la massima corrente diretta che il diodo può sopportare senza subire danni. Un diodo da 3 A non può sopportare, in sicurezza, più di tale corrente senza surriscaldarsi e poi bruciarsi.

Identificazione dei diodi

La maggior parte dei diodi è identificata con codici a cinque o sei cifre che fanno parte di un sistema di identificazione standard. Le prime due cifre sono sempre “1N” per i diodi; il numero “1” specifica il numero di giunzione pn e la lettera “N” identifica i semiconduttori, mentre le rimanenti tre o quattro cifre indicano le specifiche caratteristiche del diodo. Un esempio classico è la serie di diodi rettificatori 1N40xx, dove xx può essere 00, 01 e così via, fino a 08. Vengono valutati a 1 A, con tensione inversa di picco che va da 50 a 1000 V, a seconda del numero xx. Per esempio, il diodo rettificatore 1N4001 è valutato a 1 A e 50 V e il diodo 1N4008 è valutato a 1 A e 1000 V. I diodi della serie 1N54xx hanno una valutazione da 3 A con tensione inversa di picco da 50 a 1000 V. Potete trovare con facilità queste informazioni su qualsiasi catalogo di componenti elettronici o sui dati di riferimento dei diodi, disponibile online (appositi *manuali* dicono quali componenti possono essere sostituiti con altri, qualora un componente specificato nello schema di un circuito non sia disponibile).



Per rendere le cose più “interessanti” (in realtà “complicate”), alcuni diodi utilizzano lo stesso schema di codifica delle resistenze, ma invece di specificare il valore (come nel caso delle resistenze), il codice a colori fornisce semplicemente il numero identificativo del semiconduttore. Per esempio, la sequenza di colori “marrone-arancio-rosso” indica la sequenza numerica “1-3-2” e dunque si tratta di un diodo al germanio 1N132 (per le corrispondenze colori/numeri fate riferimento alla tabella di codifica dei colori delle resistenze, presentata nel [Capitolo 3](#)).

Quale estremità?

Quando utilizzate un diodo in un circuito, è estremamente importante orientarlo nel modo corretto (ci torneremo fra un istante). La fascetta o il segno posto sul diodo corrisponde al tratto nel simbolo del circuito: indica il catodo, il terminale negativo del diodo.



Potete determinare le estremità di un diodo anche misurando la sua resistenza (prima di inserirlo nel circuito) con un ohmetro o un tester (ne parleremo nel [Capitolo 12](#)). Il diodo ha una resistenza bassa quando è polarizzato direttamente ed elevata quando è polarizzato inversamente. Applicando il puntale positivo dello strumento all'anodo e quello negativo al catodo, lo strumento esegue in pratica una polarizzazione diretta del diodo (poiché quando viene utilizzato per misurare la resistenza, il tester applica una piccola tensione attraverso i puntali). Potete misurare il diodo per due volte, applicando i puntali prima in un senso poi nel senso opposto. La misurazione più bassa indica la condizione di polarizzazione diretta.



I diodi sono come valvole monodirezionali, che consentono il passaggio della corrente in una direzione e non nella direzione opposta. Se collocate un diodo al contrario in un circuito, tale circuito o non funzionerà affatto (poiché non vi sarà passaggio di corrente) oppure correte il rischio di danneggiare alcuni componenti (poiché potreste superare la tensione inversa di picco e consentire il passaggio della corrente al contrario, tanto da danneggiare componenti come i condensatori elettrolitici). Prendete sempre nota dell'orientamento del diodo quando lo utilizzate in un circuito, verificando sempre di averlo orientato correttamente.

I diodi nei circuiti

Vi sono vari tipi di diodi a semiconduttore, progettati per varie applicazioni nei circuiti elettronici.

Rettificazione della corrente alternata

La [Figura 6.6](#) mostra un circuito con un diodo al silicio, una resistenza e una fonte di alimentazione in corrente alternata. Notate l'orientamento del diodo nel circuito: il suo anodo (estremità positiva) è connesso alla fonte di alimentazione. Il diodo conduce corrente quando viene polarizzato direttamente, ma non quando viene polarizzato inversamente. Quando la fonte in corrente alternata è positiva (e fornisce almeno 0,7 V al diodo in silicio polarizzato direttamente), il diodo conduce corrente; quando la fonte in corrente alternata è minore di 0,7 V, il diodo non conduce corrente. La tensione di uscita è una versione “tagliata” della tensione d'ingresso: solo quella porzione del segnale di ingresso è maggiore di 0,7 V raggiunge l'uscita.

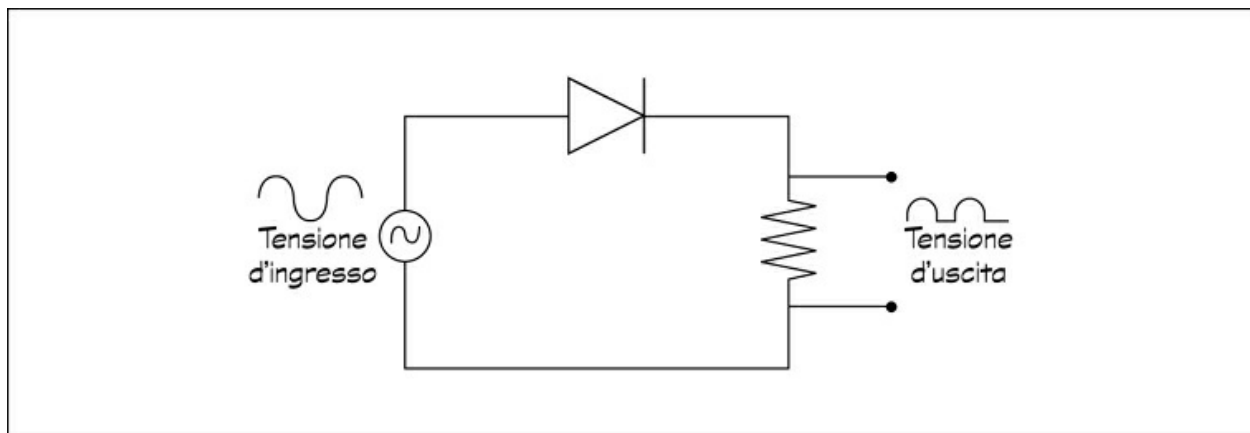


Figura 6.6 Il diodo in questo circuito “taglia” la metà negativa della tensione d'ingresso in corrente alternata.

Se l'orientamento del diodo viene invertito nel circuito, si verifica la situazione opposta: solo la parte negativa della tensione d'ingresso raggiungerà l'uscita.

- ✓ Quando la tensione d'ingresso è positiva, il diodo è polarizzato inversamente e la corrente non passa.
- ✓ Quando l'ingresso è sufficientemente negativo (almeno $-0,7$ V), il diodo è polarizzato direttamente e la corrente passa.



I diodi utilizzati in questo modo, per convertire la corrente alternata in corrente continua variabile (è corrente continua poiché la corrente passa in una sola direzione, ma non è una corrente costante), sono i *diodi rettificatori* o semplicemente *rettificatori*. Normalmente gestiscono correnti che vanno da parecchie centinaia di milliampere ad alcune ampere, potenze molto superiori rispetto a quanto i *diodi per segnali*, di utilizzo più generale, possono gestire (in genere correnti che vanno solo fino a circa 100 mA). I rettificatori vengono impiegati principalmente in due modi.

- ✓ **Rettificazione a semionda:** utilizzando un unico diodo rettificatore per tagliare un segnale in corrente alternata si parla di *rettificazione a semionda*, poiché il diodo converte in corrente continua solo metà del segnale in corrente alternata.
- ✓ **Rettificazione a doppia semionda:** disponendo quattro diodi in un circuito chiamato *rettificatore a ponte*, si possono convertire sia gli “alti” sia i “bassi” di una tensione in corrente alternata in soli “alti” (come indicato nella [Figura 6.7](#)). Questo processo, chiamato *rettificazione a doppia semionda*, è la prima fase della circuitazione di un *alimentatore lineare*, che converte l'alimentazione da corrente alternata a corrente continua.

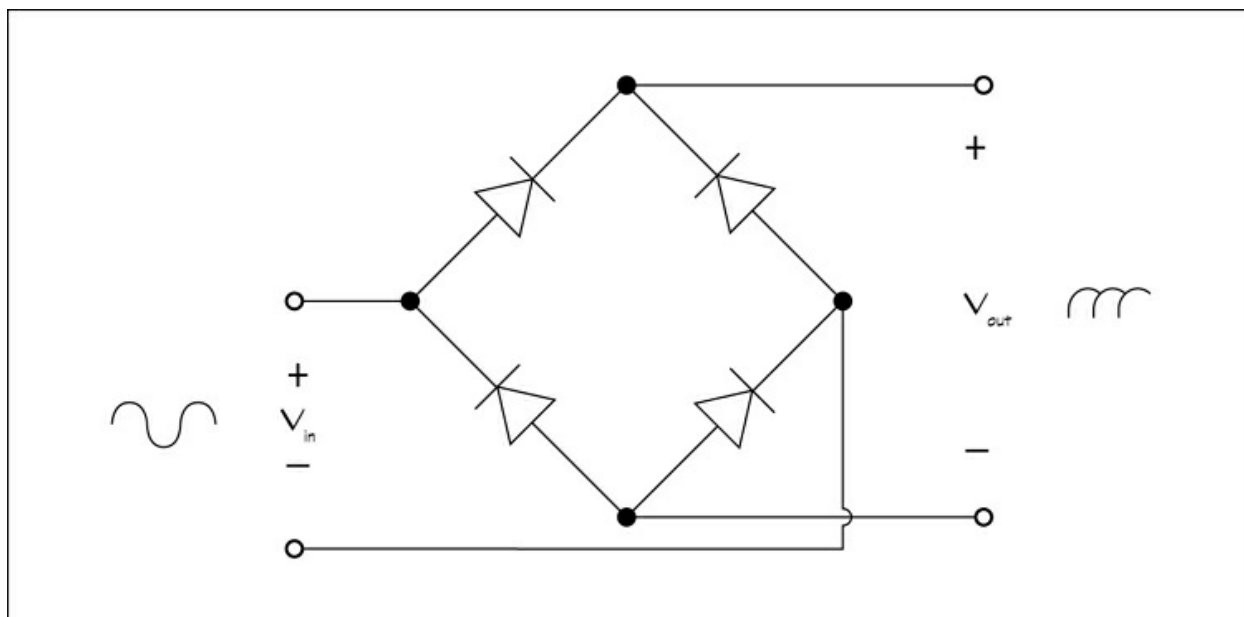


Figura 6.7 In un rettificatore a ponte, quattro diodi trasformano una corrente alternata in una corrente continua variabile.



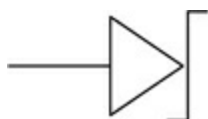
I rettificatori a ponte sono così diffusi che è possibile acquistarli come componenti a quattro terminali: due fungono da ingressi per la corrente alternata e due da uscite per la corrente continua.

Regolare la tensione con i diodi Zener

I *diodi Zener* sono particolari diodi fatti per cedere. Sono diodi fortemente drogati che cedono a tensioni molto più basse rispetto ai normali diodi. Quando si polarizza inversamente un diodo Zener, e la tensione che lo attraversa raggiunge e supera la sua tensione di breakdown, il diodo Zener, improvvisamente, inizia a condurre corrente all'inverso (dal catodo all'anodo). Se continuate a incrementare la tensione di polarizzazione inversa oltre il punto di breakdown, il diodo Zener continua a condurre sempre più corrente, mantenendo sempre una netta caduta di tensione.

Tenete in considerazione questi due importanti valori dei diodi Zener.

- ✓ La **tensione di breakdown**, chiamata comunemente *tensione Zener*, è la tensione di polarizzazione inversa che fa in modo che il diodo ceda e conduca corrente. Le tensioni di breakdown, che sono controllate in base al processo di drogaggio del semiconduttore, vanno da 2,4 V a centinaia di volt.
- ✓ Il **livello di potenza**, dice la massima potenza (tensione $\times$ corrente) che il diodo Zener può sopportare. Anche i diodi progettati per cedere possono bruciarsi *davvero* superando questo valore).



Il diodo Zener è rappresentato dal simbolo che vedete a lato.

Poiché i diodi Zener sono così efficaci nel mantenere una tensione di polarizzazione inversa costante, anche quando varia la corrente, vengono impiegati per regolare la tensione nei circuiti. Nel circuito rappresentato nella [Figura 6.8](#), per esempio, viene utilizzata un'alimentazione da 9 V in corrente continua per alimentare un carico e viene collocato un diodo Zener in modo che la fonte di alimentazione in corrente continua superi la tensione breakdown di 6,8 V (notate che questa tensione sta polarizzando inversamente il diodo). Poiché il carico è in parallelo con il diodo Zener, la caduta di tensione attraverso il carico è la stessa della tensione Zener, che è 6,8 V. La tensione di alimentazione rimanente viene eliminata dalla resistenza (che ha lo scopo di limitare la corrente che raggiunge il diodo, in modo da non superare la sua capacità).

Ecco la cosa più importante: se la tensione di alimentazione varia verso l'alto o verso il basso attorno al suo valore nominale di 9 V, la corrente nel circuito fluttua, *ma la tensione attraverso il carico rimane uguale*: 6,8 V costanti. Il diodo Zener ammette che rimangano fluttuazioni di corrente, stabilizzando invece la tensione, al contrario di una resistenza, che fa variare la tensione quando fluttua la corrente.

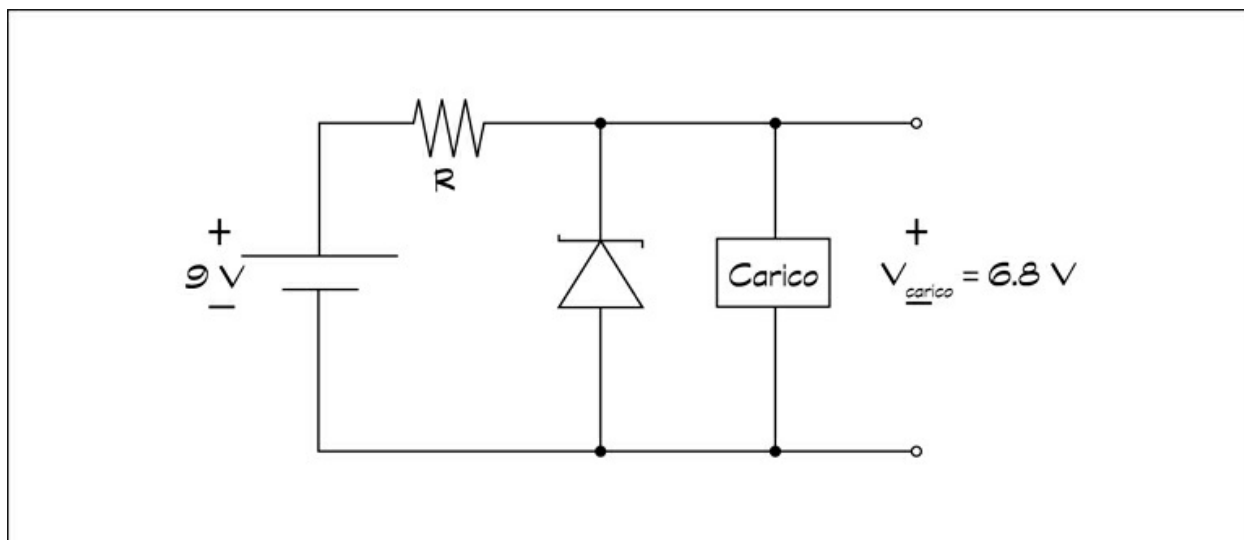
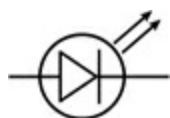


Figura 6.8 Il diodo Zener stabilizza la caduta di tensione ai due capi di questo carico.

Vedere la luce con i LED

Tutti i diodi rilasciano energia sotto forma di luce quando vengono polarizzati direttamente. La luce prodotta dai normali diodi al silicio è nella gamma degli infrarossi, che non è visibile agli esseri umani. I *LED a infrarossi (IR LED)* vengono comunemente utilizzati nei telecomandi per inviare “messaggi” invisibili ad altri dispositivi elettronici, come apparecchi TV o player DVD.

I *diodi LED* (visibili), invece, sono realizzati in modo da emettere una certa quantità di luce visibile. Variando i materiali a semiconduttori utilizzati, i diodi possono essere progettati per emettere luce rossa, gialla o verde ed esistono anche particolari LED che emettono luce blu e perfino bianca. I LED bicolori o tricolori contengono due o tre diodi distinti in un unico componente.



Quello rappresentato a lato è il simbolo circuitale di un LED. Il diodo di un LED è ospitato da una piccola cupola in materiale plastico, progettata per

concentrare la luce in una determinata direzione. Il piedino da connettere al catodo è più corto rispetto a quello da connettere all'anodo. A differenza delle normali lampadine a filamento incandescente, i LED sono più duraturi ed efficienti, non producono elevate temperature, raggiungono la luminosità massima immediatamente e durano molto più a lungo. I LED vengono comunemente utilizzati per le spie nei cruscotti delle automobili, per i computer e per gli apparecchi audio, come pure nelle sveglie digitali e in altri display. La [Figura 6.9](#) mostra l'aspetto di un LED monocolor.

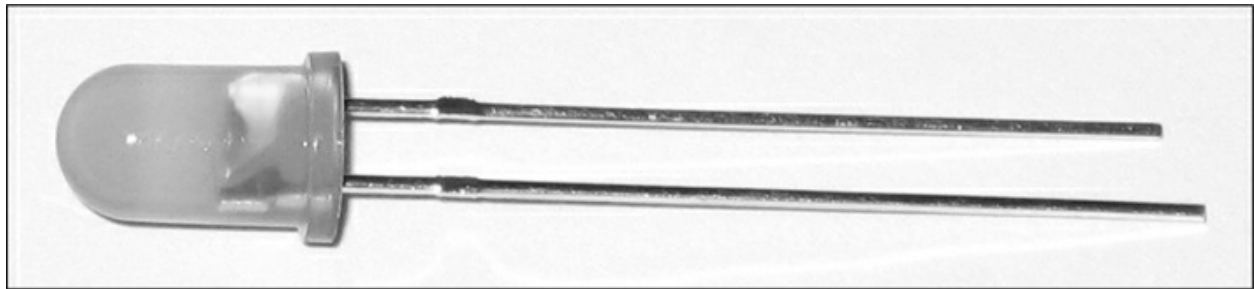


Figura 6.9 Il piedino più corto di un tipico LED monocolor va connesso al catodo.

I LED hanno le stesse specifiche dei diodi standard, ma normalmente hanno bassi valori di corrente e di tensione di polarizzazione inversa. Un tipico LED ha una tensione di polarizzazione inversa di circa 5 V, con una massima corrente di circa 50 mA. Se attraverso il LED passa più corrente rispetto al massimo specificato, il LED si brucia. Le tensioni di polarizzazione diretta variano, a seconda del tipo di LED, da 1,5 V per i LED a infrarossi fino a 4,6 V per i LED blu. I LED rosso, giallo e verde, in genere, hanno una tensione di polarizzazione diretta di circa 2,0 V. Verificate attentamente le specifiche dei LED che impiegate nei circuiti.



La corrente massima per un LED è normalmente indicata come la massima *corrente diretta*, che è differente dalla *corrente di picco* o *corrente d'impulso*. La corrente di picco/impulso, che è più elevata rispetto alla massima corrente diretta, è la corrente massima assoluta che può attraversare il LED per

brevissimi istanti. Qui con “brevissimi” si intende proprio... *brevissimi*, nell’ordine dei millisecondi. Se confondete la corrente diretta con la corrente di picco, molto probabilmente brucerete il vostro povero LED.



Non dovrete mai connettere direttamente un LED a una fonte di alimentazione o questo brucerà istantaneamente. Per proteggerlo, ponete una resistenza in serie con il LED, per limitare la corrente diretta. Per esempio, nel circuito rappresentato nella [Figura 6.10](#), viene utilizzata una batteria per alimentare un LED rosso. Il LED ha una tensione di polarizzazione diretta di 2,0 V e una corrente massima di 30 mA. La tensione attraverso la resistenza è la differenza fra tensione di alimentazione e la tensione di polarizzazione diretta del LED, ovvero $6\text{ V} - 2\text{ V} = 4\text{ V}$. La domanda è: quale resistenza limita la corrente a 30 mA (ovvero 0,030 A) o *meno* quando la tensione che attraversa la resistenza è di 4 V? Si applica la Legge di Ohm (di cui abbiamo parlato nel [Capitolo 3](#)) per calcolare il valore *minimo* della resistenza necessaria per mantenere la corrente sotto il livello massimo nel seguente modo:

$$\begin{aligned} R &= \frac{V_R}{I_{\max}} \\ &= \frac{4\text{ V}}{0,030\text{ A}} \end{aligned}$$

Molto probabilmente non troverete una resistenza esattamente del valore calcolato e dunque scegliete una resistenza standard con un valore appena *superiore* (per esempio 150 Ω) per limitare la corrente appena un po’ di più. Se invece scegliete un valore inferiore (per esempio 120 Ω), la corrente supererà il valore massimo.

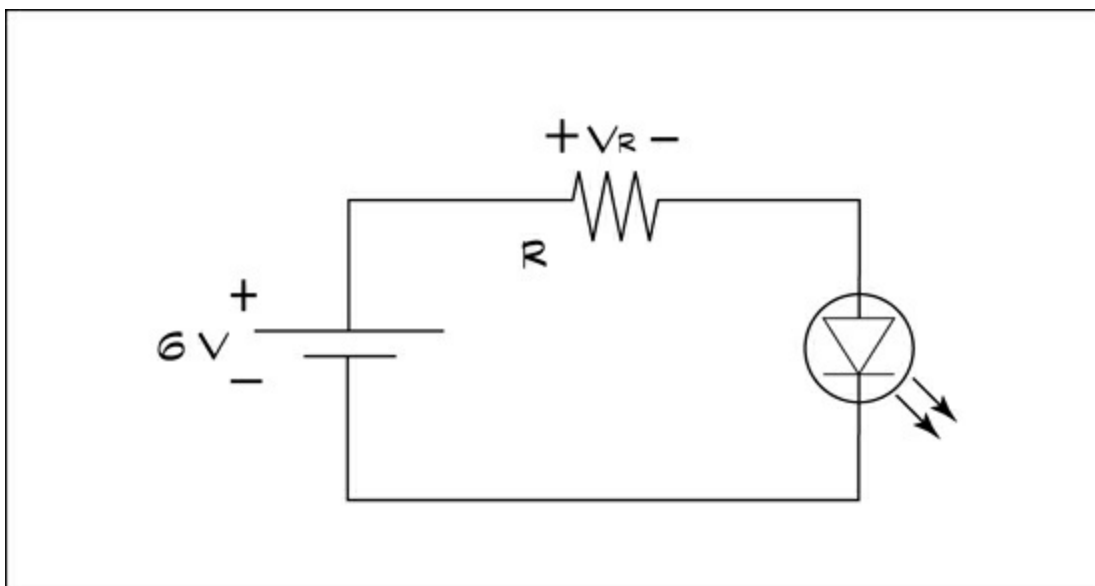


Figura 6.10 Fate attenzione a porre una resistenza in serie con il LED, per limitare la corrente che lo attraversa.

Altri usi dei diodi

Fra i molti usi dei diodi nei circuiti elettronici vi sono i seguenti.

- ✓ **Protezione dalle sovratensioni:** i diodi collocati in parallelo a una parte delicata di un circuito elettronico la proteggono dai picchi di tensione. Il diodo è collocato “all’inverso”, in modo che sia normalmente polarizzato inversamente, agendo come un circuito aperto e non giocando alcun ruolo nel normale funzionamento del circuito. Tuttavia, in caso di condizioni anormali del circuito, se si verifica un forte picco di tensione, il diodo diviene polarizzato direttamente, evitando così il passaggio di tensione attraverso il componente delicato e scaricando la corrente in eccesso a terra per evitare di danneggiarlo (il diodo, però, non sarà altrettanto fortunato).
- ✓ **Costruzione di porte logiche:** i diodi sono gli elementi di base per la realizzazione di particolari circuiti chiamati *logiche*, che elaborano i segnali costituiti unicamente dai due livelli di tensione utilizzati per

rappresentare informazioni binarie (on/off, alto/basso o 1/0) nei sistemi digitali. Ne riparleremo nel [Capitolo 7](#).

✓ **Commutazione di corrente:** i diodi vengono talvolta utilizzati nei sistemi di alimentazione di backup (UPS - Uninterruptible Power Supply) per evitare che in condizioni normali la corrente venga prelevata dalla batteria di supporto, e per far sì che la corrente venga tratta dalla batteria durante i blackout.

Il grande talento dei transistor

Chissà come sarebbe il mondo senza quel vero e proprio “mattoncino” dell’elettronica chiamato *transistor*. Un telefono cellulare avrebbe le dimensioni di una lavatrice e un computer portatile non entrerebbe in una stanza; l’iPod sarebbe ancora pura fantascienza nella mente di Steve Jobs.

Il transistor è il cuore di... praticamente ogni dispositivo elettronico presente al mondo: lavora silenziosamente senza occupare troppo spazio, genera una quantità limitata di calore e si rompe raramente. Considerati unanimemente come l’innovazione tecnologica più importante del Ventesimo secolo, i transistor sono stati sviluppati come un’alternativa alle valvole; queste ultime hanno permesso di realizzare vari sistemi elettronici, dai trasmettitori radio ai computer, ma avevano alcune caratteristiche indesiderabili. Grazie ai transistor a stato solido è stato possibile miniaturizzare l’elettronica; ciò ha permesso lo sviluppo di telefoni cellulari, iPod, sistemi GPS e molto altro ancora.

I transistor presenti negli apparecchi portatili di utilizzo quotidiano sono di dimensioni microscopiche, non hanno parti in movimento, sono molto affidabili e dissipano molta, molta potenza in meno rispetto ai loro predecessori a valvole. Normalmente svolgono due compiti chiave nei circuiti elettronici: commutano e amplificano. Se potete commutare il flusso degli elettroni, accendendolo o spegnendolo, avete il controllo sul flusso e potete realizzare circuiti molto complessi, incorporando piccoli interruttori esattamente dove servono. Se potete amplificare un segnale elettrico, potete

manipolare e trasmettere segnali deboli e poi amplificarli nel momento del bisogno per far accadere qualcosa (per esempio per far muovere la membrana di un altoparlante).

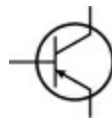
Vi sono vari tipi di transistor. I due tipi più comuni sono i seguenti:

- ✓ transistor di giunzione bipolare;
- ✓ transistor a effetto di campo.

I prossimi due paragrafi ne descrivono le caratteristiche.

Transistor a giunzione bipolare

I primi transistor a essere inventati sono stati i *transistor a giunzione bipolare* (BJT – Bipolar Junction Transistor), ampiamente impiegati dalla maggior parte degli hobbisti nei circuiti “fatti in casa”. I transistor a giunzione bipolare sono costituiti da due giunzioni pn, unite a formare un sandwich a tre livelli. I connettori del transistor sono chiamati *base*, *collettore* ed *emettitore*. Vi sono due tipi di transistor bipolare.



- ✓ **Transistor NPN:** un piccolo frammento di semiconduttore Tipo P viene collocato fra due frammenti più spessi di semiconduttori Tipo N e alle tre sezioni vengono connessi dei piedini. A lato è rappresentato il simbolo di un transistor NPN.



- ✓ **Transistor PNP:** un piccolo frammento di semiconduttore Tipo N viene collocato fra due frammenti più spessi di semiconduttori Tipo P e alle tre sezioni vengono connessi dei piedini. A lato è rappresentato il simbolo di un transistor PNP.



I transistor bipolari contengono essenzialmente due giunzioni pn: la giunzione base-emettitore e la giunzione base-collettore. Controllando la tensione applicata alla giunzione base-emettitore, controllate il modo in cui viene polarizzata la giunzione (diretta o inversa), controllando sostanzialmente il flusso della corrente elettrica attraverso il transistor. Esploreremo più in dettaglio il funzionamento dei transistor PNP nel paragrafo “Come funzionano davvero i transistor”, più avanti in questo capitolo.

I transistor a effetto di campo

I *transistor a effetto di campo* (FET – Field-Effect Transistor) sono costituiti da un canale di materiale semiconduttore Tipo N o P, attraverso il quale la corrente può scorrere, con un materiale differente (disposto attraverso una sezione del canale) che controlla la conduttività del canale. Un'estremità del canale è chiamata *source*, l'altra estremità è chiamata *drain* e il meccanismo di controllo è chiamato *gate*. Applicando una tensione al gate, controllate il flusso della corrente dall'origine al drain. I piedini sono connessi al source, al drain e al gate. Alcuni FET includono anche un quarto piedino, per poter mettere a terra una parte del FET sullo chassis del circuito (ma non confondete queste creaturine a quattro piedini con i *dual-gate MOSFET*, i quali hanno, anch'essi, quattro piedini).

I FET sono di due tipi, a canale N e a canale P, a seconda del tipo di materiale semiconduttore (rispettivamente Tipo N o P) attraverso cui passa la corrente. Vi sono due sottotipi principali di FET: *MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor FET)* e *JFET (Junction FET)*. Si distinguono per il modo in cui è realizzato il gate, il che porta, a sua volta, a proprietà elettriche differenti e utilizzi differenti. I dettagli della costruzione del gate non rientrano negli scopi di questo libro, ma dovrete almeno memorizzare il nome dei due tipi principali di FET.

I FET (in particolare i MOSFET) sono diventati molto più popolari rispetto ai transistor bipolari perché vengono impiegati nei circuiti integrati, di cui parleremo nel [Capitolo 7](#): qui migliaia di transistor collaborano fra loro per portare a termine un compito. Questo è dovuto al fatto che sono dispositivi di bassa potenza, la cui struttura consente di inserire migliaia di MOSFET a canale N e P insieme, stretti come “sardine” in unico frammento di silicio.



I FET sono molto delicati e una *scarica elettrostatica* può danneggiarli. Se acquistate dei FET, assicuratevi che vi vengano forniti in un apposito sacchetto o tubo antistatico e lasciateveli finché non vi capiterà di usarli. Per ulteriori informazioni sugli effetti dannosi delle scariche elettrostatiche, consultate il [Capitolo 9](#).

Utilizzo di un transistor

I transistor BJT e FET funzionano sostanzialmente allo stesso modo. La tensione applicata all'ingresso (*base* per un BJT o *gate* per un FET) determina il passaggio della corrente attraverso il transistor (dal collettore all'emettitore per un BJT e dal source al drain per un FET).

- ✓ Sotto una certa tensione, non passa alcuna corrente.
- ✓ Sopra una certa tensione, passa la massima corrente possibile.
- ✓ A livelli di tensione *intermedi*, passa un livello di corrente intermedio.

Nella modalità operativa “intermedia”, piccole fluttuazioni della corrente in ingresso producono grosse fluttuazioni della corrente in uscita. Consentendo solo le prime due possibilità di tensione in ingresso (come dire, “tutto o nulla”), utilizzate il transistor come un commutatore on/off per il flusso della corrente. Introducendo la terza possibilità, utilizzate il transistor come un amplificatore.



Un'analogia per comprendere come funziona un transistor (in particolare un FET): pensate a una conduttura che collega una sorgente (source) d'acqua a uno scarico (drain) con un rubinetto (gate) controllabile, posta in un determinato punto della conduttura, come indicato nella [Figura 6.11](#). Controllando il rubinetto (completamente chiuso, completamente aperto o parzialmente aperto), controllate il flusso dell'acqua dalla sorgente allo scarico. Potete predisporre un meccanismo di controllo per il rubinetto in due diversi modi: può agire come un interruttore on/off, aprendo o chiudendo completamente il flusso, senza livelli intermedi, oppure potete consentire un'apertura parziale, sulla base della forza esercitata sul rubinetto. Quando è parzialmente aperto, significa che avete aperto un po' il rubinetto, per consentire il passaggio di più o meno acqua dalla sorgente allo scarico; piccoli cambiamenti nella forza esercitata sul rubinetto creano cambiamenti analoghi, ma anche molto più intensi, nel flusso dell'acqua. Ecco perché un transistor può agire da amplificatore.

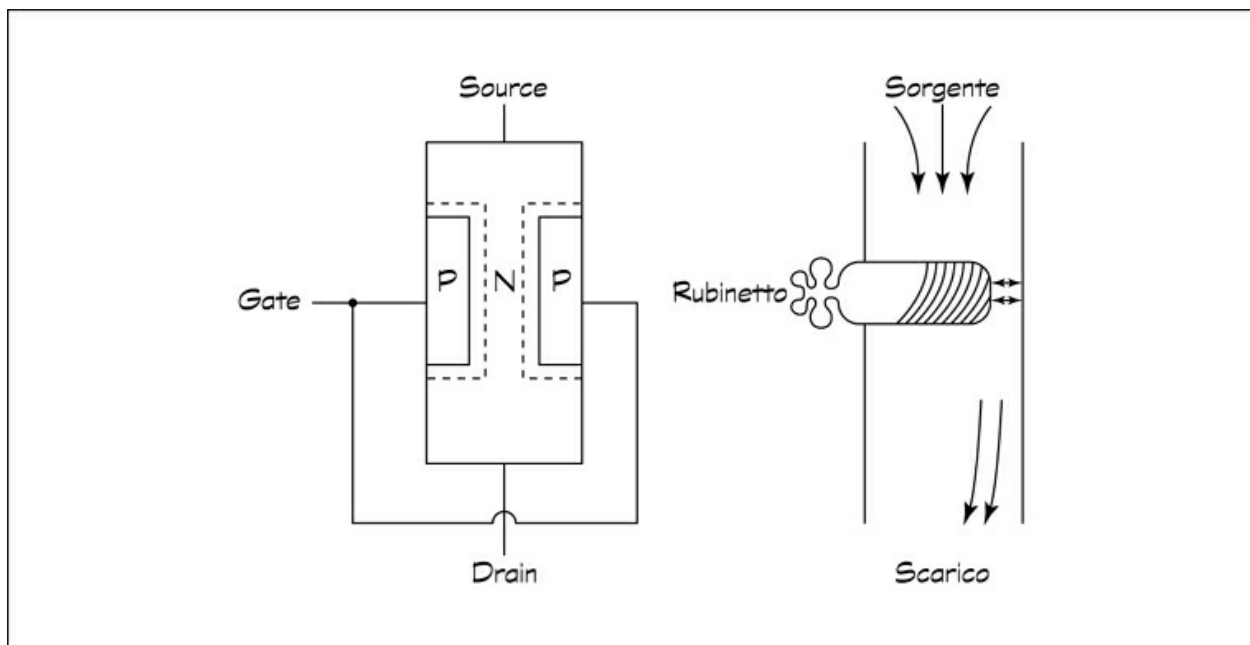


Figura 6.11 In un transistor a effetto di campo (FET) la tensione applicata al “rubinetto” controlla il flusso della corrente dalla “sorgente” allo “scarico”

Come funzionano davvero i transistor



Se siete curiosi di sapere come sia possibile che applicando una tensione a una giunzione pn in un transistor bipolare si possa controllare il flusso della corrente attraverso il resto del transistor, non dovete far altro che proseguire la lettura di questo paragrafo. Se invece non vi interessa per nulla sapere come si comportano gli elettroni liberi e le lacune nei semiconduttori drogati, potete saltare del tutto questa parte del capitolo e passare direttamente al paragrafo “Un modello ideale per usare i transistor”.

Per avere un'idea del reale funzionamento dei transistor, daremo un'occhiata a un transistor NPN. La [Figura 6.12](#) mostra una rappresentazione schematica della struttura di un transistor NPN, che comprende una sottile sezione Tipo P circondata da due sezioni più spesse Tipo N. La sezione Tipo P forma la base del transistor ed è collegata a un piedino. Una delle due sezioni Tipo N è l'emettitore e l'altra è il collettore. L'emettitore e il collettore non possono essere invertiti: sono drogati in modo differente, in modo che ciascuno abbia una concentrazione differente di elettroni liberi. Poiché la base è così sottile, vi sono molte meno lacune disponibili nella base rispetto agli elettroni liberi disponibili nell'emettitore e nel collettore. Questa differenza è importante.

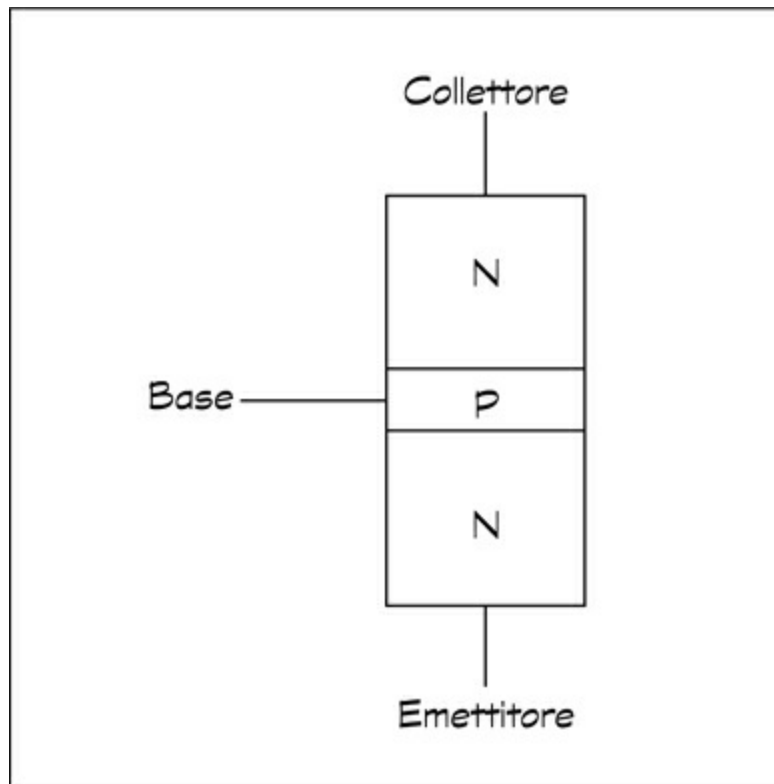


Figura 6.12 La base Tipo P di un transistor NPN è racchiusa fra due semiconduttori più spessi, Tipo N.

Emettere e “collezionare” elettroni

Vi sono due giunzioni pn in un transistor NPN: la *giunzione base-collettore* (la giunzione pn fra la base e il collettore) e la *giunzione base-emettitore* (la giunzione pn fra la base e l'emettitore). È un po' come mettere insieme due diodi, anodo contro anodo. Supponiamo di connettere due diverse fonti di tensione fra le due giunzioni, come indicato nella [Figura 6.13](#): una sorgente, V_{CE} , applica una tensione in corrente continua positiva dal collettore all'emettitore; l'altra sorgente, V_{BE} , applica una tensione in corrente continua positiva dalla base all'emettitore. Se $V_{CE} > V_{BE}$, allora la tensione alla base è più negativa rispetto alla tensione al collettore e dunque la giunzione base-collettore è polarizzata inversamente: attraverso tale giunzione non passa alcuna corrente. Se innalzate V_{BE} a circa 0,7 V (la tensione di polarizzazione diretta di una giunzione pn di silicio) o più, si polarizza direttamente la

giunzione base-emettitore e attraverso tale giunzione la corrente scorre.



La corrente che passa attraverso la giunzione base-emettitore è costituita dall'insieme di elettroni liberi nell'emettitore. In pratica, l'emettitore "emette" i propri elettroni attraverso la base. Naturalmente, gli elettroni liberi nell'emettitore vengono spinti da una forza esterna, fornita dalla tensione di alimentazione cui è collegato il collettore.

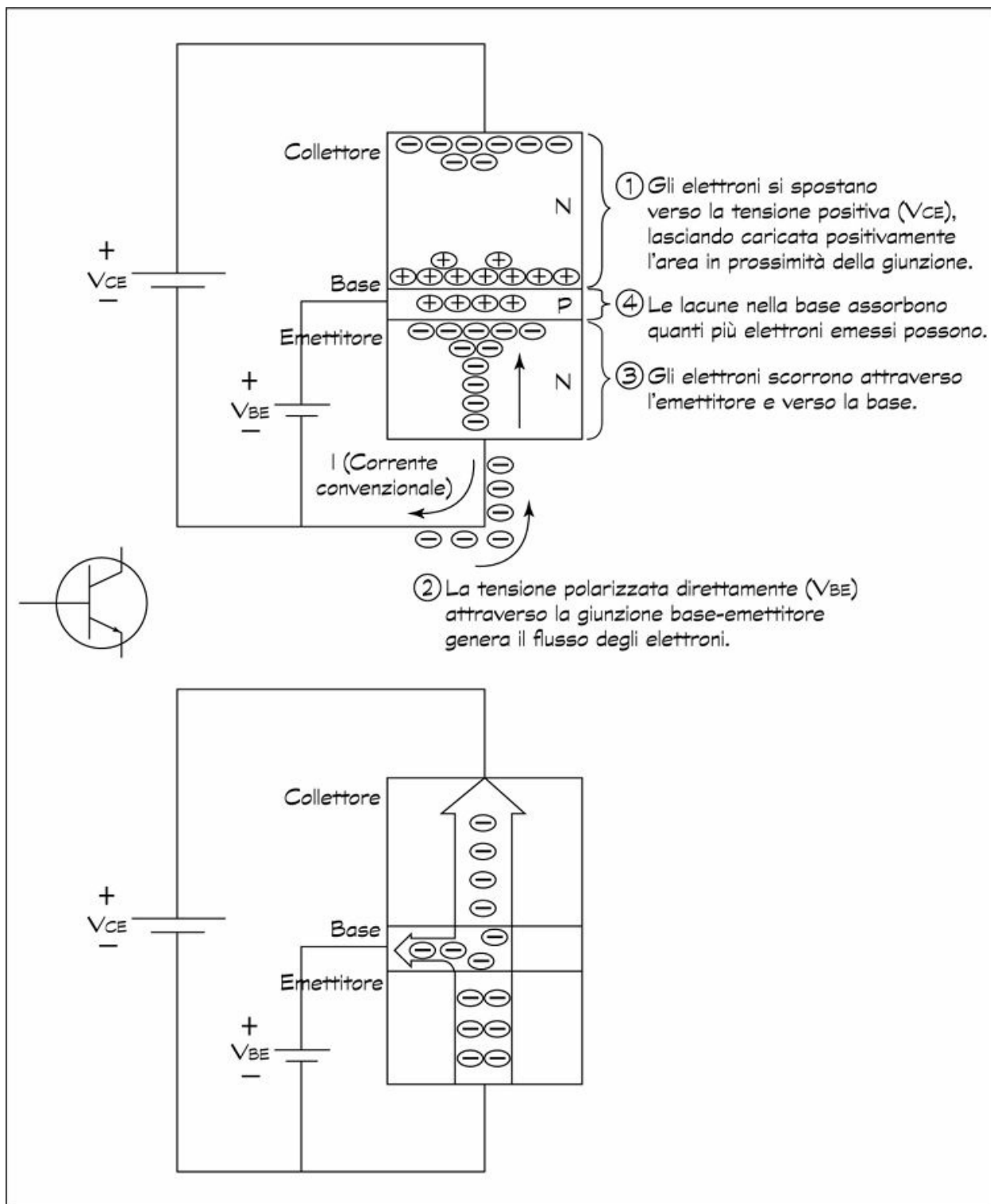


Figura 6.13 La polarizzazione diretta della giunzione base-emettitore per far passare la corrente attraverso un transistor.

Alcuni degli elettroni che raggiungono la base si *ricombinano* con le lacune che sono presenti proprio nella base (ricordate che il materiale di cui è costituita è un semiconduttore Tipo P). Ma poiché la base è così sottile, le sue lacune non sono sufficienti per assorbire tutti gli elettroni che attraversano la giunzione; pertanto la base si carica negativamente e tenta di forzare l'uscita di più elettroni.

Vi sono due percorsi con cui tutti questi elettroni in eccesso possono raggiungere la base:

- ✓ attraverso la connessione della base che porta alla fonte di alimentazione positiva;
- ✓ attraverso la giunzione base-collettore e verso il collettore.

Quale strada prenderanno? Ricordate che la giunzione base-collettore è polarizzata inversamente, con una forte tensione positiva connessa al piedino del collettore. Tale tensione positiva tende ad attrarre verso l'estremità del collettore gli elettroni liberi, che esistono normalmente nel collettore Tipo N. Questo riduce il numero di elettroni nella regione opposta, *all'altra* estremità del collettore (in prossimità della giunzione base-collettore) tanto che questa estremità sembra essere caricata positivamente.

Dunque, la regione del collettore in prossimità della giunzione base-collettore sembra caricata positivamente e una grande quantità di elettroni emessi dall'emettitore si accalcano nella base, cercando un modo per uscirne. Che cosa accade? *La maggior parte di questi elettroni (circa il 99%) viene spinta attraverso la giunzione base-collettore.* Risultato: gli elettroni che sono stati emessi dall'emettitore vengono ora “raccolti” dal collettore. Una piccola percentuale (meno dell'1%) degli elettroni si allontana dalla base tramite il piedino che è connesso alla fonte di alimentazione della base, ma la trazione attraverso la base verso l'uscita non è forte quanto l'altra trazione, attraverso la giunzione e verso il collettore. Il collettore vince questa battaglia, attraendo la maggior parte degli elettroni dell'emettitore.



Ciò che vedete come osservatori esterni, considerando i piedini connessi al transistor, è che quando la giunzione base-emettitore è polarizzata direttamente, gli elettroni scorrono dall'emettitore e poi vengono suddivisi fra il collettore e la base, dove la maggior parte degli elettroni (circa il 99%) va verso il collettore. *Controllando la tensione alla giunzione base-emettitore, potete far sì che una grande quantità di elettroni scorra attraverso il transistor dall'emettitore al collettore.* Questo è esattamente lo scopo del transistor. Polarizzare il transistor è come aprire un rubinetto che controlla il flusso della corrente.



Ora, i circuiti elettronici fanno sempre riferimento alla corrente convenzionale che, come abbiamo detto in precedenza, è esattamente all'opposto dell'effettivo flusso di elettroni di cui abbiamo parlato in questo paragrafo. Pertanto, considerando il circuito, si dice che polarizzando direttamente la giunzione base-emettitore di un transistor NPN si fa in modo che una piccola corrente (convenzionale) scorra dalla base all'emettitore e che una grande corrente (convenzionale) scorra dal collettore all'emettitore. Questo è il motivo per cui il simbolo circuitale di un transistor NPN mostra una freccia rivolta verso l'esterno dall'emettitore; sta puntando nella direzione del flusso di corrente convenzionale.

Potete polarizzare direttamente un transistor NPN al silicio applicando una tensione di almeno 0,7 V alla giunzione base-emettitore. I transistor in germanio (molto meno comuni rispetto a quelli in silicio), hanno tensioni di polarizzazione diretta più basse (circa 0,3 V), ma danno luogo alla stessa reazione causa-effetto. I transistor PNP funzionano allo stesso modo, tranne per il fatto che tutte le polarità sono invertite, poiché le giunzioni sono invertite. Per polarizzare direttamente la giunzione base-emettitore di un transistor PNP, per esempio, si applica una tensione di -0,7 V dalla base

all'emettitore. Il simbolo circuitale di un transistor PNP mostra una freccia rivolta verso l'emettitore, per indicare la direzione del flusso di corrente convenzionale quando il transistor conduce corrente.

Aumentare la corrente

Quando un transistor conduce corrente, se aumentate la corrente inviata verso la base, I_B , si produce un effetto interessante: aumenta anche la corrente che scorre nel collettore, I_C . Se riducete la corrente base, si riduce anche la corrente al collettore. In pratica, la relazione 1% / 99% fra corrente alla base e al collettore rimane vera variando la corrente alla base (entro certi limiti, di cui parleremo nel paragrafo “Saturare il transistor”, più avanti in questo capitolo).



I cambiamenti del livello di corrente al collettore indicano esattamente i cambiamenti di corrente alla base, ma con livelli molto elevati. Questo è il motivo per cui i transistor sono chiamati amplificatori di corrente, anche se in realtà non *creano* correnti più elevate, semplicemente le *controllano*. La quantità di corrente che passa al collettore è direttamente proporzionale alla corrente alla base. Il *guadagno di corrente* (simboleggiato con h_{FE}) del transistor dipende da vari fattori, tra cui il particolare transistor scelto.



Anche per un unico, specifico transistor, il guadagno di corrente varia sulla base di vari fattori. Non dovrete mai progettare un circuito che conta troppo su uno specifico valore di guadagno della corrente o il circuito si comporterà probabilmente in modo poco stabile. Se utilizzate un transistor come un commutatore on/off (ne parleremo nel paragrafo “Commutazione dei segnali con un transistor”), non conta molto qual è esattamente il guadagno di

corrente. Se invece utilizzate il transistor come un amplificatore, potete evitare che il circuito risulti incontrollabile configurando il transistor insieme ad altri componenti (per esempio delle resistenze) in modo da eliminare ogni dipendenza sull'esatto valore del guadagno di corrente. Questo piccolo trucco (di cui parleremo nel paragrafo "Amplificazione dei segnali con un transistor", più avanti in questo capitolo) è molto facile da realizzare.

Saturare il transistor

Nei transistor, a un certo punto si verifica un guadagno di corrente proporzionale dalla base verso il collettore. Ricordate che all'interno del transistor vi sono dei semiconduttori drogati, che contano su una quantità limitata di elettroni liberi e di lacune. Se incrementate la tensione di alimentazione alla base, consentirete a sempre più elettroni di scorrere fuori dalla base, il che significa che più elettroni proverranno dall'emettitore. Ma all'emettitore vi è un numero limitato di elettroni liberi e dunque vi è un limite superiore alla quantità di corrente che può passare. Quando il transistor raggiunge questo limite, è *saturato*.

Da dove viene la parola "transistor"?

Perché i transistor sono chiamati in questo modo? La parola "transistor" è una combinazione di due parole: *trans* e *resistor*. La parte "*trans*" deriva dal fatto che, applicando alla giunzione base-emettitore una tensione polarizzata direttamente, si fa in modo che gli elettroni transitino in un'altra parte del componente, dall'emettitore al collettore. Dunque *trasferite* l'azione da una parte del componente a un'altra. Questa è l'*azione del transistor*.

Poiché le fluttuazioni nella corrente della base provocano fluttuazioni proporzionali della corrente collettore/emettitore, potete considerare i transistor come una specie di resistenza ("resistor", in inglese) variabile: quando ruotate la manopola (la corrente alla base), la resistenza cambia, producendo una variazione di corrente

proporzionale al collettore/emettitore. A questo comportamento è dovuto la parte “-sistor” della parola “tran-sistor”.



Potete pensare alla saturazione di un transistor come all'apertura completa del “rubinetto”, in modo che attraverso la conduttura scorra sempre più acqua, fino a che la conduttura non trasporta tutta l'acqua possibile; anche se doveste riuscire ad aprire di più il rubinetto, non potreste mai far scorrere più acqua attraverso quella conduttura.

Quando un transistor è saturo, entrambe le sue giunzioni (base-emettitore e base-collettore) sono polarizzate direttamente. La caduta di tensione attraverso l'uscita del transistor (dal collettore all'emettitore) è praticamente zero. È come se vi fosse un semplice cavo elettrico connesso all'uscita del transistor. E poiché I_C è molto maggiore di I_B e $I_E = I_B + I_C$, si può dire che $I_C \approx I_E$. Troverete che questa approssimazione può essere comoda nell'analisi e nella progettazione dei circuiti a transistor.



Se utilizzate il transistor in modo che la corrente scorra al massimo oppure non scorra affatto, lo state impiegando come un commutatore on/off. Potete farlo progettando il circuito in modo che la giunzione base-emettitore sia non conduttiva (la tensione è inferiore a 0,7 V) o completamente conduttiva, senza livelli intermedi.

Un modello ideale per usare i transistor

Elettroni liberi, lacune in movimento, giunzioni pn, polarizzazione... Tutti

argomenti molto interessanti, ma in realtà non è necessario conoscere per filo e per segno tutti questi dettagli tecnici per impiegare i transistor nei circuiti. Basta familiarizzare con un “modello” delle funzionalità del transistor e sarete in grado di procedere.

La [Figura 6.14](#) mostra un semplice modello di un transistor NPN (a sinistra) e il simbolo circuitale di un transistor NPN (a destra). Le tensioni, le correnti e i terminali del transistor sono indicati in entrambi i casi in modo da chiarire la corrispondenza fra il modello e il componente, effettivo. Il modello comprende un diodo fra la base e l'emettitore, per controllare una resistenza variabile, R_{CE} , fra il collettore e l'emettitore.

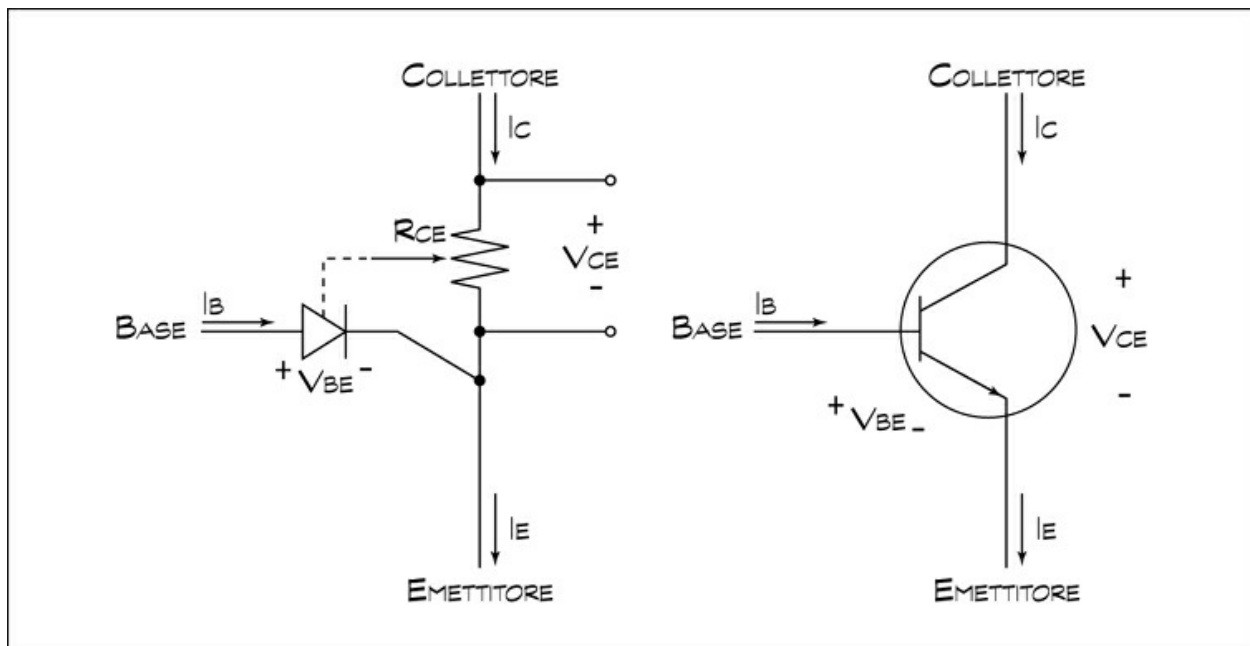


Figura 6.14 Un transistor funziona come un interruttore o un amplificatore, a seconda di ciò che si invia come ingresso alla base.

Scelta dell'interruttore giusto

Potreste chiedervi perché mai utilizzare un transistor come interruttore quando sono disponibili moltissimi altri tipi di interruttori e relay

(Capitolo 8). Bene, i transistor presentano numerosi vantaggi rispetto agli altri interruttori e spesso rappresentano la scelta migliore. I transistor usano pochissima corrente, possono eseguire parecchi miliardi di commutazioni al secondo e possono essere resi microscopici, tanto che i circuiti integrati (di cui parleremo nel Capitolo 7) utilizzano migliaia di transistor per commutare una miriade di segnali all'interno di un unico piccolo chip.

Gli interruttori meccanici e i relay hanno i loro specifici utilizzi nelle situazioni in cui i transistor non possono sopportare il carico, come nella commutazione di correnti maggiori di circa 5 A o nella commutazione di alte tensioni (come nel caso dei sistemi di alimentazione).



Tre diverse *modalità operative* o possibilità di funzionamento dei transistor.

- ✓ **Transistor off:** se $V_{BE} < 0,7 \text{ V}$, il diodo è off, pertanto $I_B = 0$. Ciò rende la resistenza R_{CE} infinita, il che significa $I_C = 0$. L'uscita del transistor (collettore-emettitore) è come un interruttore aperto: non passa alcuna corrente. Questa modalità operativa è chiamata *cutoff*.
- ✓ **Transistor parzialmente on:** se $V_{BE} \geq 0,7 \text{ V}$, il diodo è on, dunque la corrente alla base passa. Se I_B è piccolo, la resistenza R_{CE} è ridotta e un po' di corrente al collettore, I_C , passa. I_C è direttamente proporzionale a I_B , con un *guadagno di corrente*, h_{FE} , uguale a I_C / I_B e il transistor funziona come un amplificatore di corrente: ovvero sta operando in modalità attiva.
- ✓ **Transistor completamente on:** se $V_{BE} \geq 0,7 \text{ V}$ e I_B aumenta molto, la resistenza R_{CE} è zero e dal collettore passa la massima corrente

possibile, I_C . La tensione dal collettore all'emettitore, V_{CE} , è circa pari a zero, pertanto l'uscita del transistor (collettore-emettitore) è come un interruttore chiuso: tutta la corrente che può passare, passa; il transistor è saturo.

Quando progettate un circuito a transistor, scegliete dei componenti che pongano il transistor nella modalità operativa corretta (cutoff, attivo o saturo), a seconda dello scopo per cui volete utilizzare il transistor. Per esempio, se volete utilizzare il transistor come un amplificatore, scegliete tensione di alimentazione e resistenze che polarizzino direttamente la giunzione base-emettitore e consentano il passaggio di una parte della corrente dalla base, ma non tanto da saturare il transistor. Questo processo di selezione è chiamato polarizzazione del transistor. Se volete che il transistor si comporti come un interruttore, scegliete valori che consentano solo due stati: il passaggio di nessuna corrente base o di sufficiente corrente base da saturare il transistor. Utilizzate un interruttore o l'uscita di un circuito a valle per controllare il funzionamento di questi due stati.

Amplificazione dei segnali con un transistor

I transistor vengono comunemente impiegati per amplificare i segnali deboli. Supponete, per esempio, di produrre un segnale audio come uscita di uno stadio di un circuito e di volerlo amplificare prima di inviarlo a un altro stadio di componenti elettronici, per esempio a un altoparlante. Potete utilizzare un transistor, come indicato nella [Figura 6.15](#), per amplificare le piccole fluttuazioni del segnale audio (v_{in}) inviato in ingresso alla base del transistor; qui le piccole fluttuazioni diventano *grandi* fluttuazioni del segnale (v_{out}), prelevabili all'uscita (collettore) del transistor. Poi prendete l'uscita del transistor e la applicate all'ingresso dell'altoparlante.

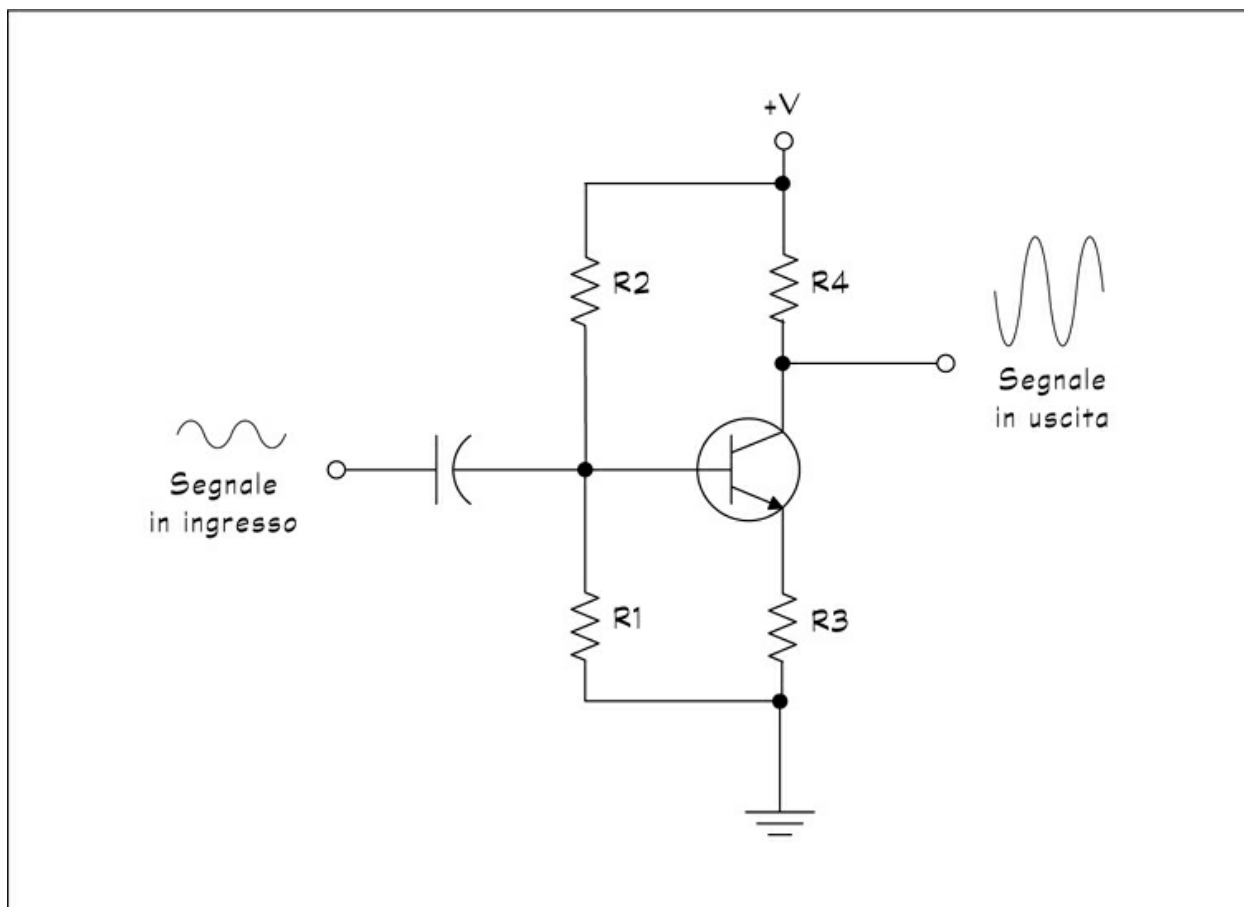


Figura 6.15 Collocando in modo appropriato alcune resistenze nel circuito di un transistor, potete polarizzare adeguatamente un transistor e controllare il guadagno del circuito.

Polarizzare il transistor in modo che si comporti come un amplificatore

Un transistor deve essere parzialmente attivo per poter funzionare come un amplificatore. Per porre il transistor in questo stato, occorre polarizzarlo applicando una piccola tensione alla base. Nell'esempio rappresentato nella [Figura 6.15](#), le resistenze R1 e R2 sono connesse alla base del transistor e configurate come un partitore di tensione (per ulteriori informazioni sul funzionamento dei partitori di tensione, consultate il [Capitolo 3](#)). L'uscita di questo partitore di tensione $(R1 / (R1 + R2)) \times V$ fornisce alla base sufficiente tensione per attivare il transistor e consentire il passaggio della corrente,

polarizzando il transistor in modo che sia in modalità attiva (ovvero parzialmente on).

Il condensatore all'ingresso consente il passaggio solo della corrente alternata attraverso il transistor, bloccando ogni componente in corrente continua del segnale di ingresso (un effetto noto come *offset in continua*), come illustrato nella [Figura 6.16](#). Senza questo condensatore, ogni offset nel segnale di ingresso potrebbe alterare la polarizzazione del transistor, potenzialmente spegnendo il transistor (cutoff) oppure saturandolo in modo che non si comporti più come un amplificatore.

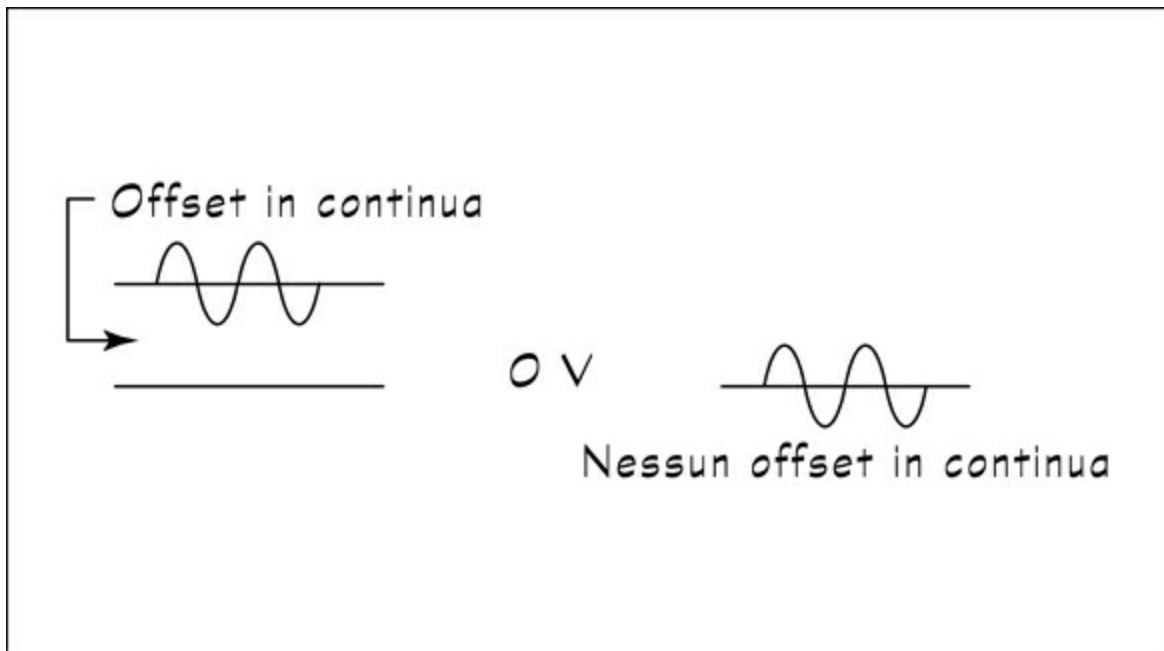


Figura 6.16 Un condensatore di bloccaggio aiuta a mantenere la polarizzazione del transistor filtrando gli offset in continua presenti nel segnale di ingresso.

Controllo del guadagno di tensione

Con il transistor rappresentato nella [Figura 6.15](#) parzialmente on, le fluttuazioni di corrente provocate dal segnale di ingresso in corrente alternata vengono amplificate dal transistor. Poiché gli incrementi di corrente di un transistor possono essere in qualche modo variabili, occorre progettare il circuito dell'amplificatore in modo da eliminare ogni dipendenza da guadagni

di corrente spuri. Rinunciate a un po' di potenza di amplificazione, ma ottenete in cambio maggiore stabilità e prevedibilità.



Collocando nel circuito le resistenze R_3 e R_4 , potete controllare l'aumento di tensione o l'amplificazione del segnale in ingresso, senza preoccuparvi dell'esatto guadagno di corrente dello specifico transistor che rappresenta il cuore del circuito (si tratta di un argomento davvero interessante!). Il guadagno in corrente alternata del circuito a transistor con resistenze illustrato nella [Figura 6.15](#) è $-R_4 / R_3$. Il segno negativo significa semplicemente che il segnale di ingresso è invertito: mentre la tensione d'ingresso varia verso l'alto o verso il basso, la tensione di uscita varia verso il basso e poi verso l'alto, come illustrato dalle forme d'onda dei segnali rappresentati nella [Figura 6.15](#).

Configurazione dei circuiti di amplificazione a transistor

Il tipo di configurazione dei transistor di cui abbiamo parlato nel paragrafo precedente è chiamato *amplificatore a emettitore comune*; questo circuito è semplicemente uno dei tanti modi per configurare un circuito a transistor da impiegare come amplificatore. Potete scegliere configurazioni differenti per ottenere obiettivi differenti, per esempio per un elevato guadagno della potenza o un elevato guadagno della tensione. Il comportamento del circuito dipende da:

- ✓ come connettete il transistor alla fonte di alimentazione;
- ✓ dove si trova il carico;
- ✓ quali altri componenti (resistenze, condensatori e altri transistor) aggiungete al circuito;
- ✓ dove aggiungete gli altri componenti nel circuito.

Per esempio, potete porre in “piggyback” due transistor bipolari in una configurazione chiamata *coppia Darlington* per produrre più fasi di amplificazione (nel [Capitolo 14](#), vedere esattamente come configurare una semplice coppia Darlington). Oppure potete ottenere lo stesso risultato in modo più semplice: acquistare un componente a tre piedini chiamato *transistor Darlington*, che comprende già una coppia Darlington.



La progettazione di circuiti di amplificazione a transistor è un campo di studio a se stante ed esistono molti eccellenti libri sull'argomento. Se siete interessati a conoscere qualcosa di più sui transistor e su come progettare circuiti di amplificazione con i transistor, procuratevi un buon libro di progetti elettronici.

Commutazione dei segnali con un transistor

Potete utilizzare un transistor anche come un interruttore a controllo elettrico. Il piedino base del transistor si comporta come il perno di un interruttore meccanico. Il transistor è “off” quando non passa alcuna corrente nella base (in *cutoff*) e il transistor stesso si comporta come un circuito aperto, anche se vi è una differenza di tensione tra il collettore e l'emettitore. Il transistor è “on” quando la corrente passa nella base (in saturazione) e il transistor si comporta come un interruttore chiuso, consentendo il passaggio della corrente dal collettore all'emettitore e poi a qualsiasi carico vogliate porre.

Come approntare un interruttore? Immaginiamo che vogliate utilizzare un gadget elettronico per sparpagliare automaticamente sull'aia il cibo per le galline all'alba. Potete utilizzare un *fotodiodo*, che conduce corrente quando viene esposto alla luce, il quale controlla l'ingresso di un interruttore a transistor che fornisce corrente al gadget (il carico). Di notte, il fotodiodo non genera alcuna corrente e dunque il transistor si spegne. Quando si leva il Sole, il fotodiodo genera corrente, accendendo il transistor e consentendo il

passaggio della corrente verso il gadget. Il gadget inizia a sparpagliare cibo per l'aia, facendo felici le galline mentre voi continuate tranquillamente a dormire.

Se vi state chiedendo perché non fornire semplicemente la corrente dal fotodiodo ai gadget, la risposta è semplice: il gadget potrebbe richiedere una corrente superiore rispetto a quella fornita dal fotodiodo. La piccola corrente del fotodiodo controlla l'azione on/off del transistor, che si comporta come un interruttore per consentire il passaggio di una corrente più elevata, da una batteria, per alimentare il gadget.



Uno dei motivi per cui i transistor sono così popolari come interruttori è che non usano molta potenza. Ricordate che la potenza è il prodotto della corrente per la tensione. Quando un transistor è off, non vi è alcun passaggio di corrente, pertanto la potenza dissipata è zero. Quando un transistor è completamente on, V_{CE} è praticamente zero, dunque la potenza dissipata è ancora praticamente zero.

Scegliere un transistor

I transistor sono così diffusi che ne esistono letteralmente migliaia di migliaia. Come scegliere quello più adatto al circuito e come venire a capo delle scelte disponibili sul mercato?

Se state progettando un circuito a transistor, dovete capire come funzionerà il vostro circuito nelle varie condizioni. Qual è la massima quantità di corrente al collettore che il transistor si troverà a gestire? Qual è il minimo guadagno di corrente di cui avete bisogno per amplificare un segnale di ingresso? Quanta potenza potete dissipare nel transistor in condizioni operative estreme (per esempio quando il transistor è off e l'intera tensione di alimentazione viene abbattuta tra il collettore e l'emettitore)?

Dopo avere compreso questi valori, relativi al funzionamento del circuito, potete iniziare a cercare nelle specifiche dei transistor quello adatto alle vostre esigenze.

Valori importanti per i transistor

Vi sono vari parametri che descrivono il carico dei vari transistor disponibili sul mercato, ma solo alcuni sono davvero importanti per scegliere il transistor da impiegare nel circuito. Per i transistor bipolari (NPN o PNP), ecco cosa dovete sapere.

- ✓ **I_C max:** questa è la corrente massima al collettore che il transistor può sopportare. Quando progettate un circuito, assicuratevi di utilizzare una resistenza che limiti la corrente dal collettore, per non superare questa soglia.
- ✓ **h_{FE} :** questo è il *guadagno di corrente continua* dalla base al collettore. Poiché il guadagno di corrente può variare, anche fra transistor dello stesso tipo, dovete conoscere il valore minimo garantito di h_{FE} . Ma il valore h_{FE} varia anche per valori differenti di I_C , pertanto talvolta h_{FE} viene dato per uno specifico valore di I_C , per esempio 20 mA.
- ✓ **V_{CE} :** questa è la *massima tensione collettore-emettitore*. Normalmente è almeno 30 V. Se lavorate con applicazioni di bassa potenza, come nei circuiti elettronici hobbistici, non preoccupatevi troppo di questo valore.
- ✓ **P_{totale} max:** questo è la *potenza dissipata massima*, che è approssimativamente $V_{CE} \times I_C$. Non preoccupatevi di questo valore se utilizzate il transistor come un interruttore; la dissipazione di potenza sarà praticamente uguale a zero in entrambi i casi. Se invece utilizzate il transistor come un amplificatore, dovrete considerare questo valore.



Se pensate che il circuito raggiunga questo valore, assicuratevi di collegare al transistor un'aletta di raffreddamento, per la dissipazione del calore.

Naturalmente, nessuno di questi valori è riportato sul transistor stesso, sarebbe troppo facile. Per determinare queste caratteristiche, dovrete cercare il transistor nel libro delle specifiche o consultare la documentazione sul sito web del produttore. Se state realizzando un circuito progettato da qualcun altro, potete semplicemente utilizzare il transistor specificato dal progettista o consultare un testo di riferimento per trovare un modello simile, da sostituire.

Identificare i transistor

I transistor bipolari sono identificati da un codice a cinque o sei cifre che fanno parte di un sistema di identificazione dei semiconduttori. Le prime due cifre sono sempre "2N" per i transistor, dove il "2" specifica il numero di giunzioni pn e la lettera "N" significa semiconduttore. Le altre tre o quattro cifre indicano le specifiche funzionalità del transistor. Tuttavia, produttori differenti possono utilizzare schemi di codifica differenti, pertanto è meglio consultare un sito web appropriato, un catalogo o il foglio delle specifiche, per assicurarsi di ottenere esattamente ciò di cui avete bisogno per il circuito.

Molti fornitori suddividono i transistor, sulla base del tipo di applicazione cui sono dedicati, come transistor di bassa potenza, media potenza, alta potenza, audio (basso rumore) o utilizzo generale. Conoscendo la categoria del progetto, potete scegliere correttamente il transistor per il vostro particolare circuito.

Riconoscere un transistor quando ne vedete uno

Il materiale semiconduttivo di un transistor è delle dimensioni di un granello

di sabbia o ancor più minuscole, pertanto i produttori inseriscono questi microscopici componenti in un corpo di metallo o plastica, con dei piedini che consentano di connetterlo al circuito. Potete trovare transistor di decine di forme e dimensioni differenti, alcune delle quali sono rappresentate nella [Figura 6.17](#). I transistor più piccoli sono normalmente *transistor per segnali*, che sono destinati a gestire correnti più piccole, mentre i transistor più grandi sono *transistor di potenza*, progettati per gestire correnti più elevate. La maggior parte dei transistor di segnale è dotata di involucri in plastica, ma alcune applicazioni di precisione richiedono che i transistor per segnali siano ospitati in involucri metallici, per ridurre la probabilità di interferenze radio.

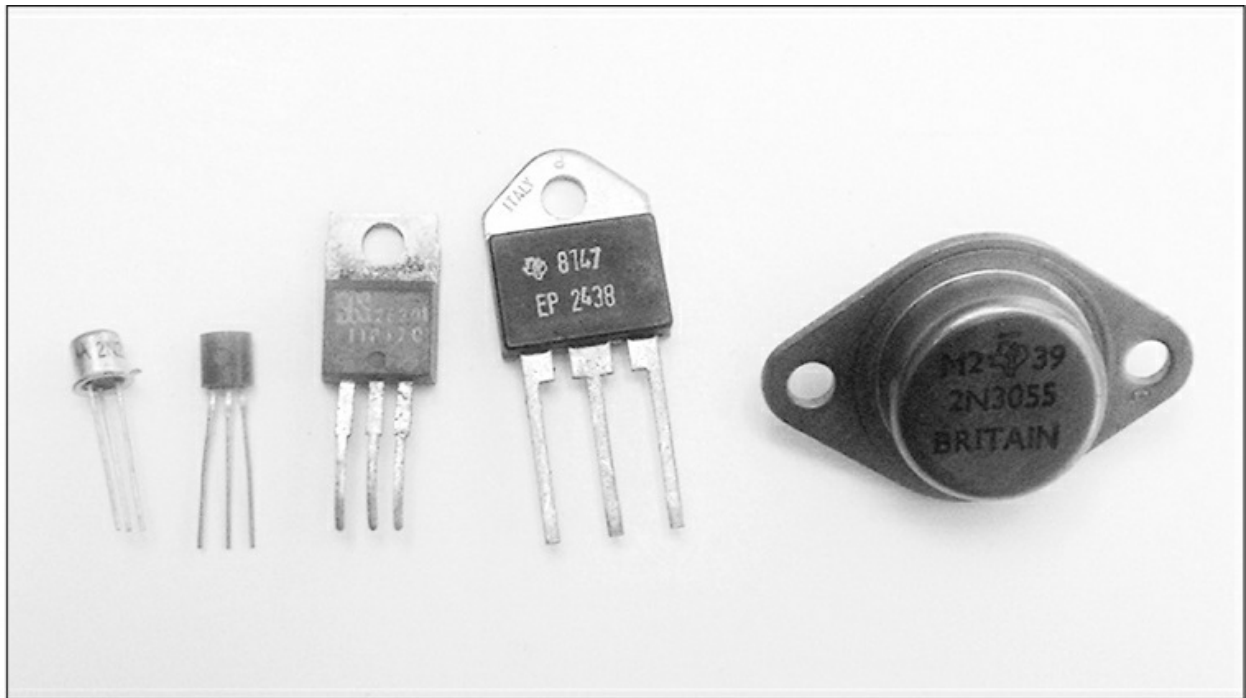


Figura 6.17 I transistor per segnali e per potenza hanno varie forme e dimensioni.

I transistor bipolari, in genere, hanno tre piedini, connessi alla base, al collettore e all'emettitore. Un'eccezione è rappresentata dai fototransistor (ne parleremo nel [Capitolo 8](#)) che sono inseriti in un involucro trasparente e hanno solo due piedini (collettore ed emettitore) poiché per polarizzare il transistor viene impiegata la luce e dunque non è necessario applicare una tensione alla base. Tutti i FET sono dotati di piedini per source, drain e gate e alcuni includono un quarto piedino per mettere a massa l'involucro del

transistor con lo chassis del circuito o per una seconda porta di un MOSFET dual-gate.



Per valutare il tipo del transistor, consultate la documentazione di quello specifico transistor. Fate attenzione a interpretare bene la documentazione: le connessioni dei transistor, spesso (ma non sempre, vengono rappresentate dalla “pancia” del transistor, come se lo aveste ruotato e lo osservaste dal basso).



È assolutamente importante installare i transistor nel modo corretto nei circuiti. Cambiare connessioni significa danneggiare un transistor e, spesso, anche gli altri componenti del circuito.

Transistor impacchettati

I transistor possono essere combinati in vari modi per far accadere moltissime cose meravigliose; poiché l'effettivo materiale semiconduttore che compone un transistor è così piccolo, è possibile creare un circuito contenente centinaia o migliaia di transistor (insieme a resistenze e altre componenti) e inserire l'intero circuito in un unico componente che può rientrare comodamente nel palmo di una mano. Queste fantastiche creazioni, i *circuiti integrati*, consentono di realizzare circuiti davvero complessi con solo un paio di componenti. Nel prossimo capitolo, vedremo alcuni esempi di circuiti integrati disponibili oggi come risultato della rivoluzione dei semiconduttori.

Provare i circuiti a semiconduttori

Se volete mettere in pratica le conoscenze e acquisire un'esperienza di prima mano con i diodi e i transistor, potete osservare i circuiti presentati verso la metà del [Capitolo 14](#), nella [Parte III](#). Qui troverete semplici circuiti progettati per mostrare come funzionano questi componenti. Potrete così accendere e spegnere LED e variare l'intensità della luce controllando la quantità di corrente in passaggio. Potete osservare un diodo Zener che mantiene fissa una tensione di uscita. Alcuni semplici circuiti a transistor mostrano come i transistor siano in grado di amplificare la corrente e di fungere da interruttori. Prima di alimentare un dispositivo a semiconduttori, assicuratevi di leggere le precauzioni di sicurezza riportate nel [Capitolo 9](#) e di ripassare gli altri capitoli della [Parte II](#), per imparare a costruire e analizzare i circuiti. In tal modo, potrete trarre il massimo dalla vostra esperienza con i semiconduttori.

Capitolo 7

Tutti i componenti in un chip

In questo capitolo

Inserire più componenti in un chip.

Parlare la lingua dei bit.

La logicità delle porte.

Leggere sui circuiti integrati.

I piedini dei circuiti integrati.

Potenziare i segnali con gli amplificatori operazionali.

Temporizzazione, conteggio e controllo.

L' esplorazione spaziale, i pacemaker programmabili, l'elettronica di consumo e molte altre cose ancora sarebbero ancora nulla più di sogni di menti creative, se non fossero stati inventati i circuiti integrati. Questa incredibile innovazione (in realtà tutta *una serie* di incredibili innovazioni) ha reso possibile lo sviluppo di telefoni cellulari, computer portatili, iPod, sistemi di navigazione GPS e molto altro ancora.

Un *circuito integrato* (IC – Integrated Circuit) incorpora da qualche decina a molti milioni di componenti circuitali in un unico dispositivo, che rientra comodamente nel palmo della mano. Ogni circuito integrato contiene una rete intricata di piccoli esecutori basati su transistor, dove l'accesso al mondo esterno è garantito da un numero limitato di ingressi e uscite.

Questo capitolo esplora il mondo dei circuiti integrati, identificando i tre tipi

principali di circuiti integrati, con particolare attenzione al funzionamento interno di una famiglia di essi: i circuiti integrati digitali. Daremo un'occhiata al modo in cui i computer e altri dispositivi digitali manipolano due specifici livelli di tensione per elaborare le informazioni utilizzando speciali regole governate dalla logica. Poi impareremo a “leggere” un circuito integrato, per comprendere che cosa è in grado di fare (perché è impossibile saperlo semplicemente osservandolo) e come connetterlo ad altri componenti per formare un circuito. Infine daremo un'occhiata da vicino a tre importanti circuiti integrati: che cosa fanno e come possiamo utilizzarli per creare circuiti innovativi.

Perché circuiti integrati?

Il *circuito integrato* è stato inventato nel 1958 (vedi il riquadro “La nascita del circuito integrato”) per risolvere un problema riguardante l'assemblaggio manuale di grandi quantità di piccoli transistor. Chiamati anche *chip*, i circuiti integrati sono circuiti miniaturizzati “stampati” su un unico frammento di semiconduttore. Un tipico circuito integrato contiene centinaia di transistor, resistenze, diodi e condensatori; i circuiti integrati più avanzati contengono parecchie centinaia di milioni di componenti. Data l'efficienza di questi circuiti, è possibile realizzare circuiti anche molto complessi utilizzando solo un paio di componenti. I circuiti integrati sono elementi costitutivi di circuiti di maggiori dimensioni. È anche possibile unirli per formare qualsiasi dispositivo elettronico abbiate in mente.

Circuiti integrati lineari, digitali o in combinazione

Nel corso degli anni, i produttori di chip hanno sviluppato vari tipi di circuiti integrati, ognuno dei quali svolge una funzione specifica a seconda del modo in cui sono cablati i componenti che lo costituiscono. Molti dei circuiti integrati attualmente disponibili sono così popolari da essere diventati standard e su di essi è possibile trovare una grande quantità di informazioni,

sia online sia su supporto cartaceo. Di conseguenza, molti produttori di chip offrono questi circuiti integrati standard e produttori e hobbisti di tutto il mondo li acquistano e impiegano nei loro progetti. Altri circuiti integrati, invece, sono progettati per svolgere compiti molto più specifici. In genere, questi ultimi vengono prodotti da una sola azienda.

I circuiti integrati, standard o specifici che siano, possono essere suddivisi in tre categorie principali: *lineari (analogici)*, *digitali* e *a segnali misti*. Questi termini fanno riferimento al tipo di segnali elettrici (vedere il [Capitolo 2](#)) che operano all'interno del circuito.

- ✓ **Circuiti integrati lineari (analogici):** contengono *circuiti analogici*, in quanto elaborano *segnali analogici*, costituiti da tensioni e correnti variabili. Esempi di circuiti integrati analogici sono i circuiti per la gestione dell'alimentazione, sensori, amplificatori e filtri.
- ✓ **Circuiti integrati digitali:** contengono *circuiti digitali*, in quanto elaborano *segnali digitali*, schemi costituiti da due sole tensioni (o correnti) che rappresentano dati digitali, per esempio on/off, alto/basso o 1/0 (parleremo di dati digitali un po' più in dettaglio nel prossimo paragrafo). Alcuni circuiti integrati digitali, come i microprocessori, contengono milioni di piccoli circuiti nello spazio di pochi millimetri quadrati.
- ✓ **Circuiti integrati a segnali misti:** contengono una combinazione di circuiti analogici e digitali.

La nascita del circuito integrato

Con l'invenzione del transistor nel 1947, tutto il mondo della progettazione elettronica è passato dall'utilizzo delle valvole a questo nuovo dispositivo, più piccolo e anche più affidabile. L'invenzione ha suscitato un estremo interesse e gli ingegneri si sono occupati di realizzare circuiti sempre più avanzati, dato che le dimensioni non rappresentavano più un ostacolo. Il loro successo nella creazione di

progetti avanzati ha condotto ad alcuni problemi pratici: l'interconnessione di centinaia di componenti provocava inevitabilmente errori che erano estremamente difficili da isolare. Inoltre, spesso i circuiti complessi non rispondevano ai requisiti di velocità (poiché gli elettroni impiegano comunque un certo tempo per attraversare questo vero labirinto di connessioni fra componenti). Nel corso degli anni Cinquanta, un grosso problema nel settore dell'elettronica fu quindi scoprire come rendere sempre più piccoli e affidabili i circuiti.

Nel 1952, l'ingegnere britannico Geoffrey Dummer presentò pubblicamente la propria idea, che consisteva nel combinare più elementi circuitali in un unico frammento di materiale semiconduttore, senza cavi di connessione. Immaginava che ciò avrebbe eliminato i problemi dei cablaggi e del complesso assemblaggio manuale di tutti i componenti discreti. Sebbene Dummer non abbia mai effettivamente realizzato un circuito integrato, è ampiamente considerato come "il profeta dei circuiti integrati".

Poi, nell'estate del 1958, Jack Kilby, un ingegnere neo-assunto alla Texas Instruments, lavorando da solo in un laboratorio (mentre i suoi colleghi erano in vacanza) è stato in grado di porre più componenti circuitali in un unico frammento monolitico di germanio (un materiale semiconduttore), disponendo dei connettori metallici sopra di esso. Questo grezzo progetto fu la prima dimostrazione di successo del circuito integrato. Sei mesi dopo, Robert Noyce di Fairchild Semiconductor (che fu anche co-fondatore di Intel) inventò la propria versione di circuito integrato, che risolveva molti dei problemi pratici ancora presenti nel progetto di Kilby e portò alla produzione di massa dei circuiti integrati. Insieme, Kilby e Noyce sono considerati gli inventori del circuito integrato. A Kilby è stato riconosciuto il Premio Nobel per la fisica per il suo contributo all'invenzione del circuito integrato, ma solo 42 anni dopo, e disse che se Noyce fosse stato ancora vivo quando gli è stato riconosciuto il Premio, avrebbe dovuto dividerlo con lui.

Dal 1958 sono accadute molte cose. Molte persone di grande

intelligenza e creatività hanno continuato a raffinare ulteriormente il loro lavoro iniziale e ciò ha portato a molte altre innovazioni. Come risultato, il settore dell'elettronica è esploso, mentre la *densità del chip* (una misura della quantità di transistor inseribili in un chip) è aumentata in modo esponenziale. Oggi i produttori di semiconduttori sfornano continuamente milioni di transistor, tutti impacchettati in un frammento di silicio grande quanto una moneta. Roba da far girare la testa!

La maggior parte dei circuiti integrati standard rientra nella categoria dei digitali o degli analogici e la maggior parte dei rivenditori offre cataloghi distinti per questi due tipi di circuiti integrati.

Prendere decisioni con “logica”

Quando avete imparato a sommare i numeri, avete memorizzato come “2 + 2” facesse 4, “3 + 6” facesse 9 e così via. Poi avete imparato a sommare numeri di più cifre, impiegando i concetti precedenti e un elemento in più: il “riporto”. Con poche aggiunte e una semplice regola, si è aperto un mondo: diventava possibile sommare con facilità numeri anche molto “lunghi”.

Il microprocessore presente nel computer opera più o meno allo stesso modo. Utilizza grandi quantità di piccoli circuiti digitali (la cosiddetta *logica digitale*) per elaborare semplici funzioni simili a “2 + 2 = 4”. Poi la logica combina l'output di queste funzioni applicando regole simili al riporto per ottenere una risposta. Affiancando grandi quantità di queste “risposte” in una rete complessa di circuiti, il microprocessore può svolgere compiti matematici piuttosto complessi. Al suo interno, tuttavia, vi sono solo elementi logici, che applicano regole molto semplici.

In questo paragrafo daremo un'occhiata al funzionamento dei circuiti logici digitali.

Partiamo dai bit

Quando sommate fra loro due cifre, avete dieci scelte per ogni cifra (da 0 a 9) perché questo è il modo in cui funziona il nostro sistema di numerazione (in *base 10* o *decimale*). Quando un computer somma fra loro due cifre, utilizza le due cifre possibili: 0 e 1 (si parla di sistema in *base 2* o *binario*).

Poiché sono solo due, queste cifre si chiamano cifre binarie, ovvero “**binary digit**”, bit. I bit possono essere concatenati per rappresentare lettere o numeri: per esempio la sequenza di bit 1101 rappresenta il numero decimale 13. Il box alla pagina seguente dà un’idea del funzionamento delle cifre binarie.

Oltre a rappresentare numeri e lettere, i bit possono essere utilizzati anche per trasportare informazioni. Come trasportatori di informazioni, i bit sono versatili: possono rappresentare molte entità a *due stati* (binarie). Un pixel dello schermo può essere acceso o spento, il tasto Ctrl della tastiera può essere premuto o no; sulla superficie di un DVD, il foro laser può essere presente o meno; una transazione allo sportello può essere autorizzata o no e così via.

Sommare i numeri a bit

Nel sistema decimale (*base 10*), per esprimere un numero maggiore di 9, dovete utilizzare più di una cifra. Ogni posizione in un numero digitale rappresenta una *potenza di dieci* (10^0 , 10^1 , 10^2 , 10^3 e così via) e il valore della cifra (0-9) collocata in tale posizione è un moltiplicatore della relativa potenza di 10. Con le potenze di 10, l'*esponente* (il numero posto in apice al 10) dice per quante volte moltiplicare 10 per se stesso, pertanto 10^1 è uguale a 10, 10^2 è uguale a 10×10 cioè 100, 10^3 è uguale a $10 \times 10 \times 10$ cioè 1.000, e così via. Quanto a 10^0 , è uguale a 1, poiché qualsiasi numero elevato a 0 è uguale a 1. Dunque le posizioni di un numero decimale, partendo dalla posizione più a destra, rappresentano valori da moltiplicare per 1, 10, 100, 1000 ecc. Questi sono anche chiamati *valori posizionali*

(unità, decine, centinaia, migliaia e così via). Le cifre (0-9) situate in quella posizione dicono quante unità, decine, centinaia, migliaia e così via sono contenute in tale numero decimale.

Per esempio, il numero 9452 può essere scomposto in *notazione espansa* come:

$$(9 \times 1.000) + (4 \times 100) + (5 \times 10) + (2 \times 1)$$

Tutto il nostro sistema matematico si basa sul numero 10 (ma se gli esseri umani avessero avuto otto dita, utilizzeremmo certamente un sistema in *base* 8), pertanto il nostro cervello è abituato a riflettere automaticamente in formato decimale. Quando si sommano due cifre, per esempio 6 e 7, si interpreta automaticamente il risultato, 13, come “una decina e tre unità”. È come se il formato decimale fosse preimpostato nel cervello, un po’ come la lingua madre.

Il sistema binario è un altro tipo di lingua: utilizza esattamente la stessa metodologia, ma basandosi sul numero 2. Dunque, per rappresentare un numero maggiore di 1, avrete bisogno di più di una cifra, e ogni posizione del numero rappresenta una *potenza di 2*: 2^0 , 2^1 , 2^2 , 2^4 e così via, ovvero 1, 2, 4, 8, 16 e così via. Il *bit* (una cifra binaria, ovvero solo 0 o 1) situato in quella posizione nel numero è un moltiplicatore per la rispettiva potenza di 2. Per esempio, il *numero binario* 1101 può essere scomposto in notazione espansa come:

$$(1 \times 2^3) + (1 \times 2^2) + (0 \times 2^1) + (1 \times 2^0)$$

Traducendo questo numero in formato digitale, si può vedere come la stringa di bit 1101 rappresenti la quantità numerica decimale:

$$(1 \times 8) + (1 \times 4) + (0 \times 2) + (1 \times 1)$$

$$= 8 + 4 + 0 + 1$$

$$= 13 \text{ (in formato decimale)}$$

Dunque il numero binario 1101 è equivalente al numero decimale 13. Sono solo due modi diversi per rappresentare la stessa entità fisica. È un po’ come dire “bonjour”, “buenos días” o “good day” invece di

“buongiorno”. Parole diverse, ma con lo stesso identico significato.

Quando si sommano due numeri binari, si utilizza la stessa metodologia impiegata per il sistema binario, ma operando in base 2. Nel sistema decimale, $1 + 1 = 2$, mentre nel sistema binario, $1 + 1 = 10$ (ricordate che il numero binario 10 rappresenta la stessa quantità del numero decimale 2). I computer usano il sistema binario per le operazioni aritmetiche poiché i circuiti elettronici all'interno dei computer possono gestire con maggiore facilità i bit, che sono semplicemente livelli alti o bassi di tensione (o corrente). Il circuito che svolge la somma all'interno di un computer contiene numerosi transistor, disposti in modo tale da far sì che quando agli ingressi del transistor vengono applicati i bit di due numeri, il circuito produca la combinazione corretta di uscite alte o basse, per rappresentare i bit della somma numerica. Il modo in cui si svolge questa operazione non rientra negli scopi di questo libro, ma, a questo punto, dovrete avere un'idea di come possano funzionare queste cose.

Assegnando i valori logici 1 e 0 a una particolare scelta on/off, si possono utilizzare questi bit per trasportare informazioni relative a eventi reali, fisici, e usare poi queste informazioni per controllare altre cose, elaborando i bit in un circuito digitale.

I valori logici 1 e 0 vengono anche chiamati vero e falso o alto e basso. Ma esattamente che cosa sono questi “uni” e “zeri” in un circuito digitale? Sono semplicemente livelli di corrente o di tensione alti o bassi, controllati ed elaborati da transistor (nel [Capitolo 6](#) abbiamo parlato del funzionamento dei transistor e di come possano essere utilizzati anche come interruttori on/off). I livelli di tensione comunemente utilizzati per rappresentare i dati digitali sono 0 V per il valore logico 0 (livello basso) e, spesso, 5 V per il valore logico 1 (livello alto).



Un *byte*, entità di cui avete sicuramente sentito parlare insieme ai bit, è semplicemente un concatenamento di 8 bit, utilizzato come unità di base delle informazioni memorizzate in un computer. La memoria di un computer, chiamata RAM (Random Access Memory) e i dispositivi di memorizzazione, come i CD e le chiavette di memoria, utilizzano i byte per organizzare grandi quantità di dati. In pratica i computer raggruppano insieme più bit all'interno di byte per semplificare la memorizzazione delle informazioni.

Elaborazione dei dati con le porte

Le *porte logiche*, o semplicemente *porte*, sono piccoli circuiti digitali che accettano in input uno o più bit di dati e producono in output un unico bit di dati il cui valore (1 o 0) è determinato da una specifica regola. Così come operatori aritmetici differenti producono risultati differenti per gli stessi due dati di ingresso (per esempio “3 PIÙ 2” produce 5, mentre “3 MENO 2” produce 1), così tipi differenti di porte logiche producono output differenti per gli stessi input.

- ✓ **Porta AND:** l'output è alto (1) solo se entrambi gli input sono alti (1). Se uno dei due input è basso (0), l'output è basso (0). Una porta AND statica ha due input, ma esistono porte AND anche a tre, quattro e otto input. Per queste porte, l'output è alto solo se tutti gli input sono alti.
- ✓ **Porta NAND:** questa funzione si comporta come una porta AND seguita da un invertitore (NAND significa NOT AND). Produce un output basso solo se tutti gli input sono alti. Se uno qualsiasi degli input è basso, l'output sarà dunque alto.
- ✓ **Porta OR:** l'output è alto se almeno uno dei due input è alto. Produce un output basso solo se entrambi gli input sono bassi. Una porta OR ha due input, ma esistono porte OR a tre e quattro input. Per queste porte, la porta OR genera un output basso solo quando tutti gli input sono bassi; se anche uno solo degli input è alto, l'output è sempre alto.
- ✓ **Porta NOR:** si comporta come una porta OR seguita da una porta

NOT. Produce un output basso se uno o più dei suoi input sono alti e genera un output alto solo se tutti gli input sono bassi.

- ✓ **Porta XOR:** la porta OR esclusivo produce un output alto solo se uno degli input è alto, ma non entrambi; altrimenti produce un output basso. Tutte le porte XOR hanno due input, ma è possibile disporre più porte XOR in cascata per creare l'effetto di una porta XOR a più input.
- ✓ **Porta XNOR:** la porta NOR esclusiva produce un output basso se uno degli input è alto, ma non entrambi. Tutte le porte XNOR hanno due input.
- ✓ **Porta NOT (negazione):** questa porta mono-input produce un output che inverte l'input: un input alto genera un output basso e viceversa.

La [Figura 7.1](#) mostra i singoli circuiti di queste porte logiche.

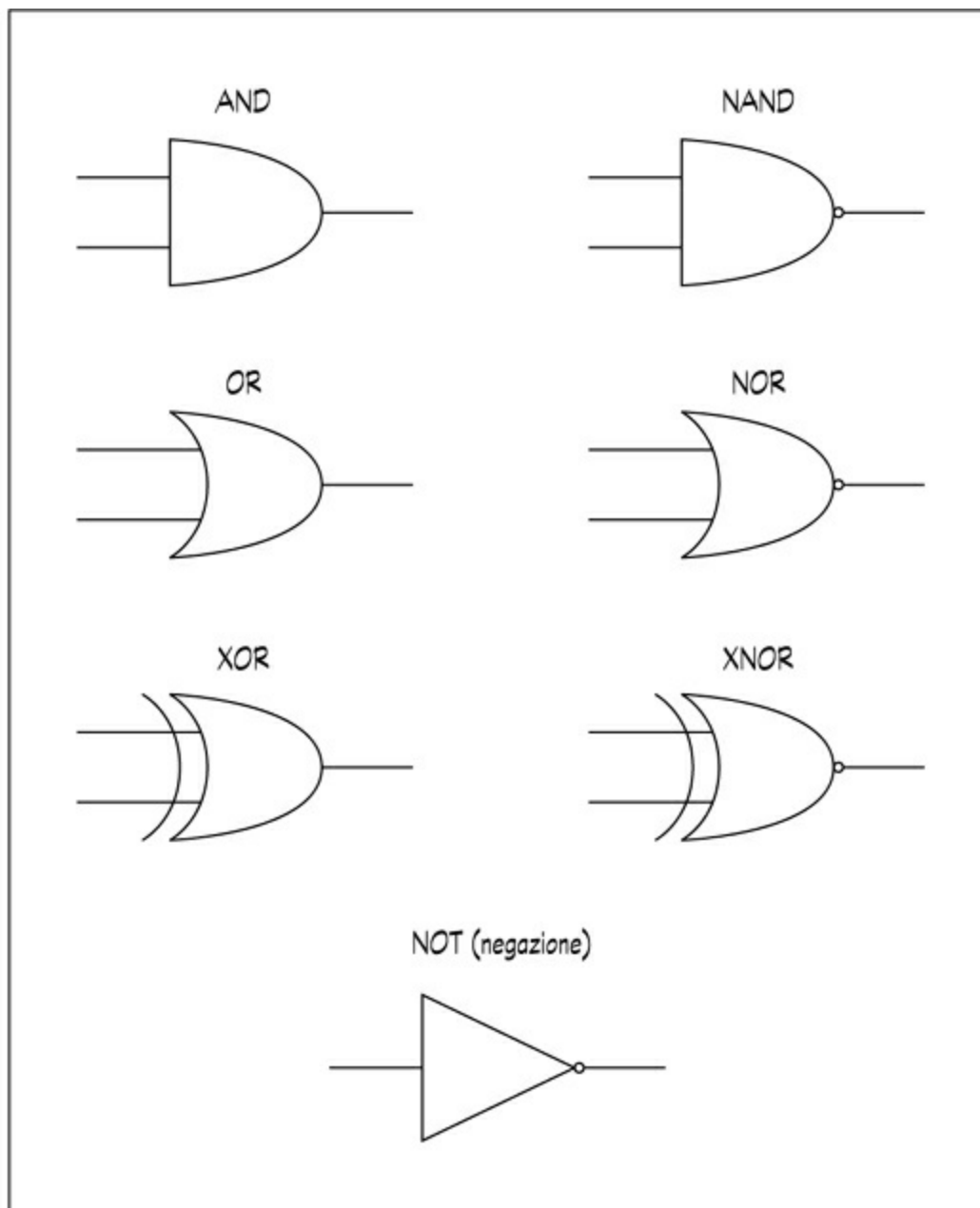


Figura 7.1 Simboli circuitali per le porte logiche (le etichette non fanno parte dei simboli).



La maggior parte delle porte logiche viene realizzata utilizzando diodi e transistor, di cui abbiamo già parlato nel [Capitolo 6](#). All'interno di ogni porta

logica si trova un circuito che dispone questi componenti in una configurazione tale per cui quando si applicano tensioni (o correnti) di ingresso che rappresentano una specifica combinazione di bit di input, si ottiene una tensione (o corrente di uscita) che rappresenta il corretto bit di output per la porta. La circuitazione è costituita da un unico chip: i *piedini* danno accesso agli input, agli output e alle connessioni di alimentazione del circuito.

Normalmente un circuito integrato contiene più porte logiche; per esempio un circuito integrato può contenere quattro porte AND a due input per realizzare un *quad 2-input AND gate* ([Figura 7.2](#)). Il chip è dotato di piedini (o pin) che portano agli input e agli output di ciascuna porta e di altri pin che consentono di connettere al circuito una fonte di alimentazione. Nel sito web del produttore, il *datasheet* del circuito integrato dice quali pin sono gli input, quali gli output, qual è il pin V+ (tensione) e quale la terra. Un *datasheet* è come un manuale utente: fornisce le specifiche tecniche e le informazioni prestazionali del chip.

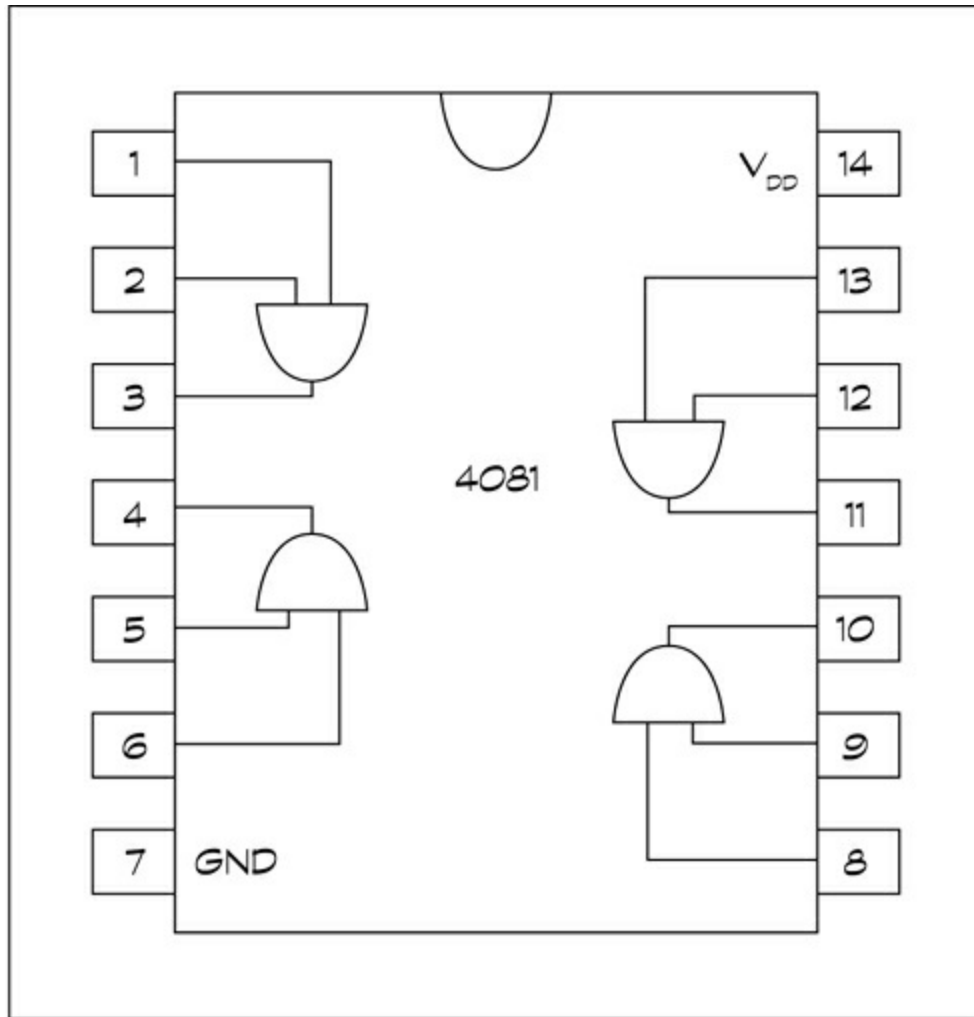


Figura 7.2 Schema funzionale del circuito integrato standard 4081 (quad 2-input AND).



Assicuratevi che il componente acquistato abbia il numero di input di cui avete bisogno per il vostro progetto. Ricordate che potete acquistare porte logiche anche con più di due input. Per esempio, potete trovare una porta AND a tre input dai principali fornitori di materiale elettronico.



Combinando solo porte NAND o solo porte NOR nel modo corretto, potete creare ogni altra funzione logica. I produttori di chip, in genere, realizzano circuiti digitali utilizzando quasi esclusivamente porte NAND o NOR, in modo da poter concentrare le loro attività di ricerca e sviluppo sull'ottimizzazione dei processi produttivi e della progettazione di queste due sole porte logiche. Questo è il motivo per cui le porte NAND e NOR sono chiamate *porte universali*.

Le porte dicono sempre la verità, tabelle alla mano

Seguire l'andamento dei livelli di input, alto o basso, attraverso le porte logiche e poi verso gli output che producono può complicare le cose, specialmente quando le porte accettano più di due input. Pertanto i progettisti utilizzano delle *tabelle della verità* per organizzare le cose. Queste tabelle elencano tutte le possibili combinazioni di input e i corrispondenti output prodotti da una determinata porta logica. La [Tabella 7.1](#) mostra le tabelle della verità per le porte logiche AND, NAND, OR, NOR, XOR, XNOR e NOT (negazione): le prime due colonne, A e B rappresentano i bit di input; le colonne rimanenti mostrano l'output prodotto dalle varie porte.

Tabella 7.1		Tabelle della verità per le porte logiche						
A	B	A AND B	A NAND B	A OR B	A NOR B	A XOR B	A XNOR B	NOT A
0	0	0	1	0	1	0	1	1
0	1	0	1	1	0	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0	1	0

Potete utilizzare le tabelle della verità anche per altri circuiti digitali, come i circuiti *semisommatori*, progettati per sommare due bit e produrre un output costituito da un bit di somma e un bit di riporto. Per esempio, per l'equazione

binaria $1 + 1 = 10$, il bit della somma è 0 e il bit di riporto è 1. La tabella della verità per il semisommatore ha il seguente aspetto:

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Riporto</i>	<i>Somma</i>
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Se osservate la colonna del bit di riporto della tabella della verità del semisommatore, potete notare che assomiglia all'output della porta AND a due input rappresentata nella [Tabella 7.1](#): in pratica, il bit di riporto equivale a $A \text{ AND } B$, dove A e B sono i due bit di input. Analogamente, il bit di somma è lo stesso di $A \text{ XOR } B$. Qual è il significato di tutto ciò? Potete realizzare un semisommatore utilizzando una porta AND e una porta XOR. Si inviano i bit di input a entrambe le porte e si usa la porta AND per generare il bit di riporto e la porta XOR per generare il bit di somma ([Figura 7.3](#)).

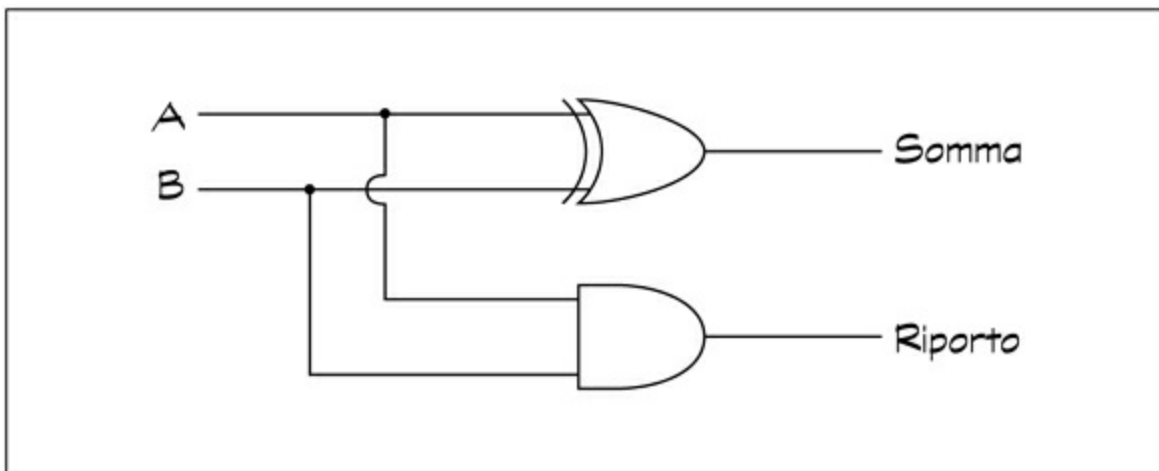


Figura 7.3 Il circuito semisommatore è costituito da una porta AND più una porta XOR.

Creazione di componenti logici

Connettendo insieme vari sommatore nel modo corretto, potete creare un

circuito digitale più complesso, che prende due input multi-bit, come 10110110 e 00110011 e produce la loro somma, 11101001 (in termini decimali si tratta della somma $182 + 51 = 233$).

Potete creare grandi quantità di funzioni complesse combinando insieme più porte AND, OR e NOT. È tutta una questione di quali porte utilizzare e come interconnetterle. È un po' come formare le parole con le lettere. Utilizzando solo 26 simboli, è possibile creare milioni di parole. Analogamente, è possibile creare circuiti che svolgono funzioni matematiche (somme, moltiplicazioni e molto altro ancora), connettendo insieme più porte nella combinazione corretta.

Nel corso degli anni, i progettisti di circuiti digitali hanno perfezionato la struttura dei sommatore e di altri circuiti digitali di uso comune, trovando modi più intelligenti per accelerare il tempo di calcolo, ridurre il consumo di energia e garantire la precisione del risultato, anche in condizioni estreme, per esempio di temperatura. Questi progetti di circuiti digitali, ben testati, si sono trasformati in circuiti integrati standard, disponibili sul mercato. In tal modo ogni altro produttore di circuiti non ha la necessità di reinventare continuamente la ruota.

Memorizzare i bit nei registri

La connessione di decine di porte a formare una complessa rete di circuiti presenta un problema di sincronizzazione. Quando cambia lo stato delle porte di ingresso di una fase logica, cambia anche quello delle porte di uscita, ma non istantaneamente; ci vuole del tempo, anche se brevissimo, perché la porta possa reagire. Queste uscite diventano però gli ingressi di un'altra fase e così via. Dispositivi logici complessi utilizzano speciali circuiti chiamati *registri* fra le varie fasi logiche, per contenere (o conservare) i bit di output di una fase per un breve istante, prima di applicarli alla fase logica successiva. I registri forniscono il proprio contenuto e accettano nuovi contenuti ricevendo un segnale chiamato *clock tick*, che dà a ogni

porta un tempo sufficiente per calcolare il proprio output. I segnali di clock vengono prodotti da speciali circuiti di precisione. Per informazioni sul modo in cui creare blocchi e registri, consultate il paragrafo dedicato al *timer 555*, più avanti in questo capitolo.

Come impiegare i circuiti integrati

I circuiti integrati non sono altro che gruppi di componenti discreti (resistenze, condensatori e transistor); i loro due o più piedini sono però connessi direttamente all'interno del chip. I componenti in miniatura cablati in un circuito integrato sono già interconnessi a formare un unico grosso circuito, pronto per svolgere un compito complesso ben preciso. Basta aggiungere alcuni ingredienti, per esempio l'alimentazione e uno o più segnali di input, e il circuito integrato svolgerà il proprio compito. Tutto molto semplice, vero? Proprio così. Dovete solo imparare a “leggere” i circuiti integrati, perché tutti hanno l'aspetto di piccole creature nere con tante zampette e dunque è importante sapere come eseguire le connessioni corrette.

Identificare i circuiti integrati

Ogni circuito integrato ha un proprio codice, per esempio 7400 o 4017, che identifica il tipo di dispositivo (il circuito) che si trova al suo interno. Potete utilizzare questo codice (part number) per ricercare le specifiche e i parametri relativi a un circuito integrato in una guida di riferimento o tra le risorse online. Tale codice è sempre indicato sopra il chip.



Molti circuiti integrati contengono anche altre informazioni, compreso il numero di codice del produttore e talvolta anche un codice che rappresenta la

data di produzione del chip. Non confondete questi altri valori con il codice del chip. I produttori non si sono accordati su un metodo universale per indicare i codici e le date sui circuiti integrati e quindi talvolta è necessaria un po' di immaginazione per trovare, sul chip, il nome del circuito integrato.

Parliamo del “contenitore”

I regali più preziosi, spesso si trovano in contenitori molto piccoli. Molti circuiti integrati che possono entrare nel palmo di una mano contengono circuiti incredibilmente complessi; per esempio, un'intera radio AM/FM (escludendo solo la batteria e l'antenna) può rientrare in un circuito integrato che ha le dimensioni di una moneta. L'effettivo circuito, poi, è talmente piccolo che i produttori devono collocarlo in un contenitore plastico o ceramico di dimensioni ragionevoli, perché possa essere manipolato con le dita. Durante il processo di *assemblaggio dei chip*, i piedini vengono connessi ai punti appropriati del circuito e alimentati in modo da garantire il flusso della corrente che entra, attraversa ed esce dal circuito.

Molti circuiti integrati utilizzati nei progetti elettronici hobbistici sono assemblati in *DIP (Dual Inline Package)* come quelli rappresentati nella [Figura 7.4](#). I DIP (chiamati anche DIL), sono oggettini rettangolari in plastica o ceramica, con due file parallele di piedini, detti pin. I DIP hanno da 8 a 52 pin, ma in genere hanno 8, 14 o 16 pin e sono progettati per poter essere *collocati in appositi fori* ricavati sui circuiti stampati; i pin entrano in appositi fori della scheda e vengono saldati all'estremità opposta. Potete saldare i pin dei DIP direttamente sulla scheda oppure utilizzare degli zoccoli progettati appositamente per ospitare il chip senza piegare i pin. Potete pertanto saldare al circuito i contatti dello zoccolo e poi inserire il chip nello zoccolo. I DIP entrano anche nei fori delle breadboard, schede forate che consentono di eseguire connessioni senza saldature (ne parleremo nel [Capitolo 11](#)), per semplificare la realizzazione di prototipi di un circuito.



I circuiti integrati utilizzati nei prodotti di massa sono generalmente più complessi e richiedono un numero di pin più elevato rispetto ai DIP e dunque i produttori hanno sviluppato (e continuano a sviluppare) nuovi modi per costruire circuiti integrati e connetterli alle schede stampate. Per risparmiare spazio sulla scheda, la maggior parte dei circuiti integrati di oggi viene montata direttamente sulle connessioni metalliche tracciate sulla scheda stessa. In questo caso si parla di tecnologia *SMT* (*Surface-Mount Technology*) e molti circuiti integrati sono progettati proprio per essere impiegati in questo modo. Un particolare tipo di circuito integrato a montaggio superficiale è chiamato *SOIC* (*Small-Outline Integrated Circuit*) e ha l'aspetto di un DIP particolarmente corto e stretto, con piedini piegati.

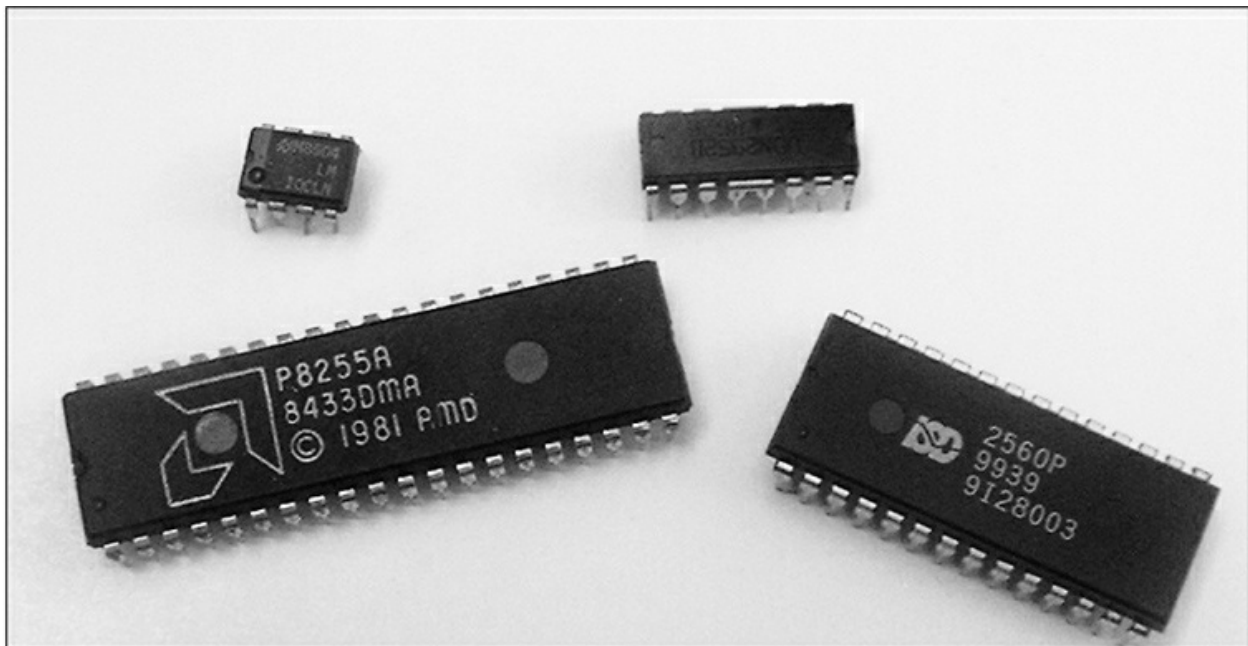


Figura 7.4 Un formato molto diffuso per i circuiti integrati si chiama DIP (Dual Inline Package).



L'installazione SMT è adottata così ampiamente che spesso è difficile trovare determinati circuiti integrati venduti anche in formato DIP. Se volete utilizzare in una breadboard un circuito integrato a montaggio superficiale

(perché non riuscite a trovare la versione DIP) senza saldarlo, cercate un particolare modulo adattatore DIP che converte i vari circuiti integrati a montaggio superficiale in versioni “standard”, che potete inserire direttamente nella breadboard. Aprite il vostro motore di ricerca preferito in Internet e digitate “adattatore DIP” per trovare un elenco di fornitori.



Alcuni circuiti integrati sono molto sensibili all'elettricità statica (ne abbiamo già parlato nel [Capitolo 1](#)) e dunque, quando li conservate, fate attenzione a racchiuderli all'interno di particolari contenitori conduttivi, disponibili presso la maggior parte dei fornitori di materiale elettronico. Prima di maneggiare un circuito integrato, assicuratevi di scaricarvi toccando un materiale conduttivo connesso a terra (per esempio il contenitore metallico del computer, per evitare di fulminare il circuito integrato e poi scoprire che non funziona più). Non contate troppo sulle condutture metalliche di casa per ottenere una corretta dissipazione della carica statica. Molti sistemi idraulici domestici utilizzano dei tubi di plastica e pertanto può capitare che i tubi metallici visibili in casa non siano necessariamente connessi a terra.

Controllare la piedinatura dei circuiti integrati

I piedini dei circuiti integrati forniscono i contatti dei piccoli circuiti integrati al loro interno; tuttavia i piedini non recano alcuna indicazione sul corpo del circuito integrato e dunque occorre contare su un datasheet per eseguire le connessioni. Fra tutte le informazioni, il datasheet fornisce anche la *piedinatura* del circuito integrato, che descrive il significato di ciascun piedino.



Potete trovare i datasheet dei circuiti integrati più comuni (e anche di molti circuiti integrati poco comuni) direttamente su Internet, utilizzando un

qualsiasi motore di ricerca.

Per determinare il significato di ciascun pin, occorre guardare il circuito integrato dalla “schiena” (non dalla “pancia” di queste creaturine) e cercare un piccolo intaglio nel corpo dell’integrato, ma può essere anche un piccolo rilievo o una striscia bianca o colorata. Per convenzione, i pin di un circuito integrato sono numerati in senso antiorario a partire dall’angolo superiore sinistro più vicino al contrassegno. Per esempio, orientando il contrassegno in posizione “Ore 12”, i pin di un circuito integrato da 14 pin sono numerati da 1 a 7 scendendo sul lato sinistro e poi da 8 a 14 risalendo dal lato destro, come illustrato nella [Figura 7.5](#).

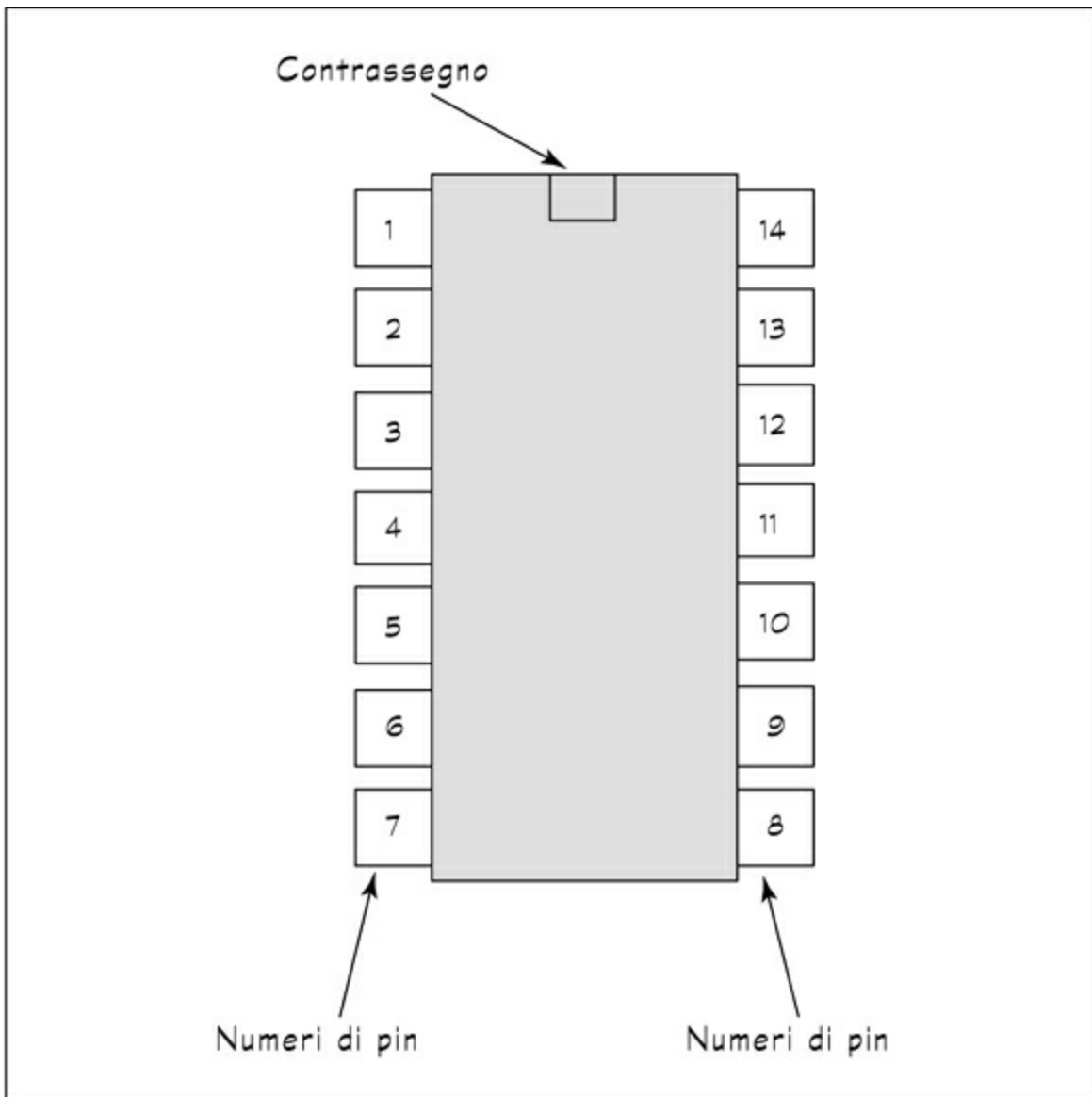


Figura 7.5 Numerazione dei pin di un circuito integrato. Si procede in senso antiorario da sinistra a destra.



È errato supporre che i tutti i circuiti integrati con lo stesso numero di pin abbiano la stessa *piedinatura* (disposizione dei contatti esterni) o anche che utilizzino gli stessi pin per le connessioni di alimentazione. E non eseguite mai (*mai!*) connessioni casuali con i pin dei circuiti integrati, immaginando di

provare i contatti fino a trovare la combinazione che funziona. Questo è un modo sicuro per distruggere questo povero e indifeso circuito.

Molti schemi circuitali indicano le connessioni con i circuiti integrati mostrando un profilo dell'integrato con dei numeri a lato di ciascun pin. I numeri corrispondono alla sequenza antioraria dei pin del dispositivo, visto dall'alto (ricordate sempre che si parte da 1 all'angolo superiore sinistro e si conta in senso antiorario lungo il perimetro del chip). È possibile connettere con facilità un circuito integrato con questo genere di schemi, poiché non è necessario ricercare il dispositivo in un libro o in un datasheet. Basta assicurarsi di seguire lo schema e contare correttamente i pin.

Corrente in ingresso e in uscita

Poiché i componenti interni dei circuiti integrati non sono visibili, è difficile capire esattamente come si muove la corrente quando si connette un carico o un altro circuito ai piedini di uscita dei circuiti integrati. Tipicamente, i datasheet specificano quanta corrente l'uscita di un circuito integrato può *alimentare*. Un piedino si dice di uscita (output) quando vi è della corrente che esce dal piedino e di ingresso (input) quando la corrente va verso il piedino. Se connettete un dispositivo, per esempio una resistenza, fra un piedino di uscita e il terminale positivo di una fonte di alimentazione e l'uscita va bassa (0 V), la corrente scorrerà attraverso la resistenza verso il circuito integrato e il circuito integrato scaricherà la corrente. Se connettete una resistenza fra il pin di uscita e la linea negativa (terra) e l'uscita va alta, la corrente scorrerà in uscita dal circuito integrato e attraverso la resistenza: il circuito integrato fornirà corrente. Consultate il datasheet per conoscere la corrente massima di origine o di uscita (normalmente si tratta dello stesso valore) di un circuito integrato.

Se nello schema non sono riportati numeri, dovrete trovare una copia dello

schema di piedinatura. Per i circuiti integrati standard, potete trovare questi schemi nei manuali di riferimento oppure online; per i circuiti integrati non standard, dovrete visitare il sito Web del produttore per trovare il datasheet.

I datasheet dei circuiti integrati

I datasheet dei circuiti integrati sono come manuali d'uso, in quanto forniscono informazioni dettagliate sul loro funzionamento interno, sul comportamento all'esterno e sull'utilizzo consigliato. Vengono creati dai produttori e normalmente sono costituiti da parecchie pagine. Fra le informazioni contenute in un datasheet vi sono le seguenti.

- ✓ Nome del produttore.
- ✓ Nome del circuito integrato e numero di parte.
- ✓ Formati disponibili (per esempio DIP 14-pin) e foto di ciascun formato.
- ✓ Dimensioni e piedinatura.
- ✓ Breve descrizione funzionale.
- ✓ Livelli minimo/massimo (per esempio in termini di tensione di alimentazione, correnti, potenza e temperature).
- ✓ Condizioni operative consigliate.
- ✓ Forme d'onda di ingresso/uscita (per mostrare il modo in cui il chip cambia un segnale di ingresso).

Molti datasheet comprendono semplici schemi circuitali, che illustrano come utilizzare il circuito integrato in un circuito più completo. Potete ottenere ottime indicazioni e buone idee dai datasheet dei circuiti integrati. Uno dei casi in cui può essere davvero utile leggere il manuale di ciò che si usa.



I produttori spesso pubblicano delle note applicative per i propri circuiti integrati. Una *nota applicativa* è un documento di più pagine che spiega, più in dettaglio rispetto al datasheet, come utilizzare il circuito integrato in un'applicazione, un circuito progettato per svolgere un compito pratico ben preciso.

Alcuni circuiti integrati di largo uso

Potete trovare sul mercato una disponibilità praticamente infinita di circuiti integrati, ma due in particolare sono diffusissimi per la loro versatilità e facilità d'uso: l'amplificatore operazionale (una vera e propria "classe" di circuiti integrati) e il timer 555. Dovreste conoscere questi due circuiti piuttosto bene se prevedete di sviluppare con una certa serietà le vostre conoscenze di elettronica.

In questo paragrafo descriveremo questi due noti circuiti integrati e anche un terzo, il contatore decimale CMOS 4017. Parleremo del timer 555 e del contatore decimale 4017 nei progetti del [Capitolo 15](#) e dunque, in queste poche pagine, non faremo altro che offrire una rapida introduzione al loro funzionamento.

Amplificatori operazionali

La classe più diffusa di circuiti integrati analogici non lineari (analogici) è rappresentata indubbiamente dagli *amplificatori operazionali* (*op amp*), progettati per dare maggiore intensità a un segnale debole, "amplificandolo". Un amplificatore operazionale è costituito da numerosi transistor, resistenze e condensatori e offre prestazioni più efficaci rispetto a un semplice transistor. Per esempio, un amplificatore operazionale può fornire un'amplificazione uniforme in una gamma di frequenze più ampia (*ampiezza di banda*) rispetto a un amplificatore costituito da un singolo transistor.

Molti amplificatori operazionali vengono forniti come DIP da 8 pin ([Figura 7.6](#)) e comprendono due pin di ingresso (il pin 2, chiamato *inverting input* e il pin 3, chiamato *noninverting input*) e un pin di uscita (il pin 6). Un

amplificatore operazionale è un tipo di *amplificatore differenziale*: la circuizione all'interno dell'amplificatore produce un segnale di uscita che è un multiplo della *differenza* fra i segnali applicati ai due ingressi. Questa configurazione può aiutare a eliminare i rumori (le tensioni indesiderate) nel segnale di ingresso, sottraendo il rumore da ciò che viene amplificato.

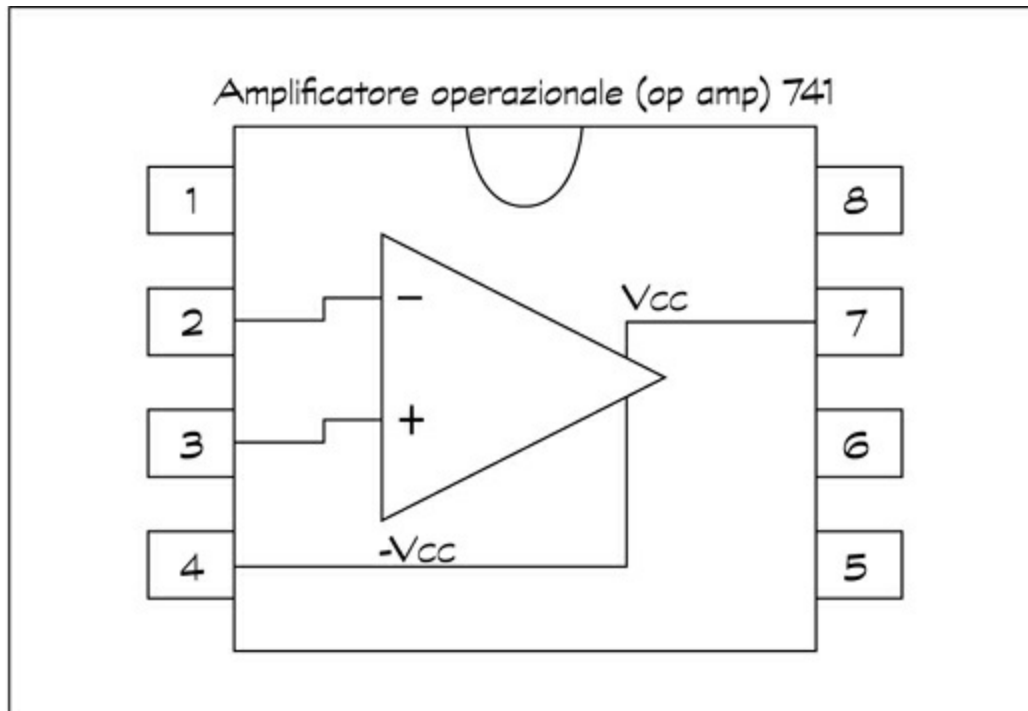


Figura 7.6 Piedinatura di un amplificatore operazionale standard a 8 pin (LM741).

Potete configurare un amplificatore operazionale perché moltiplichi il segnale di ingresso per un particolare fattore di guadagno, determinato dalle resistenze esterne. Una di queste configurazioni, chiamata *amplificatore invertente* è rappresentata nella [Figura 7.7](#). Il guadagno del circuito dell'amplificatore invertente è dato dai valori delle resistenze connesse all'amplificatore operazionale:

$$\text{Guadagno} = R_2/R_1$$

Per esempio, se il valore di R_2 è 10 k Ω è quello di R_1 è 1 k Ω , allora il guadagno è 10. Con un guadagno di un fattore 10, un segnale di ingresso da 1 V (valore di picco) produce un segnale di uscita da 10 V (picco).

Per utilizzare l'amplificatore invertente, si applica un segnale (per esempio, dall'uscita di un microfono) ai pin di ingresso; il segnale, amplificato varie volte, compare poi all'uscita, dove può pilotare un componente (per esempio un altoparlante). Per il modo in cui è configurato l'amplificatore operazionale della [Figura 7.7](#), il segnale di ingresso viene *invertito*, per produrre il segnale di uscita.

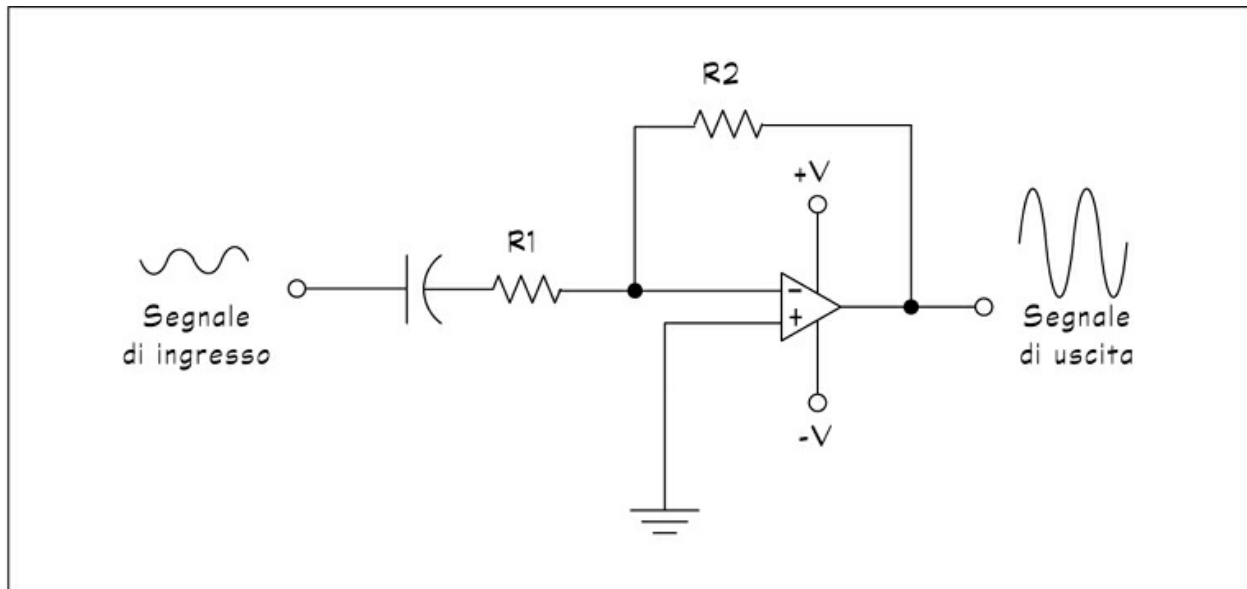


Figura 7.7 Un circuito invertente fornisce un guadagno uniforme in un'ampia gamma di frequenze.



La maggior parte degli amplificatori operazionali richiede due tensioni di alimentazione: una tensione di alimentazione positiva compresa fra 8 e 12 V (connessa al pin 7) e una tensione di alimentazione negativa compresa tra -8 e -12 V (connessa al pin 4). Potete trovare con facilità note applicative su come utilizzare questo amplificatore operazionale a doppia alimentazione utilizzando un'unica fonte di alimentazione.

Esiste un'enorme varietà di amplificatori operazionali in vendita a prezzi compresi fra i pochi centesimi, per un integrato standard, come il LM741, a

più di 100 euro per amplificatori operazionali ad alte prestazioni.

La macchina del tempo dei circuiti integrati: il timer 555

Uno dei circuiti integrati più diffusi e facili da usare è il versatile timer 555, introdotto nel 1971 e tuttora in uso, con più di un miliardo di unità prodotte ogni anno. Questo piccolo “cavallo da soma” può essere utilizzato per una varietà di funzioni in circuiti analogici e digitali, ma soprattutto per temporizzazioni di precisione (con intervalli che vanno dai microsecondi alle ore) ed è la pietra angolare di molti progetti che potete realizzare voi stessi, compresi alcuni di quelli presentati nel [Capitolo 15](#).

La [Figura 7.8](#) illustra la piedinatura del timer 555. Ecco alcuni dei piedini più importanti.

- ✓ **Trigger Input:** quando applicate una bassa tensione al pin 2, avviate il circuito timer interno. In questo caso si parla di *trigger attivo basso*.
- ✓ **Pin di output:** la forma d'onda di uscita compare sul pin 3.
- ✓ **Reset:** se applicate una tensione bassa al pin 4, eseguite il reset del timer e il pin di output (pin 3) va basso. Alcuni circuiti non utilizzano la funzione di Reset e questo pin è connesso all'alimentazione positiva.
- ✓ **Control Voltage:** per non sovraccaricare il circuito interno del trigger non applicate una tensione al pin 5. In generale connettete il pin 5 a terra, preferibilmente attraverso un condensatore da 0,01 μF .
- ✓ **Threshold Input:** quando la tensione applicata al pin 6 raggiunge un determinato livello soglia (normalmente i due terzi della tensione di alimentazione positiva), il ciclo del timer termina. Dovete connettere una resistenza fra il pin 6 e la fonte di alimentazione positiva. Il valore di questa resistenza di *temporizzazione* influenza la lunghezza

del ciclo di temporizzazione.

- ✓ **Discharge Pin:** dovete connettere un condensatore al pin 7. Il tempo di scarica del condensatore determina la lunghezza dell'intervallo di temporizzazione.

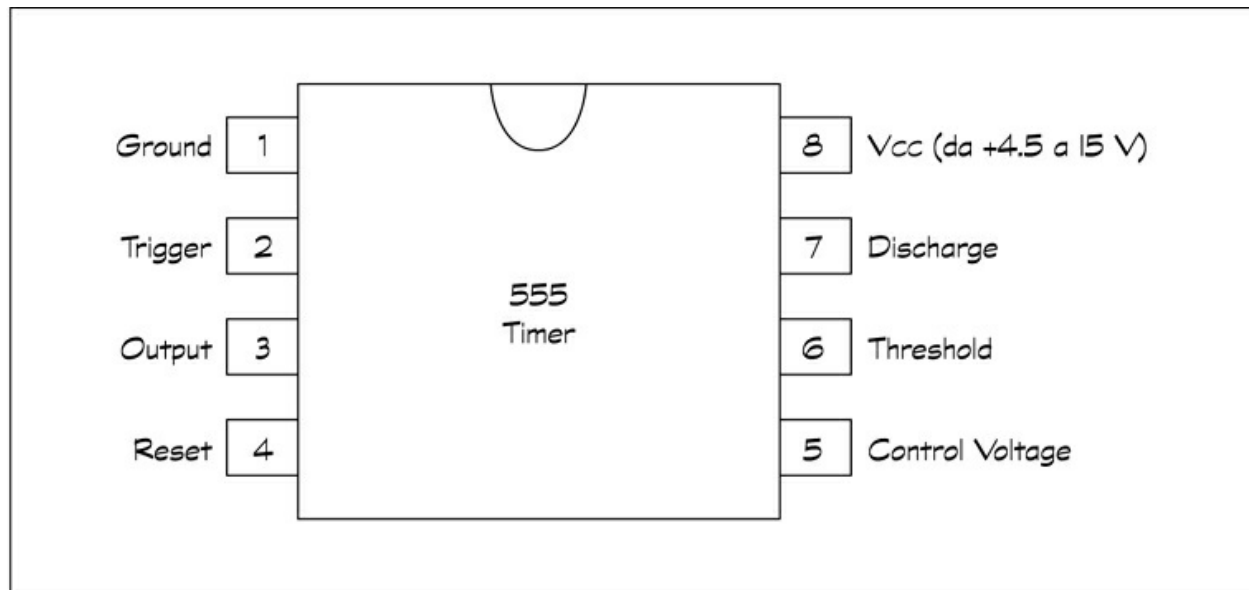


Figura 7.8 Piedinatura del timer 555.



Potete trovare vari modelli del timer 555. Il timer 556 è una versione doppia del timer 555, alloggiata in un DIP da 14 pin. I due timer interni condividono gli stessi pin di alimentazione.

Connettendo un po' di resistenze, condensatori e interruttori ai vari pin del timer 555, potete far sì che questo piccolo gioiello svolga varie funzioni differenti, e il tutto in modo molto semplice. Potete trovare informazioni dettagliate e facili da seguire delle sue varie applicazioni sui datasheet. Qui parleremo di tre modi comunemente utilizzati per configurare un circuito di temporizzazione utilizzando un 555.

Multivibratore astabile (oscillatore)

Il 555 può comportarsi come un *multivibratore astabile* che è solo un termine tecnico per descrivere una specie di metronomo elettronico. Connettendo al chip pochissimi componenti (come illustrato nella [Figura 7.9](#)), potete configurare il 555 per produrre una serie continua di impulsi di tensione che si alternano automaticamente fra il valore basso (0 V) e il valore alto (la tensione positiva di alimentazione, V_s), come illustrato nella [Figura 7.10](#). Il termine *astabile* fa riferimento al fatto che questo circuito non giunge a uno stato stabile, ma continua a oscillare fra due diversi stati. Questo circuito auto-attivante è chiamato anche *oscillatore*.

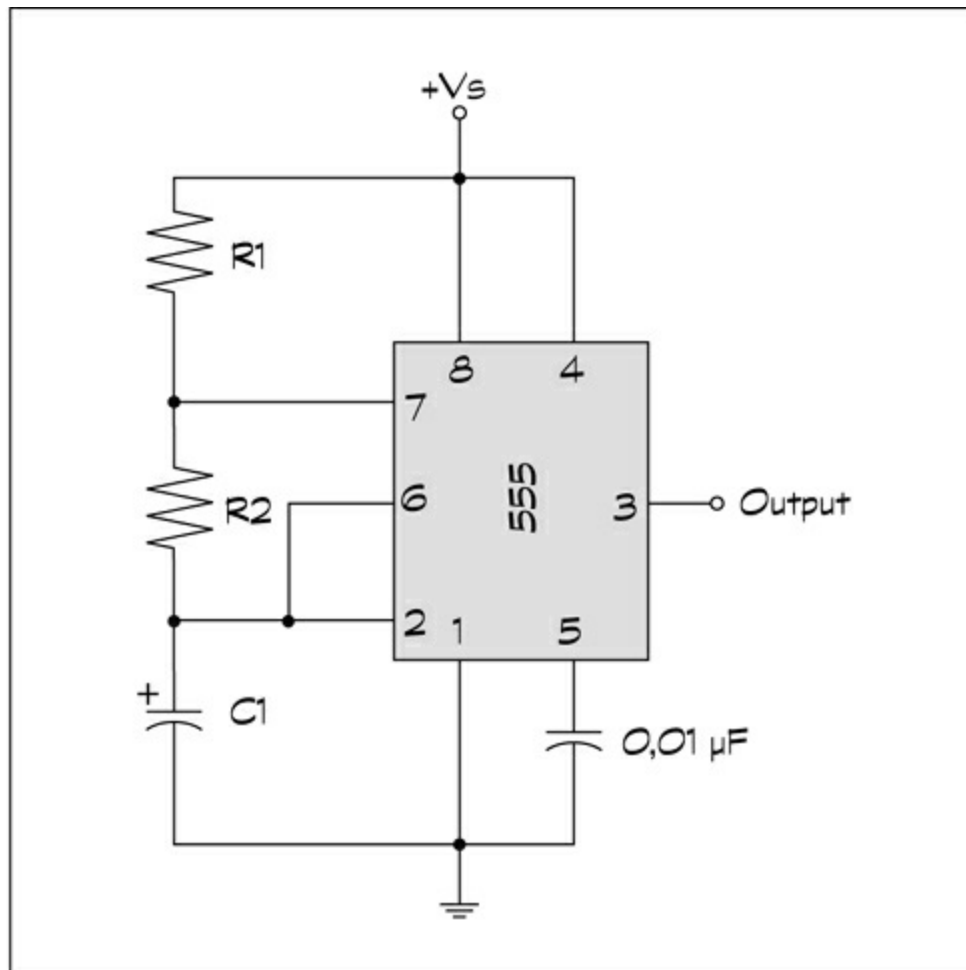


Figura 7.9 Realizzazione di un circuito multivibratore astabile con un 555.

Potete utilizzare il multivibratore astabile 555 per molte cose divertenti.

- ✓ **Luci lampeggianti:** un treno di impulsi a bassa frequenza (inferiore a 10 Hz) può controllare il funzionamento on/off di un LED o di una lampadina (rimandiamo al progetto *Luci lampeggianti* nel [Capitolo 15](#)).
- ✓ **Metronomo elettronico:** utilizzate un treno di impulsi a bassa frequenza (meno di 20 Hz), come ingresso per un altoparlante o per un trasduttore piezoelettrico per generare un clic periodico.
- ✓ **Allarmi:** impostando la frequenza nella gamma audio (da 20 Hz a 20 kHz) e inviando l'uscita a un altoparlante o a un trasduttore piezoelettrico, potete produrre un tono intenso e fastidioso (consultate i progetti *Spaventare i cattivi con una sirena* e *Luci lampeggianti* nel [Capitolo 15](#)).
- ✓ **Clock di un chip logico:** potete regolare l'ampiezza dell'impulso per farla corrispondere alle specifiche del segnale di clock della logica interna di un chip, per esempio il contatore decimale 4017 che descriveremo più avanti in questo capitolo (consultate il progetto *Un generatore di effetti luminosi* nel [Capitolo 15](#)).

La frequenza f (in hertz), che è il numero di cicli completi alto/basso al secondo, dell'onda quadra prodotta è determinata dalla scelta di tre componenti esterni, sulla base della seguente equazione:

$$F = \frac{1.4}{(R_1 + 2R_2) \times C_1}$$

Se scambiate il numeratore e il denominatore di questa equazione, ottenete il *periodo* (T), che è il tempo (in secondi) di un impulso completo alto/ basso:

$$T = 0,7 \times (R_1 + 2R_2) \times C_1$$

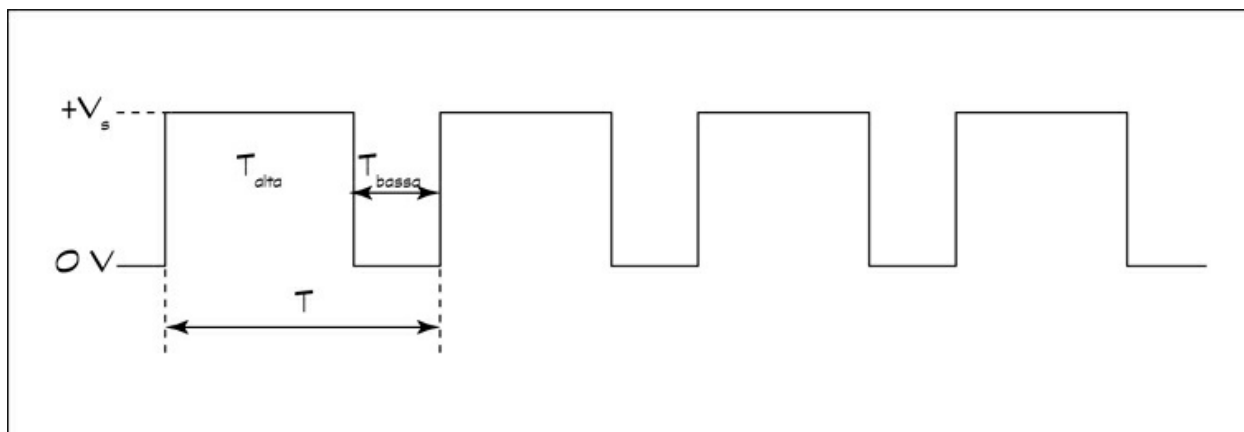


Figura 7.10 Serie di impulsi di tensione prodotti da un circuito multivibratore astabile 555. L'ampiezza dell'impulso è controllata dai componenti esterni.

Potete configurare il circuito in modo che l'ampiezza della parte superiore dell'impulso sia differente dall'ampiezza della parte inferiore dell'impulso. Per determinare l'ampiezza della parte superiore dell'impulso (espressa come T_{alta}), utilizzate la seguente equazione:

$$T_{alta} = 0,7 \times (R_1 + R_6) \times C_1$$

Per determinare l'ampiezza della parte inferiore dell'impulso (espressa come T_{bassa}) operate nel seguente modo:

$$T_{bassa} = 0,7 \times R_2 \times C_1$$

Se R è molto, molto maggiore di R_1 , allora le ampiezze alta e bassa dell'impulso saranno praticamente uguali. Se $R_2 = R_1$, allora la porzione superiore dell'impulso sarà il doppio della porzione inferiore.



Potete utilizzare anche un potenziometro (una resistenza variabile) in serie con una piccola resistenza come R_1 o R_2 per regolare la resistenza in modo da far variare gli impulsi.

Ecco alcuni suggerimenti per scegliere i valori di R_1 , R_2 e C_1 .

- 1. Scelta di C_1** Decidete quale intervallo di frequenza volete generare e scegliete un condensatore appropriato. Più basso è l'intervallo di frequenze, più elevato dovrà essere il condensatore scelto (supponete che R_1 e R_2 siano comprese fra $10\text{ k}\Omega - 1\text{ M}\Omega$). Per molte applicazioni a bassa frequenza, possono essere impiegati condensatori compresi fra $0,1$ e $10\text{ }\mu\text{F}$. Per applicazioni ad alta frequenza, scegliete un condensatore nella gamma $0,01 - 0,001\text{ }\mu\text{F}$.
- 2. Scelta di R_2** . Decidete quanto deve essere ampia la parte inferiore dell'impulso e scegliete il valore di R_2 che produrrà tale larghezza, sulla base del valore di C_1 che avete già determinato.
- 3. Scelta di R_1** . Decidete quanto deve essere ampia la parte superiore dell'impulso. Utilizzate i valori di C_1 e R_2 , già scelti e calcolate il valore di R_1 che produrrà l'ampiezza desiderata per la parte superiore dell'impulso.

Multivibratore monostabile (un impulso)

Costruendo il timer 555 come indicato nella [Figura 7.11](#), potete utilizzarlo come un *multivibratore monostabile*, che genera un unico impulso (*one-shot*) nel momento in cui viene attivato. Senza attivazione, questo circuito produce una tensione bassa (0); questo è il suo stato stabile. Quando viene attivato chiudendo la connessione fra il pin 2 e la terra, questo circuito genera un impulso di uscita al livello della tensione erogata, V_s . L'ampiezza dell'impulso, T , è determinata dal valore di R_1 e C nel seguente modo:

$$T = 1,1 \times R_1 \times C_1$$

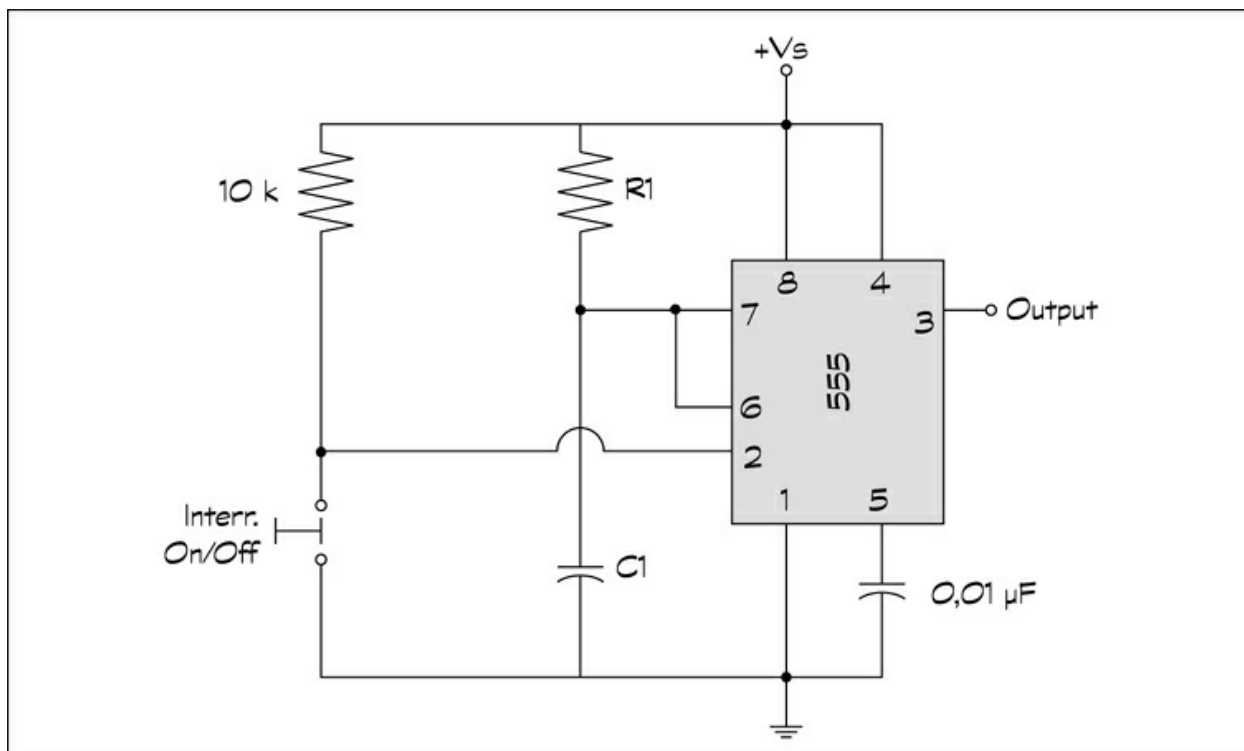


Figura 7.11 Attivazione chiudendo l'interruttore al pin 2, il circuito monostabile 555 produce un unico impulso la cui ampiezza è determinata dai valori di R_1 e C_1 .



Poiché i valori del condensatore possono variare anche del 20%, per produrre l'ampiezza di impulso desiderata potreste dover scegliere una resistenza con un valore un po' diverso rispetto a quello calcolato dalla formula.



Potete utilizzare un monostabile per attivare un dispositivo logico digitale (come il contatore decimale CMOS 4017 descritto più avanti in questo capitolo). Gli interruttori meccanici tendono a produrre “rimbalzi” quando vengono chiusi, producendo più picchi di tensione, che un circuito integrato

digitale può interpretare erroneamente come segnali distinti. Al contrario, se usate l'interruttore per attivare il monostabile e utilizzate l'uscita del monostabile per attivare il circuito integrato digitale, avrete l'effetto di eliminare ogni eventuale rimbalzo prodotto dall'interruttore manuale.

Multivibratore bistabile (flip-flop)

Se un circuito astabile non ha alcuno stato stabile e un circuito monostabile ha uno stato stabile, allora che cosa può essere un circuito bistabile? Se avete immaginato che un circuito bistabile sia un circuito che abbia due stati stabili, avete indovinato. Il *multivibratore bistabile* 555 rappresentato nella [Figura 7.12](#) produce alternanze fra tensioni alta (V_s) e bassa (0 V), passando da uno stato all'altro solo quando viene attivato. Tale circuito è comunemente chiamato *flip-flop*. Non vi è alcuna necessità di calcolare i valori delle resistenze; l'attivazione del Trigger controlla la temporizzazione degli impulsi generati.

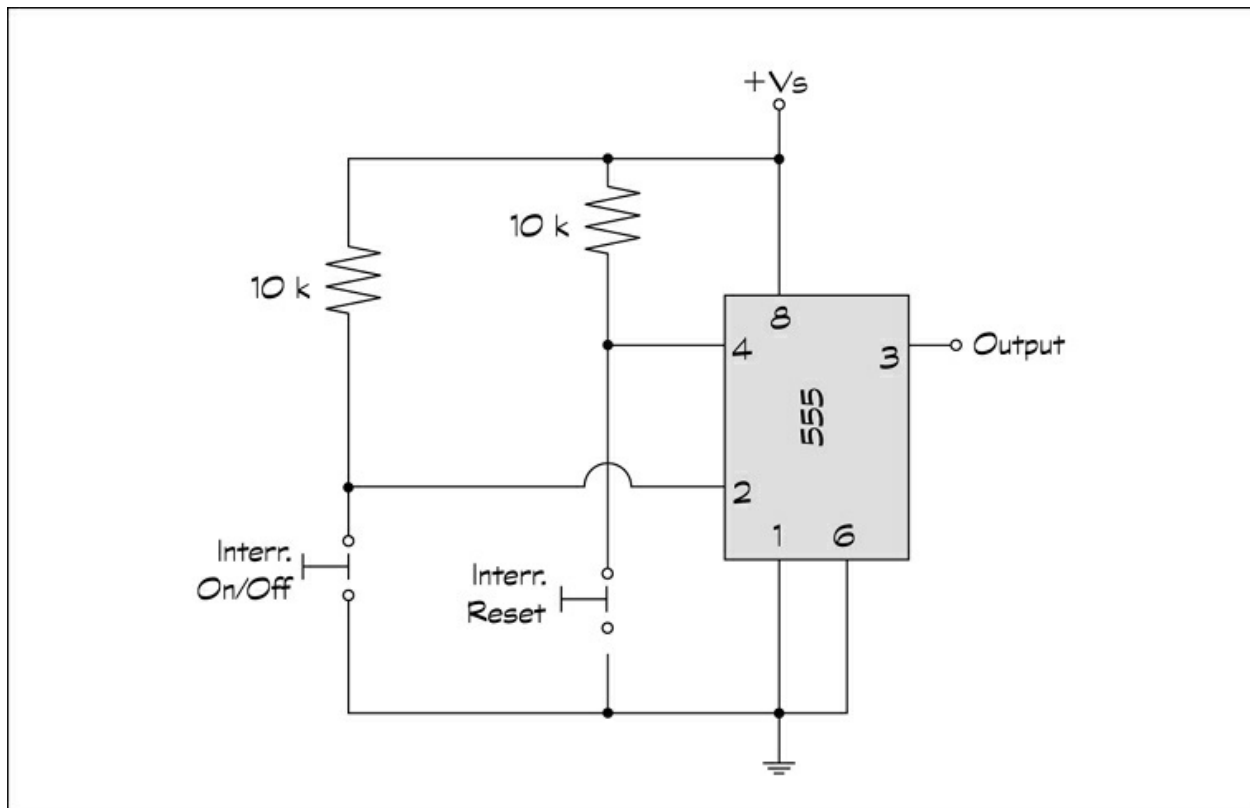


Figura 7.12 Il circuito bistabile 555 (flip-flop) produce un output elevato quando viene attivato dall'interruttore al pin 2 e un output basso quando viene eseguito il



Poiché rimane basso o alto finché non viene riattivato, un flip-flop può essere utilizzato per conservare un bit di dati (ricordate che un bit può essere 0 o 1, che è, rispettivamente, un livello di tensione bassa o alta). I registri utilizzati per conservare gli output temporanei fra le varie fasi delle logiche sono costituiti da più flip-flop. I flip-flop vengono anche utilizzati in alcuni circuiti contatori digitali, contenendo i bit in una serie di registri interconnessi che formano un array, il cui output compone una sequenza di bit che rappresenta il conteggio.



Potete utilizzare vari tipi di circuiti timer 555 per attivare altri circuiti timer 555. Per esempio, potete utilizzare un oscillatore per attivare un flip flop (utili per i registri di clock). Oppure potete utilizzare un monostabile per produrre un tono temporaneo di volume basso e, quando termina, cambiare lo stato di un flip-flop il cui output attiva un oscillatore che invia impulsi a un altoparlante. Tale circuito può essere utilizzato in un sistema di allarme domestico: all'ingresso in casa, il proprietario (o l'intruso) ha circa 10 secondi per disattivare l'allarme (e nel frattempo ascolta un tono di avvertimento a basso volume); poi parte la sirena che avverte il vicinato.

Vari tipi di logica

Sono vari i modi con cui i produttori possono realizzare circuiti integrati digitali. Si può realizzare una singola porta utilizzando una resistenza e un transistor o semplicemente transistor bipolari o semplicemente MOSFET (un altro tipo di transistor) o altre

combinazioni di componenti. Alcuni approcci progettuali facilitano l'inserimento di grandi quantità di porte, insieme, in un chip, mentre altri approcci portano a realizzare circuiti più veloci o con un minore consumo di energia.

Ogni circuito integrato digitale è classificato sulla base dell'approccio progettuale e della tecnologia di elaborazione utilizzata per realizzare i suoi circuiti interni. Queste classificazioni sono chiamate *famiglie logiche*. Vi sono letteralmente decine di famiglie, ma le più famose sono TTL e CMOS.

TTL (*Transistor-Transistor Logic*) usa transistor bipolari per realizzare porte e amplificatori. Si tratta di sistemi relativamente economici in termini progettuali, ma che generalmente consumano una certa potenza e richiedono una specifica tensione di alimentazione (5 V). Vi sono varie ramificazioni nella famiglia TTL e in particolare la serie *Low-Power Schottky*, che richiede circa un quinto della potenza della tecnologia TTL standard. La maggior parte dei circuiti integrati TTL ha un codice 74xx o 74xxx, dove le "x" specificano un tipo particolare di dispositivo logico. Per esempio, il 7400 è una porta quad 2-input NAND. La versione Low-Power Schottky di questo chip si chiama 74LS00.

CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) è un tipo di tecnologia utilizzata per realizzare MOSFET (*Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor*). I chip CMOS sono un po' più costosi rispetto ai loro equivalenti TTL, ma richiedono molta meno potenza e operano su una gamma più ampia di tensioni di alimentazione (da 3 a 15 V). Sono molto sensibili all'elettricità statica e dunque richiedono particolari cautele. Alcuni chip CMOS sono equivalenti in termini di piedinatura ai chip TTL che sono identificati dalla lettera "C" all'interno del codice di parte. Per esempio, il 74C00 è una porta CMOS quad 2-input NAND con la stessa piedinatura del suo cugino, il circuito integrato TTL 7400. I chip della serie 40xx, per esempio il contatore decimale 4017 e il driver per display a 7 segmenti 4511, sono tutti membri della famiglia CMOS.

Contare con il contatore decimale 4017

Il CMOS 4017, rappresentato nella [Figura 7.13](#), è un circuito integrato a 16 pin che “conta” da 0 a 9 quando viene attivato. Quando viene applicato un segnale al pin 14, i pin 1-7 e 9-11 passano da basso ad alto uno alla volta (naturalmente non sono disposti in un rigido ordine antiorario; dovete controllare la piedinatura per determinarne l’ordine) potete utilizzare il contatore per accendere dei LED (come nel progetto *Un generatore di effetti luminosi* presentato nel [Capitolo 15](#)) o per attivare un trigger che a sua volta controlla un altro circuito.

Il conteggio può avere luogo solo quando il pin *Disable* (13) è basso; potete disabilitare il conteggio applicando un segnale alto al pin 13. Potete anche forzare il contatore a tornare a 0 (ciò significa che l’uscita “0”, ovvero il pin 3, va alto), applicando un segnale alto (+V) al pin 14.

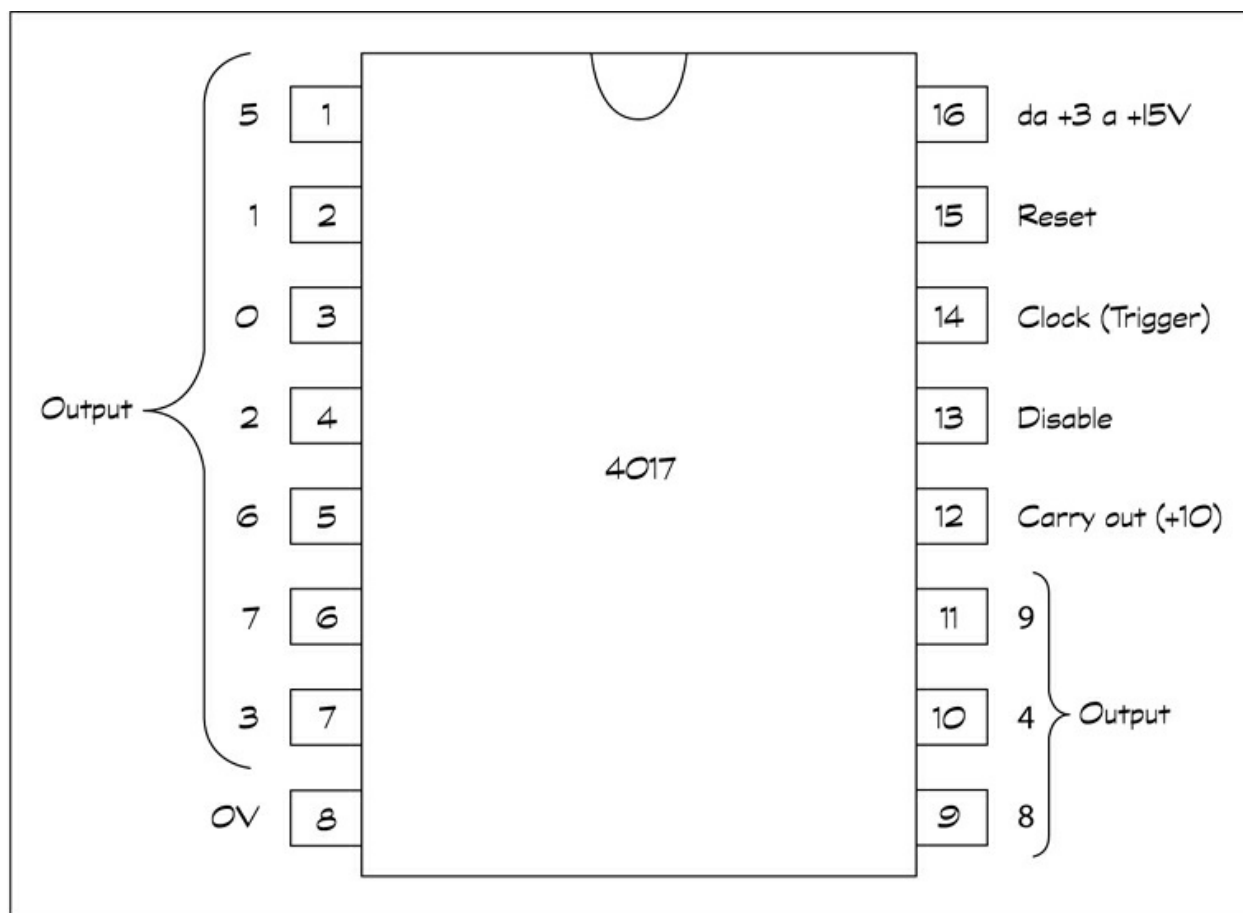


Figura 7.13 Piedinatura del CMOS 4017.



Unendo in configurazione “piggyback” più circuiti integrati 4017, potete contare le decine, le centinaia, le migliaia e così via. Il pin 12 è alto quando il conteggio è 0 da 0 a 4 e basso quando il conteggio è tra 5 e 9 e dunque assomiglia a un segnale di attivazione che cambia a un decimo della frequenza di conteggio. Se collegate l’uscita del pin 12 all’input Trigger (pin 14) di un altro contatore decimale, questo secondo contatore conterà le decine. Inviando l’uscita del pin 12 del secondo contatore al pin 14 di un terzo contatore, potete contare le centinaia. Con un numero sufficiente di circuiti integrati 4017, forse potete arrivare a contare fino al debito pubblico!



Potete anche connettere due o più uscite dei contatori utilizzando diodi per produrre una sequenza temporale variabile. A tale scopo, connettete ciascun anodo (lato positivo di un diodo) a un pin di uscita e connettete tutti i catodi (dati negativi dei diodi) insieme e poi attraverso una resistenza. Con questa configurazione, quando una delle uscite è alta, la corrente scorrerà attraverso la resistenza. Per esempio, potete simulare il funzionamento di un semaforo collegando insieme le uscite 0-4 e inviando il risultato (tramite una resistenza) a un LED rosso, connettendo l'uscita 5 a un LED giallo e collegando le uscite 6-9 insieme, per controllare un LED verde.

Microcontroller e altri circuiti integrati di largo uso

Fra le funzioni comunemente fornite nei circuiti integrati vi sono le operazioni matematiche (somma, sottrazione, moltiplicazione divisione), il *multiplexing* (di un'unica uscita fra più input) e la conversione di segnali fra analogico e digitale.

- ✓ Potete utilizzare un convertitore *analogico-digitale (A/D)* per convertire un segnale analogico proveniente dal mondo reale in un segnale digitale che potete elaborare con un computer o con altri sistemi elettronici digitali.
- ✓ Potete utilizzare un convertitore *digitale-analogico (D/A)* per convertire un segnale digitale elaborato e ottenere di nuovo un segnale analogico (per esempio avete bisogno di un segnale analogico per far funzionare gli altoparlanti connessi al computer).

Naturalmente, il *microprocessore* che governa il personal computer (e l'intera nostra vita) è fra i circuiti integrati più popolari.

Fra i circuiti integrati più versatili vi è il microcontroller. Un *microcontroller* è un piccolo computer, completo, su un unico chip. Per programmarlo, lo si

colloca in una scheda di sviluppo che consente al circuito integrato di interfacciarsi con il personal computer. Dopo la programmazione, potete montare il microcontroller su uno zoccolino del dispositivo elettronico.

Basta aggiungere pochi altri componenti (in circuiti che forniscono un'interfaccia fra microcontroller e computer, motori o interruttori), e voilà! Il vostro piccolo circuito integrato programmato può far accadere qualsiasi cosa. Per esempio, può controllare il movimento di un robot. La cosa più bella di un microcontroller è che basta modificare alcune righe di codice (o riprogrammarlo completamente) per cambiare l'operazione svolta. Non è necessario cambiare collegamenti, resistenze e altre componenti per cambiare la personalità di questo flessibile circuito integrato.

Espandere gli orizzonti

I circuiti integrati sono un argomento veramente esteso, impossibile da esaurire in questo tipo di libro. I progettisti hanno sempre nuove idee o nuovi miglioramenti di vecchie idee e dunque esiste un'ampia varietà di scelte nel mondo dei circuiti integrati.

Potete mettere alla prova la vostra logica realizzando un semplice circuito che utilizza un circuito integrato 2-input NAND, come indicato nel [Capitolo 14](#). Con questo circuito iniziale, acquisirete esperienza nella connessione di componenti esterni ai piedini di un circuito integrato. Il [Capitolo 15](#) comprende vari progetti che impiegano altri circuiti integrati.

Capitolo 8

Completare l'elenco dei componenti

In questo capitolo

Scelta del cavo elettrico adatto.

Alimentazione con batterie e celle solari.

Controllo delle connessioni tramite interruttori.

Attivazione dei circuiti tramite sensori.

Trasformazione dell'elettricità in luce, suono e movimento.

Sebbene i singoli componenti e i circuiti integrati trattati nei Capitoli da 3 a 7 costituiscano l'armamentario che serve per dare forma agli elettroni che circolano in un circuito elettronico, vi sono vari altri elementi che contribuiscono al funzionamento dell'intero circuito.

Alcuni di questi, come i cavi elettrici, i connettori e le batterie, sono componenti fondamentali di qualsiasi circuito elettronico. Dopo tutto, sarà difficile poter realizzare un circuito elettronico senza impiegare cavi che connettano fra loro i componenti o un'alimentazione che faccia funzionare il tutto. Quanto agli altri componenti di cui parleremo in questo capitolo, potrete trovarvi a utilizzarli di tanto in tanto solo per specifici circuiti. Per esempio, se volete fare rumore, avrete bisogno di un buzzer, che tuttavia non sarà necessario in tutti i circuiti che realizzerete.

In questo capitolo, parleremo di vari tipi di componenti, alcuni dei quali dovrebbero essere sempre nella vostra cassetta degli attrezzi, mentre gli altri

potranno essere acquistati solo in caso di necessità.

Eseguire connessioni

Per creare un circuito occorre connettere i componenti per consentire il passaggio della corrente fra loro. Nei prossimi paragrafi parleremo di cavi elettrici, fili e connettori che consentono di fare proprio questo.

Scegliere il cavo elettrico

Il *cavo elettrico* utilizzato nei progetti elettronici non è che un lungo rotolo di metallo, normalmente rame. Il cavo elettrico ha un solo compito: consentire il passaggio degli elettroni. Tuttavia potete trovare in commercio vari tipi di cavi. Nei prossimi paragrafi vedremo quali tipi di cavi elettrici impiegare nelle varie situazioni.

Cavi a treccia o solidi?

Se provaste a tagliare il cavo di alimentazione di una vecchia lampada (naturalmente solo *dopo* averla disconnessa dalla presa di corrente), trovereste al suo interno due o tre piccoli cavi costituiti a loro volta da una treccia di fili estremamente sottili, coperti da una guaina isolante. Questo è un cavo *a treccia*. Un altro tipo di cavo, *solido*, è costituito da un unico cavo di un certo spessore, avvolto da una guaina isolante. La [Figura 8.1](#) mostra un esempio di questi due tipi di cavi elettrici.

Il cavo a treccia è molto più flessibile rispetto a quello solido e potete utilizzarlo nelle situazioni in cui il cavo si dovrà muovere o verrà piegato (come nei cavi di alimentazione delle lampade e in quelli audio). Si utilizza invece del cavo solido nei casi in cui non si preveda di muovere troppo il cavo e per connettere fra loro i componenti collocati su una breadboard (per informazioni sulle breadboard, consultate il [Capitolo 11](#)). È molto facile inserire un cavo solido all'interno dei fori della breadboard, mentre se provate a inserirvi un cavo a treccia, dovrete avvolgerlo ben bene e poi convincere tutti i piccoli fili a entrare nel foro; questa operazione può portare alla rottura

di uno o più fili che, cadendo qua e là, possono provocare cortocircuiti.

Scelta delle dimensioni

Il diametro (o, meglio, la “sezione”) di un cavo determina la sua capacità di trasportare corrente. Negli Stati Uniti e in Canada hanno un modo molto comodo per codificare il diametro dei cavi, il sistema AWG (American Wire Gauge). In Europa i cavi si distinguono in base alla sezione in mm^2 . La [Tabella 8.1](#) riporta i confronti relativi ai cavi più popolari.

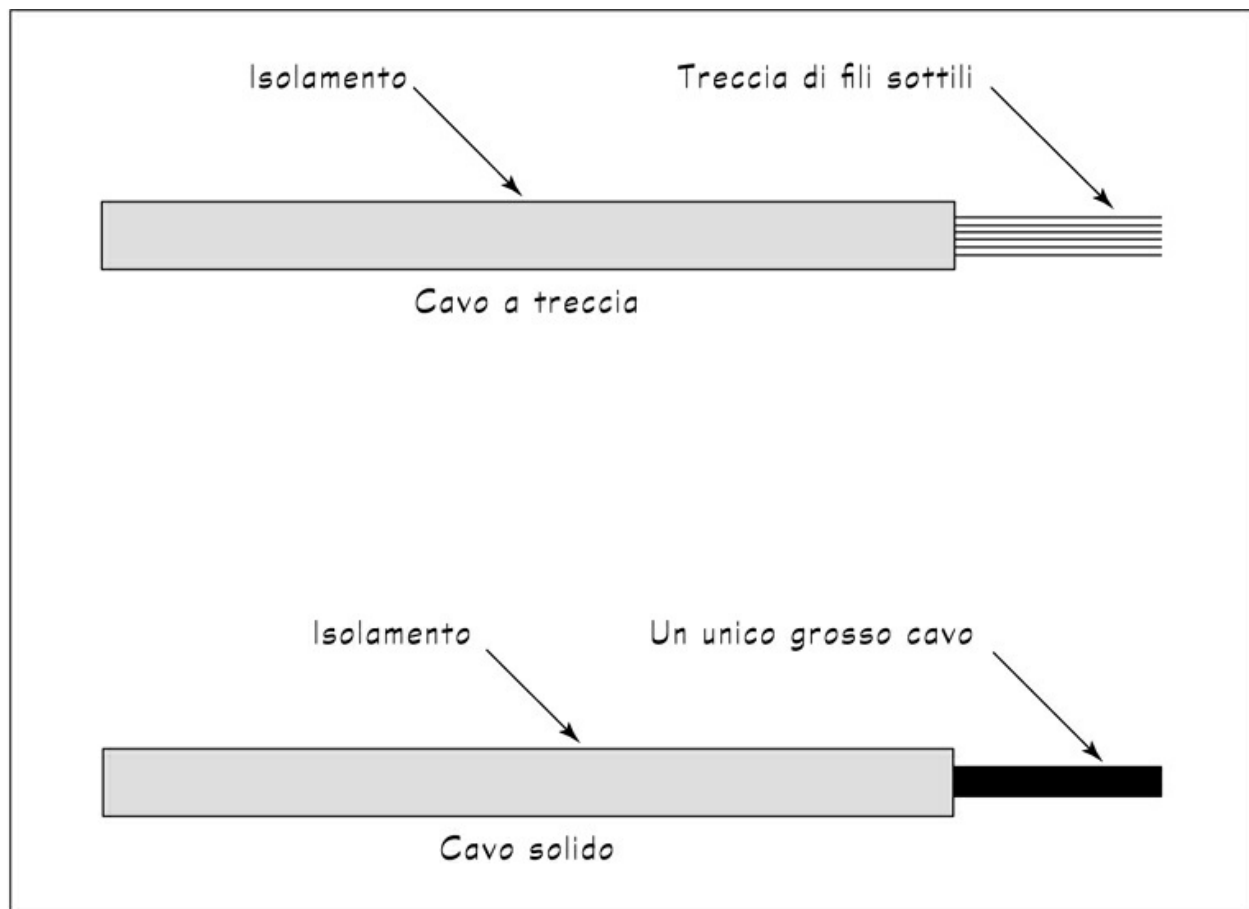


Figura 8.1 Un cavo è solo un cavo. Beh non proprio. In elettronica si usano cavi a treccia e solidi.

Tabella 8.1
elettronici

Cavi comunemente utilizzati nei progetti

Codice AWG	Diametro (mm)	Sezione (mm²)	Cavi standard "europei" (mm²)	Utilizzi
16	1,29	1,31	1 o 1,5	Applicazioni elettroniche a elevato carico
18	1,024	0,8230	0,75 o 1	Applicazioni elettroniche a elevato carico
20	0,812	0,5190	0,5	La maggior parte dei progetti elettronici
22	0,644	0,3250	0,35	La maggior parte dei progetti elettronici
26	0,405	0,1280	0,14	Connessioni su schede elettroniche

Per la maggior parte dei progetti elettronici, compresi quelli descritti nei Capitoli 14 e 15 di questo libro, si utilizzano cavi da 0,5 o 0,35 mm² di sezione (rispettivamente AWG 20 e 22). Per alimentare un motore, dovrete impiegare cavi da 0,75, 1 o addirittura 1,5 mm² di sezione (AWG 16 – 18). Quando vi sarete perfezionati nel campo dell'elettronica potreste trovarvi a connettere componenti saldandovi direttamente dei cavi di minima sezione, da 0,14 mm² (AWG 26).



Se iniziate a realizzare progetti che impiegano alta tensione o correnti elevate, più di quanto descritto in questo libro, consultate le istruzioni del progetto o fonti di riferimento autorevoli per determinare quali cavi utilizzare. Assicuratevi di avere anche le conoscenze adeguate e di conoscere le procedure di sicurezza per lavorare su progetti di tale tipo.

Il mondo colorato dei cavi

Così come le fasce colorate svelano i segreti delle resistenze, l'isolamento colorato di un cavo può aiutare a memorizzare le connessioni in un circuito. Nel cablaggio di un circuito in corrente continua, (per esempio quando si lavora su una breadboard) è pratica comune utilizzare il cavo rosso per tutte

le connessioni alla tensione positiva (+V) e il cavo nero per le connessioni alla tensione negativa (-V) o a terra. Per circuiti in corrente alternata, si usa il cavo verde per le connessioni a terra. Per i segnali in ingresso, per esempio per il segnale di un microfono, viene frequentemente impiegato cavo giallo o arancio. Se avete a disposizione cavi di vari colori, potete sviluppare un codice delle connessioni che aiuterà a capire con una rapida occhiata che cosa accade in un circuito.

Raggruppare insieme più cavi

Normalmente i cavi sono costituiti da gruppi di due o più conduttori elettrici protetti da uno strato isolante esterno. Per esempio per collegare una lampada a una presa di corrente, si utilizza un cavo a due o tre conduttori. Ma i cavi vengono anche impiegati per eseguire le connessioni dei sistemi audio.

Entrare in connessione

Se osservate un cavo (per esempio quello che va dal computer alla stampante), potete vedere che ha dei connettori di metallo o di plastica a ciascuna estremità. Infatti vi sono prese di metallo o di plastica sul computer e sulla stampante, dove andranno connessi i cavi. I vari contatti presenti nei connettori e nei cavi si connettono fra loro e attivano una connessione fra i dispositivi.

Vi sono vari tipi di connettori, impiegati per vari scopi. Fra i connettori che incontrerete più di frequente nelle vostre avventure elettroniche vi sono i seguenti.

- ✓ **Jack:** sono impiegati per trasportare segnali audio fra vari apparecchi, per esempio fra una chitarra e l'amplificatore ([Figura 8.2](#)). Basta inserire le estremità del cavo alle prese che trovate sugli apparecchi da connettere. Questi cavi contengono uno o due cavi di segnale (che trasportano l'effettivo segnale audio) e una *schermatura* metallica che circonda i primi due cavi. La schermatura metallica protegge il segnale dalle interferenze elettriche (rumore) minimizzando l'introduzione di correnti spurie.

✓ Normalmente si utilizzano dei *piedini* per trasportare segnali da e verso le schede di un circuito permanente. I piedini possono essere comodi per progetti elettronici complessi, che prevedono l'impiego di più schede. Molti pettini di piedini sono costituiti da uno o più file di piedini metallici connessi fra loro da un blocchetto di plastica, che potete saldare sulla scheda. Potete collegarvi al pettine utilizzando un connettore compatibile fissato all'estremità di un *cavo a nastro*, il quale è costituito da una serie di singoli cavetti isolati, messi fianco a fianco per formare un unico cavo piatto e flessibile. La forma rettangolare del connettore facilita l'invio dei segnali da ciascun filo del cavo all'elemento corretto della scheda. Si fa riferimento ai pettini in base al numero di piedini utilizzati. Per esempio, un pettine può essere da 40 pin.



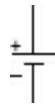
Figura 8.2 Un cavo con una presa a entrambe le estremità per connettere due componenti elettronici.

In elettronica si utilizza un'ampia gamma di connettori che non è necessario conoscere per realizzare progetti anche complessi. Per ulteriori informazioni sull'ampia gamma di connettori disponibili, potete dare un'occhiata ai cataloghi o ai siti web dei fornitori di componenti elettronici. In molti casi troverete un'intera sezione dedicata ai connettori.

Alimentazione

Tutti i cavi e i connettori del mondo non possono fare nulla senza una fonte di alimentazione. Nel [Capitolo 2](#) abbiamo già parlato di fonti di corrente, fra cui le prese di corrente (alternata) domestiche e le fonti di corrente continua rappresentate dalle batterie e dalle celle solari (pannelli fotovoltaici). Ora vedremo come scegliere una fonte di alimentazione e come utilizzarla per alimentare i circuiti.

Accendere il tutto con le batterie



Per la maggior parte dei progetti elettronici hobbistici è sufficiente impiegare le comuni batterie; il simbolo utilizzato per rappresentarle in uno schema è quello presentato qui a lato. Le batterie sono relativamente leggere e trasportabili; in più, combinando insieme più batterie in serie, è possibile ottenere varie tensioni in corrente continua. Le batterie in commercio, le classiche batterie mini stilo, stilo, mezza torcia e torcia (rispettivamente AAA, AA, C e D) producono 1,5 V l'una. Una batteria da 9 V (formato PP3) ha l'aspetto di un piccolo parallelepipedo ed è normalmente costituita da sei batterie da 1,5 V.

Connettere le batterie ai circuiti

Potete utilizzare un connettore per batterie a 9 V (PP3) come quello rappresentato nella [Figura 8.3](#) per connettere una singola batteria da 9 V a un circuito. Questi connettori si fissano ai terminali della batteria (i due contatti sono normalmente chiamati “connettori PP3”). Dal connettore fuoriescono un cavo nero e uno rosso, da collegare al circuito. Basta pertanto spelare l'isolante nero e rosso all'estremità per connettere i cavi al circuito. Potete connettere i cavi ai terminali, inserirli nei fori di una breadboard o saldarli direttamente ai componenti. Introdurremo tutte queste tecniche nel [Capitolo 11](#).

Quando connettete il terminale positivo di una batteria al terminale negativo di un'altra batteria, la tensione totale ottenuta è rappresentata dalla somma

delle singole tensioni delle batterie. I portabatterie (come quello rappresentato nella [Figura 8.4](#)) creano proprio connessioni in serie fra le batterie, mantenendo i singoli elementi in posizione. Anche in questo caso vi sono dei cavi nero e rosso che consentono di utilizzare la tensione così raggiunta. (Alcuni portabatterie impiegano un connettore PP3).

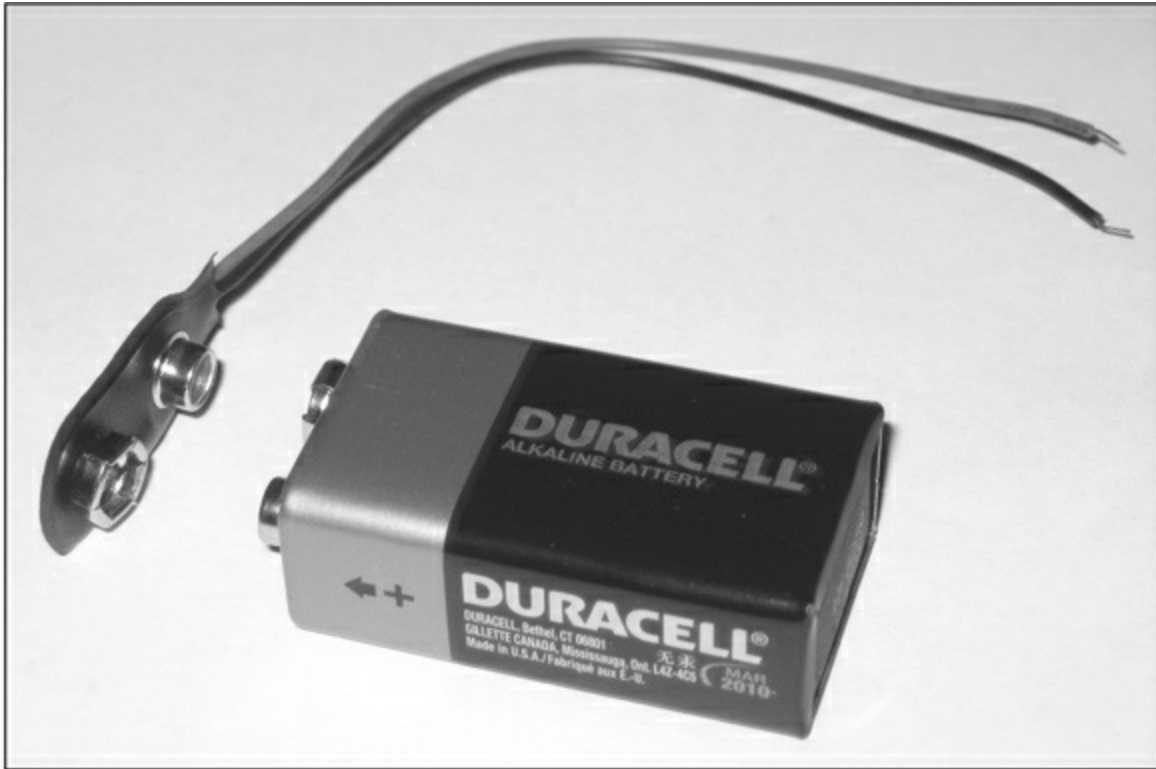


Figura 8.3 Un connettore facilita il collegamento al circuito di una batteria da 9 V.



Figura 8.4 Quattro batterie da 1,5 V in un portabatterie producono circa 6 V, fruibili attraverso i cavi rosso e nero.

Vari tipi di batterie

Le batterie sono classificate sulla base dei composti chimici che le costituiscono. Tale composto determina anche il fatto che una batteria sia ricaricabile o meno. Sono disponibili i seguenti tipi di batterie.

✓ Batterie non ricaricabili

- **Zinco-Carbone:** batterie di varie dimensioni (AAA, AA, C, D e 9 V) che si trovano all'estremità inferiore in termini tecnologici. Costano poco e durano poco.
- **Alcaline:** anche queste batterie vengono fornite in varie forme e dimensioni e durano circa tre volte le batterie a zinco-carbone. Si

suggerisce di impiegare questo genere di batterie per i progetti. Se vi trovate a sostituire frequentemente le batterie, procuratevi batterie ricaricabili.

- **Litio:** sono molto leggere e generano tensioni più elevate (circa 3 V) rispetto ad altri tipi di batterie e hanno una capacità di corrente superiore rispetto alle batterie alcaline. Costano di più e nella maggior parte dei casi non sono ricaricabili. Ma se il progetto (per esempio un piccolo robot) richiede una batteria leggera, si tratta di soluzioni imbattibili.

✓ Batterie ricaricabili

- **Nichel-Cadmio (NiCd):** batterie che generano circa 1,2 V e sono il tipo più diffuso di batterie ricaricabili. Alcune batterie NiCd esibiscono ancora un difetto, chiamato *effetto memoria*, che richiede che la batteria venga scaricata completamente prima di ricaricarla, così che possa ricaricarsi a piena capacità.
- **Nickel-Metal Hydride (NiMH):** anche queste batterie generano circa 1,2 V, ma non soffrono dell'effetto memoria. Si suggerisce di utilizzare batterie NiMH per i progetti che richiedono batterie ricaricabili.



Non utilizzate insieme tipi di batterie differenti e non tentate mai di ricaricare batterie non ricaricabili. Queste batterie possono aprirsi e perdere acido e perfino esplodere. La maggior parte delle batterie non ricaricabili reca indicazioni sui pericoli derivanti da un errato uso.



L'acquisto di un caricabatterie e di una scorta di batterie ricaricabili può farvi risparmiare molto denaro nel corso del tempo. Assicuratevi solo che il

caricabatterie utilizzato sia progettato per il tipo di batterie ricaricabili scelte.



È importante smaltire le batterie esauste in modo appropriato. Le batterie contengono metalli pesanti (nichel, cadmio, piombo e mercurio) pericolosi per l'ambiente. Tutti i comuni e molti centri commerciali mettono a disposizione appositi raccoglitori per le pile esauste.

Valutare la durata delle batterie per tutti i giorni

Il valore A/h o mA/h di una batteria dà un'idea di quanta corrente una batteria può condurre per quanto tempo. Per esempio, una batteria da 9 V, normalmente è da 500 mA/h. Tale batteria può alimentare per circa 20 ore un circuito che consuma 25 mA, prima che la sua tensione inizi a calare (abbiamo provato una batteria da 9 V che abbiamo utilizzato solo per pochi giorni e abbiamo scoperto che in realtà erogava solo 7 V). Una batteria AA da 1500 mA/h può alimentare un circuito da 25 mA per circa 60 ore.

Sei batterie AA in serie, che producono circa 9 V, e avranno una durata superiore rispetto a un'unica batteria da 9 V. Questo è dovuto al fatto che le sei batterie contengono più composti chimici rispetto all'unica batteria e possono produrre più corrente per più tempo prima di scaricarsi. Nel [Capitolo 2](#) abbiamo visto come sono fatte le batterie e perché alla fine si scaricano. Se state realizzando un progetto che utilizza molta corrente o se prevedete di impiegare continuamente un circuito, considerate l'impiego di grosse batterie in formato C o D, che durano di più rispetto alle batterie AA o AAA o alle batterie ricaricabili.

Per informazioni sui vari tipi di batterie e sulla loro durata, consultate

il paragrafo “Vari tipi di batterie” presentato in precedenza in questo stesso capitolo.

Energia dal sole

Se dovete realizzare un circuito progettato per operare in esterni (o se volete sfruttare una fonte di energia verde e pulita), potete acquistare uno o più pannelli solari. Un *pannello solare* è costituito da una serie di celle solari (che non sono altro che grossi *fotoiodi*) che generano corrente quando vengono esposti a una fonte di luce, come il Sole. Abbiamo parlato dei diodi nel [Capitolo 6](#) e parleremo dei fotoiodi nel paragrafo “Uso dei sensori” più avanti in questo capitolo. Un pannello è un quadrato di circa 10-15 centimetri e può generare 100 mA a 5 V se esposto alla luce. Se avete bisogno di 10 A, potete certamente farcela, ma le dimensioni del pannello diverranno problematiche per i progetti che devono essere piccoli e portatili.

Alcuni pannelli solari offrono dei cavi che ne facilitano la connessione a un circuito, analogamente ai cavi di un portabatterie. Altri pannelli non offrono alcun cavo e dunque occorre saldare dei fili ai due terminali.

Ecco alcuni criteri da considerare per determinare se per il vostro progetto è appropriato impiegare un pannello solare.

- ✓ **Prevedete di esporre il pannello solare alla luce diretta del sole quando volete che il circuito sia attivo o di utilizzare il pannello per caricare una batteria di alimentazione del progetto?** In caso contrario, scegliete un'altra fonte di alimentazione.
- ✓ **Le dimensioni del pannello solare sono adatte all'apparecchio che state realizzando?** Per rispondere a questa domanda, dovete sapere quanta energia sarà richiesta dalla scheda e le dimensioni di un pannello solare in grado di fornire la potenza richiesta. Se il pannello è troppo grande per l'apparecchio, potete riprogettare l'apparecchio perché utilizzi meno energia oppure scegliere un'altra fonte di

■ alimentazione.

Utilizzare la presa di corrente domestica (fortemente sconsigliato)

La corrente domestica, disponibile alla presa da parete, può nuocere gravemente e perfino provocare la morte se utilizzata in modo errato. Pertanto sconsigliamo di utilizzarla per alimentare i circuiti. E poiché la maggior parte dei progetti elettronici hobbistici può contare su batterie, non avreste comunque bisogno di utilizzare la corrente alternata. Tuttavia, alcuni progetti possono aver bisogno di correnti e tensioni più elevate rispetto a quanto possa essere fornito dalle batterie. In questi casi, potete utilizzare un trasformatore, come quello rappresentato nella [Figura 8.5](#), per convertire la corrente alternata in corrente continua. Tutte le parti sottoposte ad alta tensione saranno contenute nel trasformatore e dunque non sarete mai esposti all'alta tensione.

Acquistare un alimentatore

Potete acquistare un alimentatore nuovo o usato e, naturalmente, potreste averne già più d'uno a disposizione, rimasto da apparecchi che non funzionano più. Fate però sempre attenzione a controllare la tensione e la corrente, normalmente indicate sul trasformatore stesso, per verificare che siano adatti al progetto. Se lo sono, controllate come è cablato il connettore, in modo da mantenere la polarità corretta (tensione positiva e negativa) nel momento in cui lo collegherete al circuito.

I trasformatori forniscono corrente che va da qualche centinaio di milliampere a qualche ampere, con tensioni che vanno da 5 a 20 V in corrente continua. Alcuni forniscono sia una tensione positiva, sia una tensione

negativa, sempre in corrente continua. Modelli differenti utilizzano tipi diversi di connettori per fornire l'alimentazione. Se acquistate un trasformatore, fate attenzione a leggere il foglio delle specifiche, per determinare come collegarlo al circuito.



Figura 8.5 Un trasformatore vi evita di entrare in contatto con la corrente alternata domestica.

Accendere e spegnere l'elettricità

Se pensate che, in fin dei conti, un interruttore non sia che un meccanismo on/off, ripensateci. Vi sono moltissimi tipi di interruttori impiegabili nei progetti elettronici, caratterizzati dal modo in cui possono essere controllati, dal tipo e numero di connessioni offerte e dalla tensione che sono in grado di sopportare.

Un *interruttore* è un dispositivo che attiva o interrompe una o più connessioni elettriche. Quando un interruttore è in *posizione aperta*, la connessione elettrica è interrotta e, come risultato, il circuito è aperto, senza alcun flusso di corrente. Quando l'interruttore è in *posizione chiusa*, la connessione elettrica è attiva, e si ha passaggio di corrente.

Controllo dell'azione di un interruttore

Esistono vari tipi di interruttori, che offrono vari tipi di azioni. La [Figura 8.6](#) ne illustra alcuni.

- ✓ **Interruttore a cursore:** facendo scorrere una leva avanti/indietro si apre/chiude l'interruttore, come nel caso delle torce.
- ✓ **Interruttori a leva:** occorre agire su una leva in un senso per chiudere il contatto e nel senso opposto per aprire il contatto. A volte sul corpo dell'interruttore sono riportate le indicazioni “on” e “off”.
- ✓ **Interruttore a bilanciere:** si preme l'interruttore da un lato per aprire il contatto e dal lato opposto per chiudere il contatto. Comunemente usati per il controllo dell'alimentazione.
- ✓ **Interruttori di fine corsa:** normalmente chiuso, ha un pulsante o una leva sporgente che apre il contatto. Normalmente usato per cancelli e porte.
- ✓ **Interruttori a pulsante:** si preme un pulsante (a volte una leva) per cambiare lo stato dell'interruttore. Il meccanismo dipende dal tipo di interruttore.
 - **Pulsanti on/off:** ogni pressione del pulsante inverte la posizione dell'interruttore.
 - **Normalmente aperto:** questo interruttore temporaneo è normalmente aperto (off). Mantenendo premuto il pulsante, l'interruttore si chiude (on). Rilasciando il pulsante, l'interruttore torna aperto. È normalmente chiamato *interruttore push-on*.
 - **Normalmente chiuso:** questo interruttore temporaneo è



normalmente chiuso (on) ma mantenendo premuto il pulsante, l'interruttore si apre (off). Rilasciando il pulsante, l'interruttore torna chiuso. È normalmente chiamato *interruttore push-off*.

- **Relè:** il relè è un interruttore a controllo elettrico. Se si applica una determinata tensione a un relè, un elettromagnete interno attrae la leva dell'interruttore (*armatura*) per chiuderlo.

Scegliere i contatti corretti

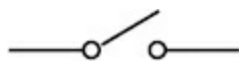
Gli interruttori vengono suddivisi anche per numero di connessioni attivate per il modo in cui si controllano i contatti. Un interruttore può avere uno o più poli o contatti di ingresso: un *interruttore unipolare* ha solo un contatto di ingresso, mentre un *interruttore bipolare* ha due contatti di ingresso.

Un interruttore può anche avere una o più posizioni conduttive. Con un *interruttore standard*, aprite o chiudete il contatto fra l'ingresso e l'uscita. Con un *interruttore deviatore*, potete dirigere l'ingresso verso due o più uscite.



Figura 8.6 Dall'alto verso il basso, due interruttori a leva, un interruttore a pulsante e un interruttore di fine-corsa.

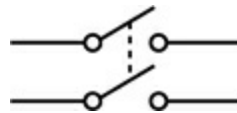
Se queste suddivisioni vi sembrano confuse, date un'occhiata ai simboli degli interruttori e alle relative descrizioni.



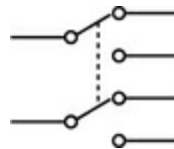
- ✓ **Unipolare standard:** un classico interruttore on/off, dove un contatto di ingresso si collega a un contatto di uscita. Potete attivare la connessione (interruttore “on”) oppure interrompere la connessione (interruttore “off”).



- ✓ **Unipolare deviatore:** questo interruttore on/on contiene un contatto di ingresso e due contatti di uscita. È sempre on; semplicemente invia l'ingresso a scelta fra due uscite. Si utilizza un interruttore unipolare deviatore quando si vuole che un circuito attivi un dispositivo oppure un altro (per esempio una luce verde per consentire il passaggio e una luce rossa per fermarlo).



- ✓ **Bipolare standard:** questo doppio interruttore on/off contiene due contatti di ingresso e due contatti di uscita e si comporta come due interruttori unipolari che operano sincronizzati. Nella posizione “off”, entrambi gli interruttori sono aperti e non si ha alcuna connessione. Nella posizione “on” entrambi gli interruttori sono chiusi e si attivano due connessioni fra due ingressi e le rispettive uscite.



- ✓ **Bipolare deviatore:** questo interruttore duale on/on contiene due contatti di ingresso e quattro contatti di uscita e si comporta come due interruttori unipolari deviatori che operano sincronizzati. In una posizione, due contatti di ingresso sono connessi a una coppia di contatti di uscita e nell'altra posizione quegli stessi contatti di ingresso sono connessi all'altra coppia di contatti di uscita. Alcuni interruttori bipolari deviatori hanno anche una terza posizione, che interrompe tutti i contatti. Potete utilizzare un interruttore bipolare deviatore come interruttore di inversione per un motore, connettendo il motore alla tensione positiva per farlo girare in un senso e alla tensione negativa per farlo girare nel senso opposto e infine, se possibile, in una terza posizione per interrompere del tutto la rotazione.

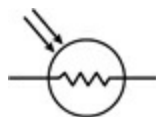
Uso dei sensori

Quando occorre attivare un circuito in risposta a una determinata sollecitazione fisica (per esempio un cambio di temperatura), si ricorre a componenti elettronici chiamati *sensori*. I sensori sfruttano il fatto che varie forme di energia (fra cui la luce, il calore e il movimento) possono essere convertite in energia elettrica. I sensori sono *trasduttori*, dispositivi elettronici che convertono l'energia da una forma a un'altra. Qui parleremo di alcuni dei più comuni trasduttori di ingresso (i sensori, utilizzati nei circuiti elettronici).

Ho visto la luce!

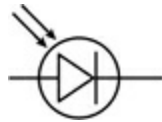
Molti componenti elettronici si comportano in modo differente a seconda della luce cui vengono esposti. I produttori offrono varie versioni dei componenti che sfruttano questa sensibilità alla luce, racchiudendoli in involucri trasparenti in modo che possano essere impiegati come sensori di dispositivi come allarmi, rilevatori di fumo, sistemi di illuminazione notturna e dispositivi di sicurezza che evitano che la porta elettrica del garage si chiuda proprio mentre sta passando il gatto. Potete utilizzarli anche per comunicazioni fra il telecomando (che invia istruzioni codificate tramite la luce infrarossa utilizzando un diodo LED, come discusso nel [Capitolo 6](#)) e l'apparecchio TV o il player DVD (che contengono un diodo sensibile alla luce o un transistor che riceve le istruzioni codificate).

Fra gli esempi di dispositivi fotosensibili utilizzati come sensori vi sono i seguenti.

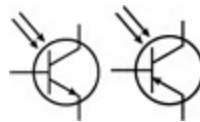


- ✓ **Fotoresistenze (fotocelle):** sono resistenze fotosensibili realizzate in un materiale semiconduttore. In generale esibiscono un'elevata resistenza (circa $1\text{ M}\Omega$) nell'oscurità e una resistenza piuttosto debole (circa $100\ \Omega$) se illuminati, ma potete utilizzare un tester

(come descritto nel [Capitolo 12](#)) per determinare le effettive resistenze offerte da una specifica fotoresistenza. La tipica fotoresistenza è particolarmente sensibile alla luce visibile, in particolare allo spettro verde-giallo. Il simbolo di una fotoresistenza (che può essere installata per consentire il passaggio della corrente in entrambe le direzioni) è rappresentato a lato.



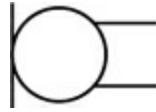
- ✓ **Fotodiodi:** sono una specie di opposto dei diodi a emissione di luce (LED) di cui abbiamo parlato nel [Capitolo 6](#). Conducono corrente o interrompono la corrente solo se vengono esposti a un livello di luce sufficiente, normalmente nel campo degli infrarossi (non visibili). Come i diodi standard, anche i fotodiodi hanno due piedini: il più corto è il catodo (estremità negativa) e il più lungo è l'anodo (estremità positiva).



- ✓ La maggior parte dei **fototransistor** è costituita semplicemente da transistor a giunzione bipolare (di cui abbiamo parlato nel [Capitolo 6](#)), racchiusi in un involucro trasparente in modo che la luce polarizzi la giunzione base-emettitore. Questi dispositivi normalmente hanno due piedini (mentre i transistor standard ne hanno tre). Questo è dovuto al fatto che non è necessario accedere alla base del transistor per polarizzarlo, in quanto se ne occupa la luce. I fototransistor amplificano le differenze di luminosità che ricevono, ma dall'esterno hanno l'aspetto di fotodiodi e talvolta è difficile distinguerli.

Nel [Capitolo 15](#) vengono presentati alcuni progetti che prevedono l'impiego di componenti fotosensibili.

Catturare il suono con i microfoni



I *microfoni* sono trasduttori di ingresso che convertono l'energia acustica (la pressione sonora) in energia elettrica. Nella maggior parte dei casi utilizzano una sottile membrana, che vibra rispondendo alla pressione dell'aria che costituisce il suono. Le vibrazioni della membrana vengono tradotte in segnali in corrente alternata in vari modi, a seconda del tipo di microfono.

- ✓ In un *microfono a condensatore*, la membrana che vibra gioca il ruolo di una piastra del condensatore: le variazioni di pressione sonora producono corrispondenti variazioni nella capacità del condensatore (per informazioni sui condensatori, consultate il [Capitolo 4](#)).
- ✓ In un *microfono dinamico*, la membrana è connessa a un avvolgimento mobile a induzione, collocato all'interno di un magnete permanente. Quando il suono muove la membrana, l'avvolgimento si muove all'interno del campo magnetico prodotto dal magnete e nell'avvolgimento viene indotta una corrente (il fenomeno è descritto nel [Capitolo 5](#), dove si parla di *induzione elettromagnetica*).
- ✓ In un *microfono a cristallo*, vi è un particolare cristallo piezoelettrico che converte il suono in energia elettrica, sfruttando l'*effetto piezoelettrico*, grazie al quale determinate sostanze producono una tensione nel momento in cui viene loro applicata una pressione.
- ✓ In un *microfono a fibre ottiche*, una sorgente laser dirige un raggio di luce verso la superficie di una sottile membrana riflettente. Mentre la membrana si muove, i cambiamenti nella luce riflessa dalla membrana vengono captati da un rilevatore, che trasforma le differenze di luminosità in un segnale elettrico.

Al sensore piace caldo

Un *termistore* è una resistenza il cui valore cambia al variare della temperatura. Il simbolo circuitale di un termistore è rappresentato a lato. Il

termistore ha due piedini, senza polarità e dunque non occorre preoccuparsi del modo in cui viene inserito nel circuito.



Vi sono due tipi di termistori.

- ✓ **Termistore NTC (a coefficiente di temperatura negativo):** la resistenza di un termistore NTC si riduce all'aumentare della temperatura. Questo è il tipo più comune di termistore.
- ✓ **Termistore PTC (a coefficiente di temperatura positivo):** la resistenza di un termistore PTC aumenta con l'aumentare della temperatura.

Nei cataloghi, la resistenza dei termistori viene normalmente misurata a 25° C. Potete misurare da soli la resistenza dei termistore utilizzando un tester a varie temperature (sull'uso dei tester, consultate il [Capitolo 12](#)). Queste misurazioni consentono di *calibrare* il termistore o di ottenere una relazione esatta fra la temperatura e la resistenza. Se non conoscete esattamente il tipo di termistore, potete determinarlo identificando se il valore di resistenza aumenta o si riduce con l'aumentare della temperatura.



Se prevedete di utilizzare il termistore per attivare l'azione a una temperatura ben determinata, verificate l'effettiva resistenza del termistore *a quella specifica temperatura*.

Sensore di luce (termica) per rilevare il movimento

Vi è mai capitato di camminare in un vialetto buio e, improvvisamente, si accendono le luci? O vi è capitato di vedere la porta del garage che smette di chiudersi quando un bambino o un animale passano sotto? Avete visto all'opera dei sensori di movimento. I dispositivi di rilevamento del movimento, in genere, utilizzano dei sensori di luce per determinare la *presenza* della luce infrarossa emessa da un oggetto "caldo" (come una persona o un animale) o l'*assenza* della luce infrarossa quando un oggetto interrompe un raggio emesso da un'altra parte del dispositivo.

Molte abitazioni, scuole e negozi utilizzano rilevatori di movimento *passivi a infrarossi* per accendere le luci o per rilevare gli intrusi. I rilevatori di movimento contengono un sensore (normalmente costituito da due cristalli), una lente, un piccolo circuito elettronico. Quando gli infrarossi colpiscono un cristallo, generano una carica elettrica. Poiché i corpi caldi (come quelli degli animali, compresi noi umani) emettono radiazioni infrarosse a lunghezze d'onda differenti rispetto agli oggetti freddi (come la parete), queste differenze nell'uscita del sensore possono essere impiegate per rilevare la presenza di un corpo caldo. Il circuito elettronico interpreta le differenze nell'uscita del sensore per determinare se nelle vicinanze vi è un corpo caldo in movimento. Utilizzando un sensore a due cristalli è possibile discriminare fra eventi che influenzano entrambi i cristalli simultaneamente (come i cambiamenti di temperatura della stanza) ed eventi che influenzano i cristalli separatamente, come il passaggio di un corpo caldo davanti a un cristallo e poi davanti all'altro.

I rilevatori di movimento industriali utilizzano o controllano circuiti ad alta tensione che sono progettati per l'installazione su una parete o in cima a un traliccio. Per i progetti hobbistici, da alimentare a batterie, basta impiegare un rilevatore di movimento che operi a circa 5 V. Un tipico rilevatore di movimento compatto ha tre piedini: terra, tensione positiva e uscita del rilevatore. Se fornite 5 V al rilevatore, la tensione al piedino di uscita risulta circa 0 (zero) V quando non viene rilevato alcun movimento e circa 5 V quando viene rilevato un movimento. È possibile trovare *rilevatori di movimento* compatti

presso tutti i rivenditori di sistemi di sicurezza, ma assicuratevi di acquistare un rilevatore di movimento e non semplicemente un sensore a infrarossi. La lente inclusa nel rilevatore di movimento lo aiuta a rilevare il *movimento* e non semplicemente la *presenza* di un oggetto.

Energia dai trasduttori di ingresso

Nei circuiti elettronici vengono utilizzati molti tipi di trasduttori di ingresso. Ecco alcuni esempi comuni.

- ✓ **Antenne:** un'antenna rileva le onde elettromagnetiche e ne trasforma l'energia in un segnale elettrico. Funziona anche come *trasduttore di uscita*, convertendo i segnali elettrici in onde.
- ✓ **Sensori di pressione o di posizione:** questi sensori sfruttano le proprietà di resistenza variabile di alcuni materiali quando subiscono una deformazione. Per esempio i cristalli piezoelettrici.
- ✓ **Testine magnetiche:** questi dispositivi leggono le fluttuazioni nel campo magnetico registrate sui nastri di cassette audio e video (ma anche sui floppy utilizzati nei “tempi antichi”) e li convertono in segnali elettrici.

I trasduttori vengono frequentemente catalogati in base al tipo di conversione dell'energia: per esempio esistono trasduttori elettroacustici, elettromagnetici, fotoelettrici ed elettromeccanici. Questi fantastici apparecchietti offrono notevoli opportunità, che consentono ai circuiti elettronici di svolgere moltissimi compiti utili.

Suoni elettronici

I sensori, o *trasduttori di ingresso*, prendono una forma di energia e la convertono in energia elettrica, che viene inviata all'ingresso di un circuito

elettronico. I *trasduttori di uscita* fanno l'opposto: prendono un segnale elettronico in uscita da un circuito e lo convertono in un'altra forma di energia, per esempio suono, luce o movimento (energia meccanica).

Forse non ve ne siete neppure resi conto, ma in realtà conoscete molto bene molti dispositivi che sono trasduttori di uscita: lampadine, LED, motori, altoparlanti, tubi catodici e altri apparecchi visuali convertono l'energia elettrica in un'altra forma di energia. Senza di loro, potreste creare, controllare e inviare segnali elettrici attraverso cavi e componenti, senza mai produrre niente di veramente utile. Solo quando trasformate l'energia elettrica in un'altra forma di energia, che potete sperimentare (utilizzare) personalmente, potete iniziare a godere davvero i frutti di tutto questo lavoro.

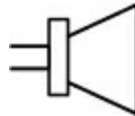
Altri modi per leggere la temperatura

Nel paragrafo “Al sensore piace caldo”, di questo capitolo abbiamo parlato dei sensori di temperatura chiamati termistori, ma vi sono molti altri tipi di sensori di temperatura. Ecco un breve riepilogo delle loro caratteristiche.

- ✓ **Bimetallici:** il termostato presente in casa, probabilmente utilizza una lamella bimetallica, che si incurva quando la temperatura scende, per chiudere un interruttore e attivare la caldaia.
- ✓ **Sensori di temperatura a semiconduttori:** il tipo più comune di sensori di temperatura, la cui tensione di uscita dipende dalla temperatura; contiene due transistor (consultate il [Capitolo 6](#)).
- ✓ **Termocoppie:** una termocoppia contiene due cavi in materiali differenti (per esempio uno in rame e uno in lega nickel/rame) incollati o saldati in certo punto. Questi sensori generano una tensione che cambia con la temperatura. I metalli utilizzati determinano quanto cambia la tensione con la temperatura. Le termocoppie possono misurare temperature elevate, di svariate centinaia e perfino migliaia di gradi.

✓ **Sensori di temperatura a infrarossi:** questo tipo di sensore misura la luce a infrarossi emessa da un corpo. Un sensore di questo tipo deve essere situato a una distanza ben precisa dall'oggetto che si prevede di misurare; per esempio potete utilizzare questo sensore anche se l'oggetto è circondato da un gas corrosivo. Gli impianti industriali e i laboratori scientifici utilizzano normalmente dei sensori di temperatura a termocoppia e a infrarossi.

Altoparlanti



Gli *altoparlanti* convertono i segnali elettrici in energia acustica; il loro simbolo è rappresentato a lato. In genere un altoparlante è costituito semplicemente da un magnete permanente, un elettromagnete (che è un magnete temporaneo, a controllo elettrico) e un cono mobile. La [Figura 8.7](#) mostra i componenti di un altoparlante.

L'elettromagnete, che è costituito da un avvolgimento avvolto attorno a un nucleo in ferro, è fissato al cono. Quando la corrente elettrica si alterna avanti e indietro attraverso l'avvolgimento, l'elettromagnete viene spinto avanti e poi indietro dal magnete permanente (queste fluttuazioni degli elettromagneti sono descritte nel [Capitolo 5](#)). Il movimento dell'elettromagnetica trasmette le vibrazioni al cono, il quale produce i suoni.

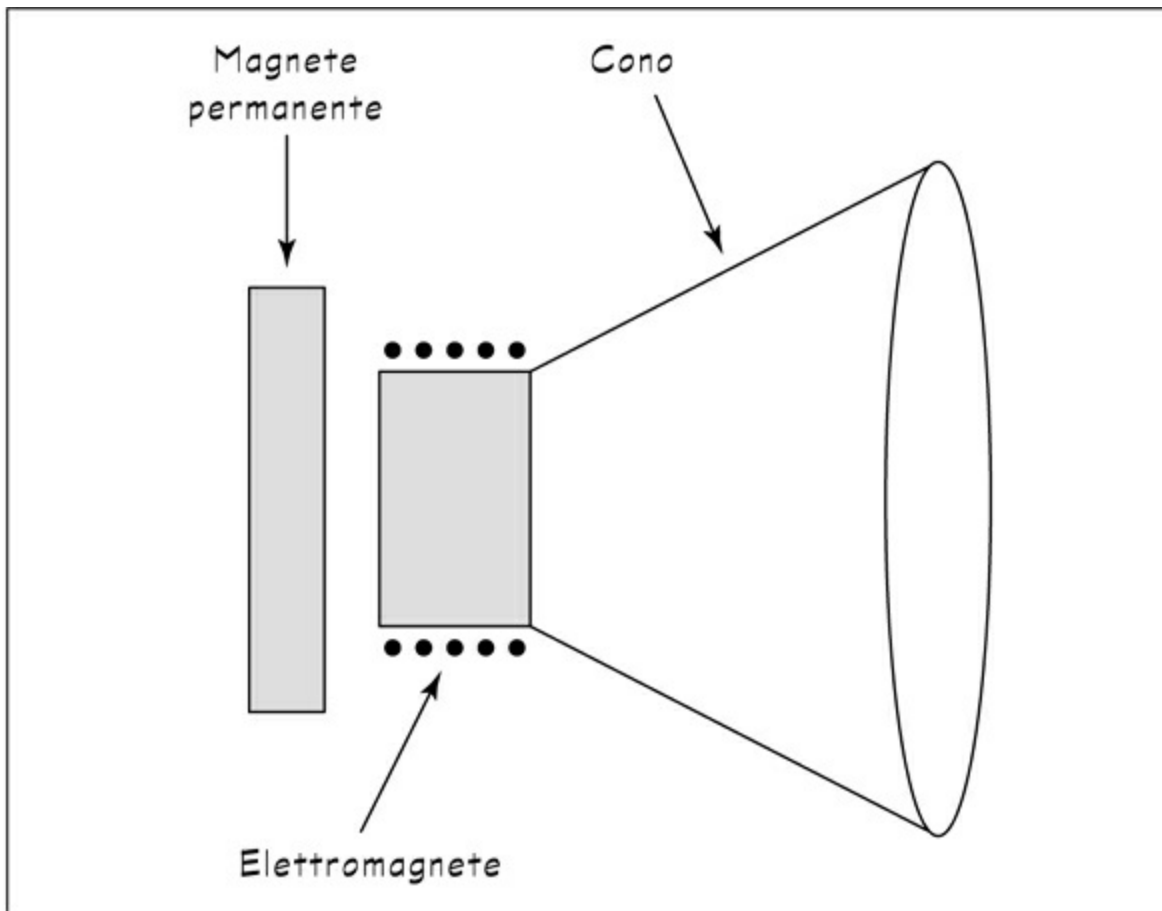


Figura 8.7 Le parti di un tipico altoparlante: due magneti e un cono.

La maggior parte degli altoparlanti è dotata di due cavi che possono essere utilizzati indifferentemente. Per i progetti più seri, come nel caso delle casse acustiche di un sistema stereo, occorre fare attenzione alla polarità degli altoparlanti, per il modo in cui vengono utilizzati nei circuiti elettronici interni di un sistema stereo.

Gli altoparlanti si caratterizzano in base ai seguenti criteri.

- ✓ **Gamma di frequenze:** gli altoparlanti possono generare suoni lungo un certo arco di frequenze, a seconda delle dimensioni e della struttura, ma sempre nella *gamma delle frequenze udibili* (da circa 20 Hz a circa 20 kHz). Per esempio, un altoparlante woofer di un sistema stereo può generare suoni nella gamma dei bassi (basse

frequenze udibili) mentre un altoparlante tweeter può generare suoni in una gamma di frequenze più elevata. Occorre fare attenzione alla frequenza degli altoparlanti solo se si sta realizzando un sistema audio ad alta fedeltà.

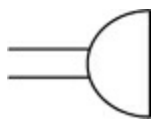
- ✓ **Impedenza:** l'impedenza misura la resistenza dell'altoparlante alla corrente alternata (ne abbiamo parlato nel [Capitolo 5](#)). Si trovano altoparlanti da 4, 8, 16 e 32 Ω . È importante scegliere un altoparlante corrispondente all'impedenza minima dell'amplificatore utilizzato per pilotarlo. Potete trovare questo valore sul datasheet dell'amplificatore, consultando il sito web del produttore. Se l'impedenza dell'altoparlante è troppo elevata, non riuscirete a trarre molto volume dall'altoparlante; se invece è troppo bassa, potreste surriscaldare l'amplificatore.
- ✓ **Potenza:** occorre sapere quanta potenza (potenza = corrente $\times$ tensione) l'altoparlante può sopportare senza danneggiarsi. I tipici livelli di potenza sono 0,25, 0,5, 1 e 2 W. Assicuratevi di controllare la potenza massima dell'amplificatore che piloterà l'altoparlante (controllate il datasheet) e scegliete un altoparlante che sia in grado di supportare tale potenza.



Per i progetti elettronici hobbistici, sono perfetti gli altoparlanti in miniatura (del diametro di circa 5/10 centimetri) con un'impedenza di 8 Ω . Fate solo attenzione a non esagerare con la potenza, in quanto questi altoparlanti sono in grado di supportare solo 0,25 o al massimo 0,5 W.

Buzzer

Come gli altoparlanti, i buzzer generano suoni, ma i buzzer producono *sempre lo stesso suono*, indipendentemente dalla tensione applicata. Con un altoparlante, un brano di Mozart suona come... un brano di Mozart; con un buzzer, un brano di Mozart produce solo e unicamente rumore.



Un tipo di buzzer, il *buzzer piezoelettrico*, contiene una membrana connessa a un cristallo piezoelettrico. A lato è rappresentato il simbolo di un buzzer piezoelettrico. Quando al cristallo viene applicata una tensione, questo si espande o contrae (per l'effetto piezoelettrico); il cristallo, a sua volta, fa vibrare la membrana, la quale produce il rumore. Notate che questo è esattamente l'opposto del funzionamento di un microfono a cristallo, descritto in precedenza in questo stesso capitolo.

I buzzer hanno due contatti e possono assumere varie forme. La [Figura 8.8](#) ne mostra due esempi. Per connettere i cavi in modo corretto, ricordatevi che il cavo rosso si connette dalla tensione positiva.

Nell'acquisto di un buzzer, dovrete considerare tre specifiche.

- ✓ **Frequenza di emissione dei suoni:** la maggior parte dei buzzer produce suoni a una sola frequenza, compresa fra 2 e 4 kHz.
- ✓ **Tensione di lavoro e intervallo di tensioni:** procuratevi un buzzer che operi alla tensione che pensate di impiegare.
- ✓ **Livello di suono prodotto, in decibel:** più elevate sono le indicazioni in decibel, più elevato sarà il suono prodotto. Tensioni (in corrente continua) più elevate producono livelli sonori più elevati.



Fate attenzione che il suono non divenga talmente elevato da danneggiare l'udito. Potreste soffrire di danni permanenti all'udito se vi troverete esposti per troppo tempo a rumori pari o superiori a 90 dB, anche se non proverete dolore prima dei 125 dB.



Figura 8.8 Questi rumorosi buzzer sono molto facili da utilizzare.

Buone vibrazioni dai motori in corrente continua

Vi siete mai chiesti che cosa fa vibrare il telefono? Si tratta di semplici motori in corrente continua: i *motori in corrente continua* trasformano l'energia elettrica (ovvero l'energia conservata in una batteria) in movimento. Tale movimento può prevedere la rotazione delle ruote di un robot o la vibrazione del telefono. Potete utilizzare motori in corrente continua per qualsiasi progetto in cui abbiate bisogno di generare del movimento.

Gli elettromagneti rappresentano un componente importante nei motori in corrente continua, poiché questi motori sono costituiti, sostanzialmente, da un elettromagnete su un asse in rotazione fra due magneti permanenti, come si può vedere nella [Figura 8.9](#).

I terminali positivo o negativo della batteria si connettono in modo che ogni estremità dell'elettromagnete abbia la stessa polarità del magnete permanente adiacente. I poli corrispondenti dei magneti si respingono.

Questa azione repulsiva sposta l'elettromagnete e mette in rotazione l'asse.

Quando l'asse ruota, le connessioni positiva e negativa dell'elettromagnete cambiano posizione e dunque i magneti continuano a mantenere in rotazione l'asse. Un semplice meccanismo, costituito da un *commutatore* (una ruota segmentata in cui ciascun segmento è connesso a un'estremità differente dell'elettromagnete) e delle spazzole che toccano il commutatore invertono le connessioni. Il commutatore ruota insieme all'asse e le spazzole sono fisse: una spazzola è connessa al terminale positivo della batteria e l'altra spazzola al terminale negativo della batteria. Quando l'asse (e pertanto il commutatore) ruota, il segmento in contatto con ciascuna spazzola cambia. Questo, a sua volta, cambia il fatto che le estremità dell'elettromagnete siano connesse alla tensione positiva o negativa.

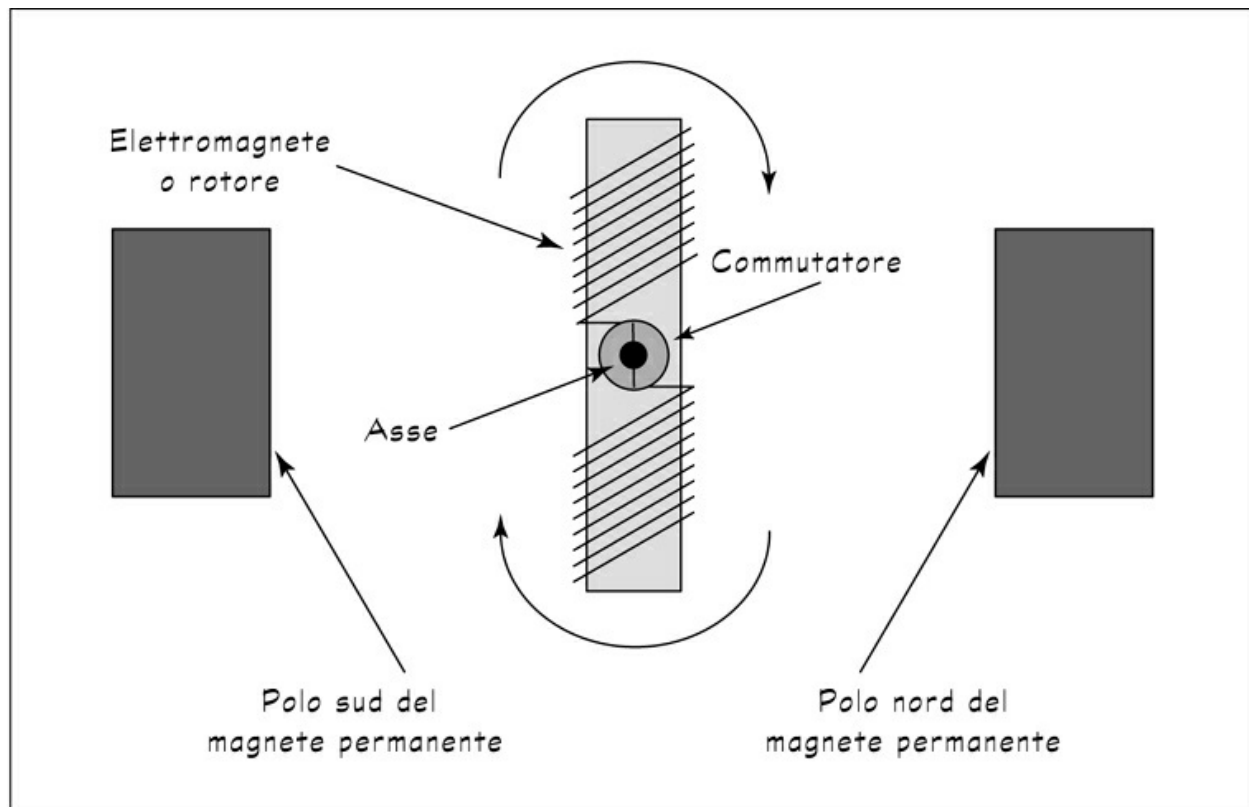


Figura 8.9 Le varie parti di un semplice motore in corrente continua.



Se volete sincerarvi del funzionamento di un motore in corrente continua, acquistatene uno per pochi spiccioli e smontatelo.

L'asse di un motore in corrente continua ruota alcune migliaia di volte al minuto: un po' troppo velocemente per la maggior parte delle applicazioni. I fornitori vendono motori in corrente continua con un *ingranaggio* premontato che riduce la velocità dell'albero di uscita al di sotto di un centinaio di rivoluzioni al minuto (rpm). Funziona un po' come il cambio di un'automobile.

I cataloghi dei fornitori elencano normalmente varie specifiche per i motori in vendita. Nell'acquisto di motori elettrici, considerate le seguenti caratteristiche.

- ✓ **Velocità:** la velocità (in rivoluzioni al minuto, rpm) di cui avete bisogno dipende dal progetto. Per esempio, per un automodello, potete utilizzare una rotazione da 60 rpm, in cui il motore fa girare le ruote una volta al secondo.
- ✓ **Tensione di lavoro:** la tensione di lavoro viene fornita come intervallo. I progetti elettronici hobbistici utilizzano tipicamente un motore che opera fra i 4,5 e i 12 V. Prendete inoltre nota della tensione nominale indicata dal produttore e del valore rpm indicato. Il motore opera a questa velocità quando si fornisce la tensione nominale. Se fornite una tensione più bassa, il motore ruoterà più lentamente e se fornite una tensione più elevata, ruoterà più velocemente, anche se probabilmente si brucerà.

I motori in corrente continua hanno due contatti (o terminali, cui saldare dei cavi) per la tensione di alimentazione positiva e negativa. Per alimentare il motore basta fornire una tensione in corrente continua che generi la velocità desiderata e togliere la tensione quando il motore deve fermarsi.

Potete utilizzare un metodo più efficiente per controllare la velocità del motore impiegando la *modulazione a impulsi*. Questo metodo attiva e disattiva la tensione con rapidi impulsi. Più lunghi sono gli intervalli “on” e

più velocemente ruoterà il motore. Se state realizzando il kit di un apparecchio dotato di motore (per esempio un robot), questo tipo di controllo della velocità dovrebbe essere gestito dall'elettronica del kit.



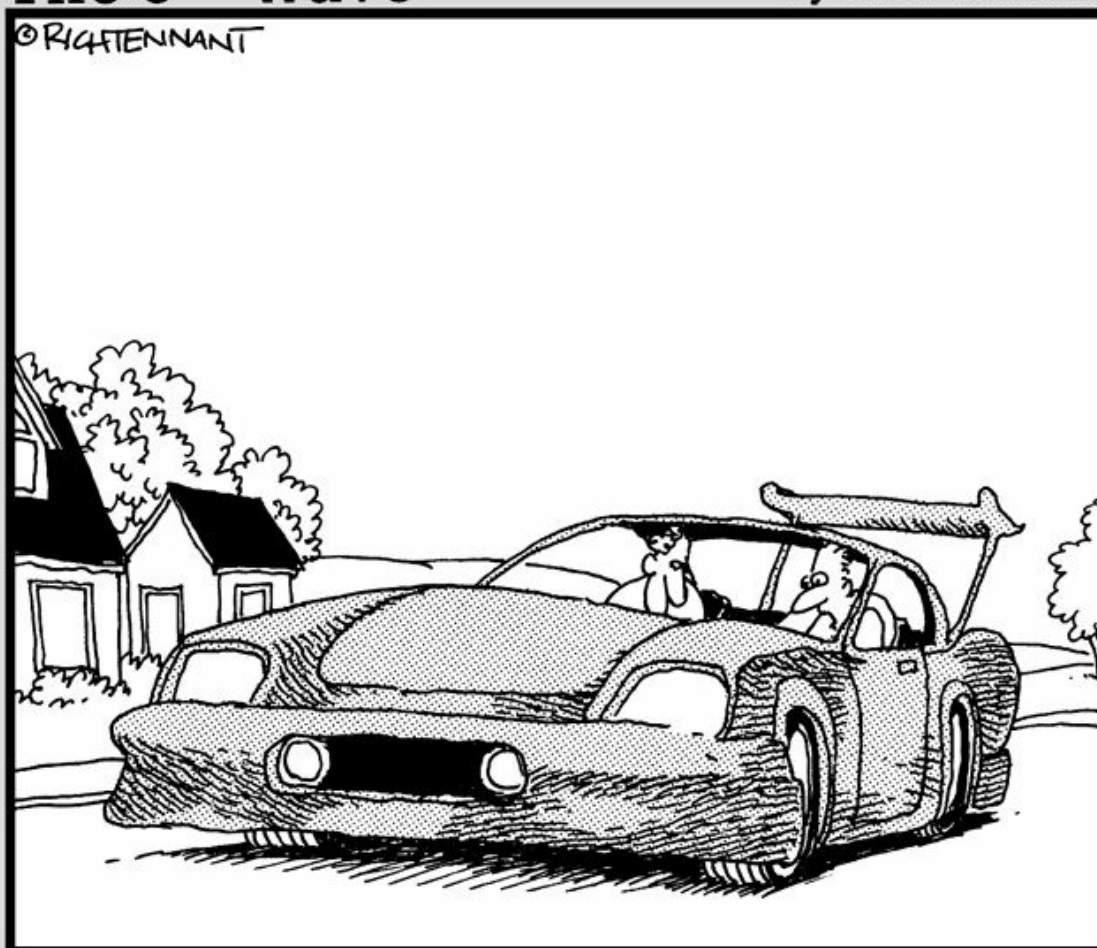
Se connettete al motore ruote, lamelle e altro, assicuratevi di aver fissato il tutto in modo sicuro prima di dare alimentazione al motore. In caso contrario, tali particolari potrebbero sfilarsi dall'albero e colpire al volto voi o i vostri cari.

Parte II

Le mani in pasta

The 5th Wave

By Rich Tennant



“Ci ho installato gli strumenti della cyclette. Vuoi

sapere quante calorie abbiamo bruciato nell'ultimo chilometro?"

In questa parte...

Siete curiosi di sapere che cosa fa funzionare la miriade di apparecchi elettronici che vi circonda? Volete sapere come fanno gli altoparlanti a produrre suoni, i motori a girare e i computer a calcolare? Avete scelto proprio il libro giusto!

Scoprirete quali strumenti elettronici dovete assolutamente avere e quali componenti elettronici acquistare per iniziare. Vi sveleremo il linguaggio degli schemi elettrici (diagrammi di circuiti) e in breve imparerete a trasferire lo schema di un circuito dalla carta al circuito vero e proprio, con tutti i componenti necessari. Vedremo come utilizzare una breadboard per realizzare un prototipo, senza saldature, per creare circuiti di test; poi potrete saldare i componenti per creare circuiti permanenti.

Farete la conoscenza di uno strumento fondamentale, il tester o multimetro, che consente di “vedere” ciò che accade all’interno dei circuiti e di individuare i problemi.

Introdurremo anche il funzionamento di due apparecchi

di test molto utili, ma del tutto opzionali: la sonda logica e l'oscilloscopio.

Capitolo 9

Configurare il laboratorio e operare in sicurezza

In questo capitolo

- Predisporre uno spazio di lavoro adatto.
 - Procurarsi gli strumenti e gli elementi necessari.
 - Dotarsi di un kit di base di componenti elettronici.
 - La Legge di Ohm vale anche per il corpo umano.
 - Evitare le folgorazioni.
 - Evitare di carbonizzare i componenti.
-

Parlare delle caratteristiche delle resistenze, dei transistor e degli altri componenti elettronici è molto bello, ma tracciando schizzi di schemi circuitali e sognando il modo in cui un fantastico circuito potrebbe manipolare il flusso degli elettroni non si va da nessuna parte: non farà muovere, suonare, “accadere” proprio nulla. Occorre cominciare a mettere le mani sui componenti fisici, aggiungere un po’ di alimentazione e osservare il comportamento dei circuiti. Ma prima di precipitarvi al più vicino negozio di componenti elettronici, occorre preparare questa seconda fase, di realizzazione dei circuiti.

In questo capitolo troverete indicazioni utili per approntare un piccolo laboratorio elettronico in casa. Parleremo degli strumenti e degli attrezzi di cui avete bisogno per realizzare i circuiti e proporremo un elenco di

componenti elettronici da acquistare, con i quali potrete realizzare una manciata di progetti preliminari.

Poiché la realizzazione di circuiti non è per “deboli di cuore” (perché anche una corrente modesta può dare una bella scossa), vedremo le norme di sicurezza che dovete assolutamente conoscere per rimanere a lungo hobbisti... “in salute”. Una piccola parola sulla sicurezza: non ci vuole poi così tanta corrente elettrica per farsi veramente male o addirittura per andare all’altro mondo. Anche i professionisti più esperti prendono sempre tutte le precauzioni necessarie per garantire la propria sicurezza. Vi suggeriamo assolutamente (e insistiamo, *assolutamente*) di leggere attentamente le informazioni di sicurezza fornite in questo capitolo (tra l’altro abbiamo fatto una certa fatica a metterle insieme): *prima* di iniziare ogni progetto, ripassate il breve riepilogo delle norme di sicurezza che abbiamo posto alla fine del capitolo.

Promesso?

Scegliere il luogo adatto per sviluppare progetti

Il luogo in cui lavorerete è altrettanto importante dei progetti che costruirete e degli strumenti che utilizzerete. È un po’ come la scelta dell’abitazione: la parola chiave per lavorare con componenti elettronici è la postazione, da curare in tutti i dettagli. Predisponendo un angolo adatto in casa, potrete organizzarvi al meglio e godervi di più gli esperimenti. Non c’è niente di peggio che lavorare in una postazione disordinata, con un’illuminazione insufficiente e respirando aria stantia.

I principali ingredienti per un grande laboratorio

Gli ingredienti fondamentali per realizzare un piccolo laboratorio di elettronica sono i seguenti.

- ✓ Un luogo confortevole in cui lavorare, con un tavolo e una sedia.
- ✓ Una buona illuminazione.
- ✓ Un'ampia disponibilità di prese elettriche, da 10 Ampere.
- ✓ Scaffali e cassettoni per strumenti e attrezzi.
- ✓ Un ambiente confortevole e non umido.
- ✓ Una superficie di lavoro solida e piana.
- ✓ Tranquillità e silenzio.



La postazione di lavoro ideale non dovrà essere disturbata anche se doveste lasciare il lavoro semi-assemblato per qualche ora o giorno. Il tavolo di lavoro dovrà essere off-limits, inaccessibile ai bambini. L'elettronica non va molto d'accordo con la loro curiosità!

Il garage di casa può essere un luogo ideale, poiché offre la possibilità di lavorare con il saldatore e con altri materiali problematici, senza doversi preoccupare di bruciare il parquet o il mobilio. Non avete bisogno di molto spazio: una scrivania da 90 × 120 centimetri andrà più che bene. Se non potete liberare questo spazio in garage (o se non avete un garage), potete utilizzare una stanza di casa, ma cercate di individuare un angolo o una parte della stanza da destinare esclusivamente al lavoro elettronico. Se vi trovate a lavorare in un locale con la moquette, potete evitare l'accumulo di elettricità statica poggiando sulla moquette una copertura anti-statica. Ne parleremo in dettaglio più avanti, sempre in questo capitolo.



Se l'area di lavoro è accessibile ad altri membri della famiglia, trovate il modo di proteggerla da tutti coloro che non siano dotati delle necessarie competenze in campo elettronico (ne ripareremo alla fine di questo capitolo),

specialmente dai bambini. Mantenete i progetti, gli strumenti e gli attrezzi lontani dalle loro manine, ben chiusi in armadietti a serratura. E fate attenzione che circuiti integrati e gli altri componenti appuntiti non cadano sul pavimento. Camminarci sopra non è divertente!

Indipendentemente da dove predisporrete il vostro “laboratorio”, considerate anche l’aspetto climatico. Valori estremi di temperatura o umidità possono avere un effetto profondo sui circuiti elettronici. Se l’unica area di lavoro che siete riusciti a trovare è gelida, torrida o umida, trovate il modo di regolarne il clima oppure scegliete un’altra area. Potreste aver bisogno di migliorare l’isolamento termico, di aggiungere un condizionatore d’aria o un deumidificatore per controllare il clima nell’area di lavoro. Collocate il tavolo da lavoro lontano da porte e finestre aperte, dove possono svilupparsi valori estremi di temperatura e umidità. E, per motivi di sicurezza, non lavorate mai, lo ripeto, *mai*, dove il pavimento è bagnato o anche leggermente umido.

Il tavolo di lavoro

In base ai tipi di progetti che realizzerete, dovrete scegliere un tavolo di lavoro di dimensioni appropriate, ma per la maggior parte delle applicazioni, potrebbe essere sufficiente un tavolo o un piano anche di soli 60 × 90 cm. Potreste riuscire a operare anche su una ribaltina o un tavolo più piccolo, che però deve essere dedicato esclusivamente al lavoro elettronico.

Potete realizzare il tavolo di lavoro con facilità utilizzando una vecchia porta. Se non avete a disposizione una vecchia porta di casa, procuratevene una usata. Costruite delle gambe solide da fissare tramite cerniere altrettanto solide. In alternativa, potete utilizzare un piano di compensato solido e spesso.

Se lo preferite, lasciate perdere le gambe con cerniere e fatevi un semplice tavolo di lavoro utilizzando una porta e due cavalletti. In questo modo potrete togliere di mezzo il tavolo di lavoro e metterlo in un angolo. Utilizzate delle corde elastiche per fissare la porta ai cavalletti, per evitare che cada accidentalmente.

Ricordate che, quando lavorate sui progetti, starete al tavolo di lavoro per qualche ora. Potete risparmiare sul piano, acquistando o realizzando da soli un piano di lavoro veramente economico, ma se non avete già a disposizione una buona sedia, pensate a metterla al primo posto nella vostra lista della spesa. Fate attenzione a regolare la seduta all'altezza corretta per il piano di lavoro. Una sedia di cattiva qualità può provocare mal di schiena e affaticamento.

Acquisto di strumenti e attrezzi

Ogni hobby ha il suo specifico assortimento di strumenti e attrezzi e anche l'elettronica non fa eccezione. Dall'umile cacciavite al trapano ad alta velocità, vi divertirete molto di più con l'elettronica se potrete contare su strumenti adatti e su un buon assortimento di attrezzi, organizzati e riposti in modo da averli sempre a disposizione quando ne avrete bisogno, senza ammonticchiarli sull'area di lavoro.

Ora vedremo esattamente quali strumenti e attrezzi dovrete predisporre per realizzare i progetti elettronici di livello più semplice (o anche non tanto semplice).



Se avete un luogo in casa da dedicare permanentemente alla realizzazione di progetti elettronici, potete appendere alcuni degli strumenti menzionati in questo paragrafo sulla parete o su un pannello perforato a parete, soprattutto per gli strumenti che utilizzate più frequentemente. Potete riporre altri piccoli attrezzi in una piccola cassetta, da tenere sul piano di lavoro. Una cassetta da pescatore è dotata di tanti piccoli scompartimenti e vi consentirà di tenere il tutto ben organizzato.

Il necessario per saldare

La *saldatura* è il metodo utilizzato per realizzare contatti semi-permanenti fra i componenti del circuito. Così come per mantenere insieme due oggetti si usa della colla, per saldare i componenti elettronici si utilizzano piccole gocce di metallo, che fonde applicando un particolare saldatore. Il metallo fuso garantisce il contatto fisico conduttivo, fra i fili e i componenti del circuito.

Sarete felici di sapere che per eseguire queste saldature bastano solo pochi e semplici strumenti. Basterà un semplicissimo saldatore da una decina di euro, anche se i saldatori migliori possono costare un pochino di più.

Come minimo, per eseguire saldature avrete bisogno dei seguenti elementi.

- ✓ **Saldatore:** chiamato anche *saldatore a stilo* o *saldatore da hobbistica*, è una specie di bastoncino di ferro e plastica costituito da un'impugnatura isolata, un elemento riscaldante e una sottile punta metallica ([Figura 9.1](#)). Scegliete un saldatore da 25/30 watt dotato di una punta sostituibile e di una spina a tre contatti, in modo da garantire la messa a terra. Alcuni modelli consentono di impiegare punte differenti per progetti differenti e alcuni includono un regolatore di temperatura (in entrambi i casi si tratta di “optional” utili, ma non strettamente necessari).
- ✓ **Base per saldatore:** trattiene il saldatore ed evita che la punta entri in contatto con il piano di lavoro. Alcuni saldatori sono già dotati di una propria base (in genere si parla di vere e proprie *stazioni di saldatura*). Il supporto deve avere una base solida e zavorrata; in caso contrario, fissatela al piano di lavoro in modo che sia ben stabile. La base non è un optional, a meno che non vogliate bruciare il vostro progetto, il tavolo di lavoro o... voi stessi!



Figura 9.1 Alcuni modelli di saldatori sono regolabili e sono anche dotati di una propria base per la punta.

✓ **Lega di stagno:** è un filo realizzato in metallo morbido, che fonde quando gli viene applicato il saldatore e, una volta raffreddatosi, forma un legame conduttivo. Lo “stagno” utilizzato in elettronica è normalmente di tipo *60/40 rosin core*, ovvero contenente circa il 60% di stagno, il 40% di piombo e con un nucleo interno in resina fluxante (non utilizzate la lega realizzata per lavori idraulici, che corrode i componenti elettronici e le schede dei circuiti). Il fluxante *ceroso* aiuta a pulire gli elementi metallici che state saldando e migliora la capacità dello stagno di aderire ai componenti e ai fili, garantendo una buona conduttività elettrica. Lo stagno è venduto in rocchetti e, per i progetti elettronici hobbistici che andremo a realizzare, è consigliabile utilizzare i diametri da 0,8 o 1,5 mm.



Il contenuto di piombo della lega di stagno 60/40 rappresenta un pericolo se questa non viene maneggiata con cura. Tenete sempre le dita lontane dalla bocca e dagli occhi se avete utilizzato lo “stagno” per saldare. Soprattutto, non usate mai i denti per tenere un pezzo di stagno quando avete le mani occupate.

Abituatevi anche a utilizzare i seguenti accessori di una stazione di saldatura.

- ✓ **Spugnetta umidificata:** potete utilizzarla per togliere l'eccesso di stagno dalla punta del saldatore. Alcune basi per saldatura sono dotate di una spugnetta, ospitata in un apposito incavo, ma può svolgere benissimo lo stesso lavoro anche una normale spugna per le pulizie di casa.
- ✓ **Strumenti per la rimozione dello stagno:** una *pompette succhia-stagno*, chiamata anche *pompette per dissaldare*, è una piccola pompa a vuoto che consente di eliminare una saldatura o lo stagno in eccesso nel circuito. Per utilizzarla, basta fondere lo stagno che volete togliere, posizionare rapidamente la pompette sopra il metallo fuso e attivare il meccanismo di risucchio. Alternativamente, potete utilizzare una *treccia di rame*, da posizionare sopra la saldatura indesiderata e riscaldare. Quando lo stagno raggiungerà la temperatura di fusione, aderirà ai fili di rame della treccia e potrete eliminarlo con facilità.
- ✓ **Pasta per la pulizia delle punte:** mantiene sempre in perfetta efficienza la punta del saldatore.
- ✓ **Spray per l'eliminazione della resina flussante:** disponibile in flacone o spray consente di eliminare la resina in eccesso e impedire che ossidi il circuito, indebolendo il contatto elettrico.
- ✓ **Altre punte per saldatura:** per la maggior parte dei lavori elettronici, va benissimo una punta sottile, conica o piatta, ma troverete in



commercio anche punte più grosse o minuscole, per i vari tipi di progetti. Assicuratevi solo di acquistare una punta adatta al modello del vostro saldatore. Sostituite la punta quando mostra segni di corrosione o consumo: una punta consumata fatica a trasmettere il calore.

Nel [Capitolo 11](#) vedremo in dettaglio come utilizzare una punta per saldatore.

Un bel multimetro

Un altro strumento essenziale è il *multimetro*, o *tester*, che potete impiegare per misurare le tensioni in corrente alternata e continua, le resistenze e la corrente quando volete scoprire cosa sta accadendo in un circuito. La maggior parte dei multimetri disponibili oggi è di tipo digitale ([Figura 9.2](#)): mostrano l'indicazione su un display numerico, un po' come in un orologio digitale (in ogni caso potete utilizzarli per esplorare circuiti sia analogici sia digitali). Un multimetro analogico “vecchio stile” utilizzerà invece un ago e una serie di scale graduate.



Figura 9.2 I multimetri possono misurare tensioni, resistenze e correnti.

Ogni multimetro è dotato di una coppia di puntali: uno nero (per la connessione a massa) e uno rosso (per la connessione positiva). Nelle unità più piccole, tascabili, i puntali sono fissati all'apparecchio, mentre nei modelli più grossi, possono essere staccati. Ogni puntale è dotato di una punta metallica conica da poggiare sui circuiti. Potete anche acquistare dei clip che si fissano alle punte e che semplificano i test, in quanto potrete poi collegare questi morsetti ai fili o ai piedini dei componenti.

Un multimetro nuovo può costare dai 10 ai 100 euro. I multimetri più costosi sono più ricchi di funzionalità, per esempio la possibilità di misurare condensatori, diodi e transistor. Un multimetro è come un paio di occhi per

“vedere” cosa accade nel circuito e quindi è meglio acquistare il modello migliore che potete permettervi. In tal modo, quando i vostri progetti si faranno più complessi, potrete comunque avere una visione completa di ciò che sta accadendo al loro interno.



Se siete seriamente intenzionati a utilizzare un multimetro analogico, potete trovare su eBay l’ottimo modello Simpson 260 a una frazione del prezzo (molto elevato) del nuovo. Il Simpson 260 è uno dei multimetri più diffusi mai prodotti. Il suo aspetto è un po’ retrò, secondo gli standard odierni, ma se non è stato troppo maltrattato, farà tutto ciò di cui avete bisogno.

Vedremo come utilizzare un multimetro nel [Capitolo 12](#).

Gli strumenti manuali

I piccoli attrezzi sono immancabili in ogni dotazione. Questi strumenti consentono di avvitare, tagliare e spelare i fili, piegare i piedini metallici e svolgere tanti compiti forse umili ma non meno importanti. Dovreste procurarvi i seguenti attrezzi.

✓ **Tronchesino:** potete trovare comuni tronchesini in qualsiasi negozio di attrezzi, ma vale la pena di investire qualcosa di più per un *tronchesino* per elettronica, rappresentato nella [Figura 9.3](#), che consente di eseguire un taglio preciso, per esempio appena sopra la saldatura.

✓ **Spelafili:** capita frequentemente di dover esporre circa un centimetro di filo per saldarlo o per inserirlo nei fori di una breadboard (di cui parleremo un po’ più avanti, sempre in questo capitolo). Uno spelafili è normalmente dotato di piccoli incavi che consentono di togliere con facilità e precisione solo il rivestimento isolante in plastica da fili di varie dimensioni (ne abbiamo parlato nel [Capitolo](#)

8), senza intaccare il filo interno. Spesso si trova una combinazione trancia/spelafili, la scelta è vostra.



Figura 9.3 Un tronchesino specifico per elettronica evita che la parte eliminata salti chissà dove.

- ✓ **Pinzette (una coppia):** queste pinze consentono di piegare fili, inserire fili nei fori di una breadboard e tenere in posizione i componenti. Acquistatene due: una più piccola (non più lunga di 12 o 13 centimetri) per i lavori più minuti e una standard da impiegare quando è necessario applicare un po' più di energia.
- ✓ **Cacciaviti di precisione:** acquistatene uno con punta a taglio e uno con punta a stella, che siano sufficientemente piccoli per le esigenze elettroniche. Usate sempre il cacciavite di dimensioni appropriate per il lavoro, per evitare di danneggiare la testa delle viti. Un cacciavite magnetizzato può semplificare le cose con le viti più piccole, ma potete sempre mettere un piccolo grumo di gomma per cancellare

alla testa della vite prima di fissarla al cacciavite. Funziona a meraviglia.

- ✓ **Lente d'ingrandimento:** una lente d'ingrandimento da 3× (o più) può aiutarvi a individuare i ponticelli di stagno e a leggere il codice dei componenti più piccoli.
- ✓ **Terza mano:** non dovete chiedere una mano a un amico. Si tratta di un comodo strumento che si fissa al piano di lavoro ed è dotato di mollette regolabili in grado di trattenere i componenti più piccoli. Spesso offrono anche una lente d'ingrandimento. Questo semplice strumento semplifica notevolmente le operazioni. Un esempio è rappresentato nella [Figura 9.4](#).



Figura 9.4 La “terza mano” è dotata di una o più pinzette e, a volte, di una lente d'ingrandimento.

Strumenti di pulizia

Se i circuiti, i componenti e gli altri elementi dei progetti elettronici non sono perfettamente puliti, potrebbero non funzionare a dovere. È particolarmente importante verificare che sia tutto ben pulito se dovete saldare i componenti fra loro o su una basetta. La polvere indebolisce le saldature e le cattive saldature non garantiscono il funzionamento di un circuito.

Ecco un elenco di oggetti che potete procurarvi per mantenere sempre splendenti i vostri progetti.

- ✓ **Un panno morbido o una benda:** togliete la polvere utilizzando un piccolo panno morbido o una benda sterile. Non utilizzate gli spray anti-polvere per la pulizia domestica, poiché generano cariche statiche in grado di danneggiare i componenti elettronici.
- ✓ **Aria compressa:** un soffio di aria compressa, disponibile in bombolette, può eliminare la polvere dagli angoli più nascosti dei componenti elettronici. Ma tenetela al riparo da occhi indiscreti quando non la usate: se utilizzata come inalante, l'aria compressa può essere letale.
- ✓ **Detergente domestico a base d'acqua:** una leggera spruzzata per eliminare lo sporco e un eccesso di lubrificante dagli strumenti, dalle superfici di lavoro e dalle superfici esterne dei progetti. Non utilizzatelo invece sui circuiti alimentati o potreste provocare un corto circuito.
- ✓ **Pulitore per elettronica/sgrassatore:** utilizzate solo un pulitore/sgrassatore specifico per componenti elettronici.
- ✓ **Pennellini:** un pennello piccolo e uno un po' più grande consentono di "spazzare" la polvere dai circuiti, ma evitate i pennelli troppo economici, che perdono le setole. Potete anche usare uno spazzolino da denti asciutto e ben pulito.
- ✓ **Pennello di pulizia fotografico:** disponibile in qualsiasi negozio di fotografia, combina l'azione di un pennello morbido con un soffio d'aria.
- ✓ **Pulitore per contatti:** disponibile in bombolette spray, è specifico per

la pulizia di contatti elettrici. Potete spruzzarlo su un pennello e poi utilizzare il pennello per pulire i contatti.

- ✓ **Bastoncini cotonati:** per togliere l'eccesso di oli, lubrificanti e prodotti detergenti.
- ✓ **Apparecchietto per manicure:** potete utilizzarlo per limare i contatti elettrici, oltre che per la cura personale!
- ✓ **Gomma per matite:** ottima per pulire i contatti elettrici, specialmente se contaminati dall'acido perso da una batteria. Dev'essere del classico tipo rosso: le altre gomme possono lasciare residui difficili da eliminare. Evitate di sfregare a lungo la gomma sulla scheda del circuito, poiché potrebbe creare elettricità statica.

Lubrificanti

I motori e gli altri componenti meccanici utilizzati nei progetti elettronici richiedono una piccola quantità di grasso o olio per funzionare e dovreste lubrificarli periodicamente. Esistono due tipi di lubrificanti comunemente utilizzati nei progetti elettronici e anche un tipo di lubrificante che dovreste assolutamente evitare di utilizzare con i progetti elettronici.



Evitate di utilizzare un lubrificante sintetico spray (come il classico “WD-40”) sui progetti elettronici. Poiché non permette di controllare l'ampiezza dello spruzzo, l'olio potrebbe finire su componenti che non devono essere lubrificati. Inoltre, alcuni lubrificanti sintetici non sono conduttivi e potrebbero finire per interrompere dei contatti elettrici.

I lubrificanti che fanno per noi sono i seguenti.

- ✓ **Olio per macchine da cucire:** utilizzate questo tipo di olio per i componenti che ruotano. Evitate di utilizzare oli con ingredienti antiruggine che possono reagire con i componenti plastici,

rovinandoli. Un oliatore classico a pompetta e becco lungo è ideale per i luoghi difficili da raggiungere.

- ✓ **Grasso sintetico:** utilizzate grasso al litio o un altro grasso sintetico per quelle parti che devono muoversi o scorrere.

Potete trovare l'olio per macchine da cucire e il grasso sintetico nei negozi di componenti elettronici, ma anche in molti negozi di musica, macchine da cucire, hobbistica e utensileria.



Non applicate il lubrificante se non siete sicuri che una parte meccanica ne abbia bisogno. Alcune plastiche auto-lubrificanti utilizzate per i componenti meccanici possono non funzionare più se ricoperte di lubrificanti a base di petrolio. Se dovete aggiustare un player CD o un altro apparecchio elettronico, controllate se sul sito del produttore trovate istruzioni relative alla lubrificazione.

Colle per tutti gusti

Molti progetti elettronici richiedono l'impiego di adesivi di qualche tipo. Per esempio, potete dover fissare un piccolo circuito stampato alle pareti interne di un contenitore. A seconda dell'applicazione, potete utilizzare una o più delle seguenti soluzioni adesive.

- ✓ **Classica colla vinilica bianca:** adatta a progetti che prevedono l'impiego di legno o altri materiali porosi. L'asciugatura richiede 20/30 minuti e il fissaggio completo circa 12 ore.
- ✓ **Colla epossidica:** crea un legame solido, resistente all'umidità e può essere utilizzata per qualsiasi materiale. L'asciugatura richiede 5/30 minuti e il fissaggio completo sempre circa 12 ore.
- ✓ **Colla al cianoacrilato di metile o "supercolla":** incolla istantaneamente praticamente di tutto (comprese le dita, se non fate

attenzione). Usate questo genere di colla quando dovete unire parti perfettamente pulite e coincidenti; usate invece una colla in gel se le parti non coincidono al 100%.

- ✓ **Nastro biadesivo spesso:** un modo rapido per fissare i circuiti ai contenitori o per assicurarsi che i componenti volanti rimangano in posizione.
- ✓ **Colla a caldo:** consente di incollare gli oggetti e fissarli in posizione in non più di 30 secondi. Si tratta di una colla idrorepellente, in grado di riempire eventuali separazioni e fornita in “candelette” da inserire in un’apposita “pistola”, che scalda la colla a circa 125-175°C, quanto basta per scottare le dita, ma non sufficiente a sciogliere lo stagno.

Altri attrezzi

Altri tre oggetti che è assolutamente consigliabile acquistare prima di iniziare a lavorare su progetti elettronici.

- ✓ **Occhiali protettivi:** i buoni vecchi occhiali protettivi in plastica non vanno mai fuori moda. Sono un “must” per proteggere gli occhi dai piccoli frammenti di filo, dalle gocce di stagno e dall’esplosione dei componenti elettronici e di tanti altri piccoli oggetti. Se dovete indossare anche degli occhiali da vista, ponete gli occhiali protettivi al di sopra, per garantire una protezione completa tutto attorno agli occhi.
- ✓ **Bracciale antistatico:** si tratta di un oggetto economicissimo che evita che una scarica elettrostatica possa danneggiare i delicati componenti elettronici. Ne parleremo più avanti in questo capitolo.
- ✓ **Kit di pronto soccorso:** le bruciature (o peggio) possono sempre capitare quando si lavora sui circuiti elettronici. Tenete a portata di mano un kit di pronto soccorso. A volte questi kit sono dotati di un piccolo manuale pratico.

Talvolta è il caso di racchiudere i progetti elettronici in un contenitore di qualche tipo, da cui fuoriescono solo fili e manopole. Per esempio, magari volete realizzare un'insegna luminosa per le feste con una frequenza di lampeggio controllabile. Potete inserire il circuito principale in una scatolina, praticare un'apertura tonda sul davanti e farvi passare il potenziometro (la resistenza variabile) che controlla la frequenza di lampeggio. Oppure potete voler realizzare un circuito che rileva le “aggressioni” al frigorifero di casa. Potete nascondere il circuito in una scatolina da porre in fianco al frigo. In ogni caso, avrete bisogno di qualche altro attrezzo e oggetto per racchiudere il progetto da qualche parte.

Ecco un elenco di accessori e attrezzi di cui potreste avere bisogno per ospitare il circuito.

- ✓ **Scatoline pronte all'uso:** potete trovare semplici scatoline di legno nei negozi di fai da te oppure scatoline di plastica presso i principali fornitori di componenti elettronici. Potete anche realizzarne una voi stessi, utilizzando plastica o PVC e colla a contatto o un altro adesivo per tenere il tutto insieme.
- ✓ **Passacavi:** piccoli sistemi di fissaggio adesivi per tenere insieme i fili all'interno della scatola.
- ✓ **Fascette:** utilizzatele per collegare i fili alle superfici non piate, per esempio a un bastoncino di legno.
- ✓ **Mini trapano:** un trapano con *mandrino* da 3/8 (l'apertura in cui si inserisce la punta) è comodo per praticare fori nella scatola, cui fissare manopole e interruttori. Potete utilizzarlo anche per collegare ruote o altri componenti esterni al contenitore.
- ✓ **Seghetto:** potete utilizzarlo per tagliare il legno o la plastica e costruirvi una vostra scatolina o per praticare grosse aperture.

Procurarsi parti e componenti

OK, avete preparato il tavolo da lavoro, completo di cacciaviti, pinzette e

seghetto, avete indossato il bracciale antistatico e gli occhiali protettivi (sempre una buona abitudine!), avete collegato il saldatore e siete pronti a partire. Che cosa manca? Oh sì, mancano tutti i componenti per i circuiti!

Quando andate ad acquistare dei componenti, normalmente non acquistate solo ed esclusivamente le parti elencate sullo *schema*. Acquistate un assortimento di componenti che vi consentiranno di realizzare vari progetti, per evitare di dover acquistare sempre quel nuovo componente ogni volta che volete provare qualcosa di nuovo. È un po' come quando si acquistano gli ingredienti per cucinare: ci sono molti ingredienti di base, come la farina, lo zucchero, l'olio, il riso e le spezie; poi acquistate altri ingredienti vari che vi consentiranno di cucinare per una settimana o due. Lo stesso accade per i componenti elettronici.

In questo paragrafo vedremo quali componenti dovrete avere sempre a portata di mano per realizzare alcuni progetti elettronici di base.

Circuiti senza saldature: le breadboard

Una *breadboard* è un po' come la base LEGO: una superficie sulla quale si possono realizzare circuiti temporanei semplicemente collegando i componenti ai fori disposti in righe e colonne. È molto facile realizzare un circuito e poi un altro, completamente differente, sulla stessa superficie.

I fori di una breadboard non sono semplici fori nella plastica: sotto di essi si trovano delle connessioni in rame, in modo che i componenti di due o più fori di una determinata riga siano connessi fra di loro sotto la superficie della breadboard. Basta connettere i *componenti discreti* (resistenze, condensatori, diodi e transistor) e i *circuiti integrati* nel modo corretto e *voilà*, avete realizzato un circuito senza nemmeno una saldatura. Quando sarete stanchi del circuito, vi basterà estrarre i componenti e realizzare qualcos'altro, utilizzando sempre la stessa breadboard.

La [Figura 9.5](#) mostra una piccola breadboard utilizzata per realizzare un semplicissimo circuito alimentato a batterie. La breadboard rappresentata nella figura ha delle sezioni di righe e colonne connesse in modo ben preciso

sotto la superficie. Parleremo di queste connessioni sotto i fori nel [Capitolo 11](#), dove vedremo anche come realizzare circuiti utilizzando le breadboard. Per il momento, sappiate solo che sono disponibili breadboard di varie dimensioni e con un numero variabile di contatti.

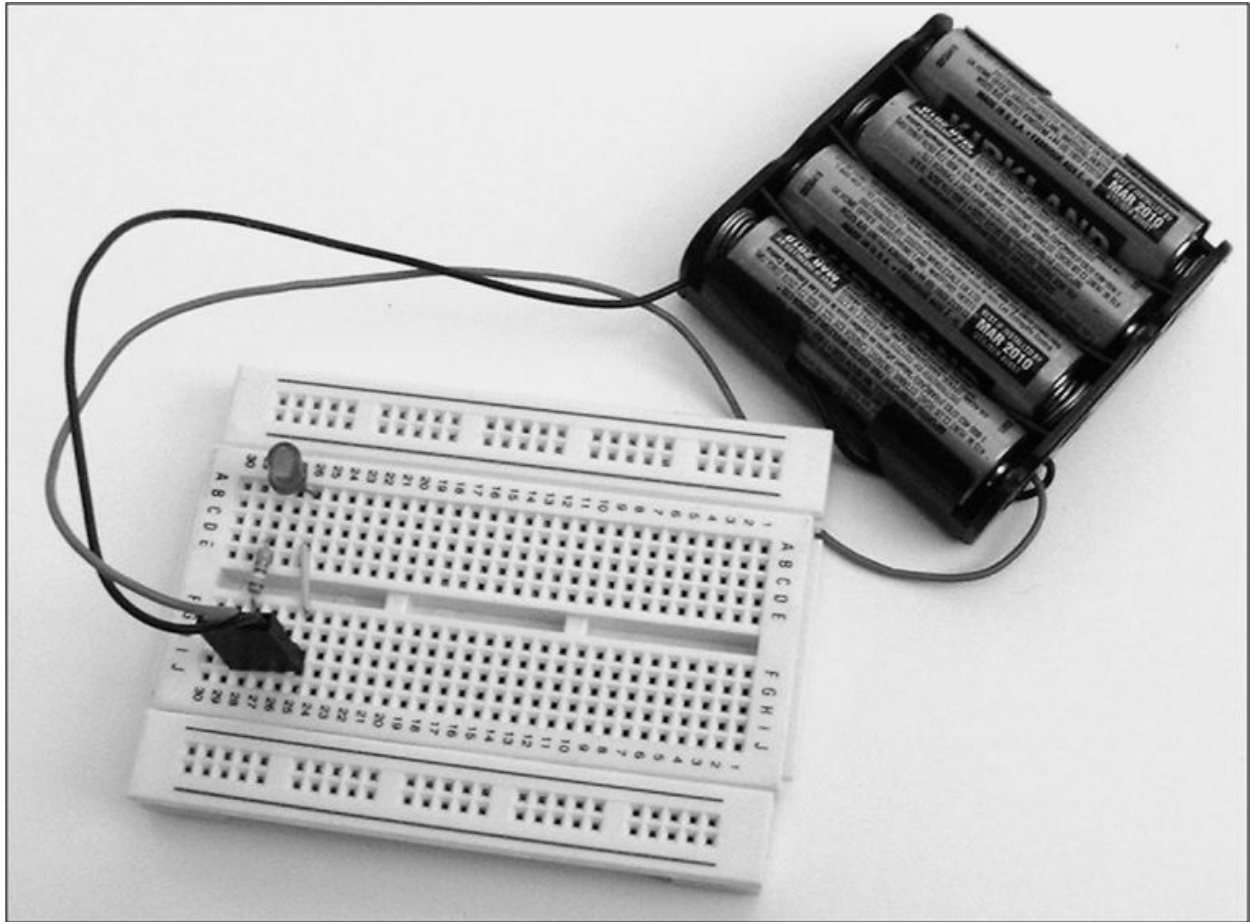


Figura 9.5 Potete approntare al volo un circuito su una breadboard senza eseguire saldature.

Una breadboard piccola può offrire 400 contatti ed è utile per realizzare piccoli circuiti che impiegano al più un paio di circuiti integrati e una manciata di componenti discreti. Una breadboard di maggiori dimensioni offre 830 contatti e permette di realizzare circuiti più complessi. Potete anche collegare fra loro più breadboard, connettendo semplicemente uno o più cavi fra una scheda e l'altra.



Vi consigliamo di acquistare almeno due breadboard, una delle quali grande (830 contatti). Inoltre acquistate delle strisce adesive con velcro per mantenere la breadboard in posizione sulla superficie di lavoro.

Normalmente si utilizzano le breadboard per collaudare i circuiti o per esplorare nuove idee quando si impara a far funzionare le cose (come nei circuiti introduttivi che presenteremo nel [Capitolo 14](#)). Se avete creato e collaudato un circuito su una breadboard e volete utilizzarlo in modo più stabile, potete ricrearlo su una basetta millefori, una scheda stampata simile a una breadboard, che, invece dei fori per i contatti, è dotata di normali fori circondati da *piazzole* di materiale conduttivo. Eseguite le connessioni saldando i componenti al circuito, facendo attenzione che i componenti siano connessi fra loro. In questo libro ci concentreremo esclusivamente sulla realizzazione di circuiti su breadboard, senza eseguire saldature.

Uno “starter kit” per la realizzazione di circuiti

Avrete bisogno di un certo assortimento di componenti elettronici discreti (a due o tre piedini), un po' di circuiti integrati, alcune batterie e un po' di cavetti per connettere il tutto. Alcuni componenti, come le resistenze e i condensatori, vengono forniti in confezioni da dieci o più pezzi. Sarete felici di sapere che tutti questi singoli componenti sono davvero molto economici ma, sommando il tutto, la spesa potrebbe essere tutt'altro che indifferente.



Se avete bisogno di rinfrescare la memoria su questi componenti e sul loro funzionamento, date una ripassatina ai primi capitoli di questo libro. Le resistenze e i potenziometri sono stati trattati nel [Capitolo 3](#); i condensatori nel [Capitolo 4](#); i diodi (compresi i LED) e i transistor nel [Capitolo 6](#). I circuiti

integrati sono descritti nel [Capitolo 7](#), mentre le batterie e i cavi nel [Capitolo 8](#).

Ecco alcuni componenti discreti con cui partire.

- ✓ **Resistenze fisse (in carbone da 0,25 o 0,5 W):** 10–20 (una o due confezioni) delle seguenti resistenze: 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω , 1 M Ω , 2,2 k Ω , 22 k Ω , 220 k Ω , 33 k Ω , 470 Ω , 4,7 k Ω , 47 k Ω e 470 k Ω .
- ✓ **Potenzimetri:** tre coppie, da 10 k Ω , 100 k Ω e 1 M Ω .
- ✓ **Condensatori:** dieci (una confezione) non-polarizzati (in poliestere o disco ceramico) da 0,01 μ F a 0,1 μ F; dieci (una confezione) elettrolitici da 1 μ F, 10 μ F e 100 μ F; da tre a cinque elettrolitici da 220 μ F e 470 μ F.
- ✓ **Diodi:** un diodo rettificatore 1N4001 (o comunque 1N400x), un diodo per piccoli segnali 1N4148, un diodo Zener da 4,3 V (o un altro diodo Zener con tensione compresa fra 3 e 7 V).
- ✓ **LED:** dieci per tipo (una confezione) di LED rossi, gialli e verdi da 5 mm, luce diffusa.
- ✓ **Transistor:** da tre a cinque transistor bipolari di tipo generale a bassa potenza (come il 2N3904 NPN o il 2N3906 PNP) e da tre a cinque transistor bipolari a media potenza (come il NTE 123A NPN o il NTE159M PNP). Useremo il 2N3906 in un progetto del [Capitolo 15](#).

Vi suggeriamo anche alcuni dei circuiti integrati più utilizzati.

- ✓ **Timer 555:** prendetene da tre a cinque. Li userete, fidatevi!
- ✓ **Op-amp:** prendete un paio di amplificatori operazionali, come l'LM741.
- ✓ **Contatore decimale CMOS 4017:** ve ne basterà uno (lo useremo in un progetto nel [Capitolo 15](#)). Prendetene un secondo se volete realizzare un contatore decimale, come descritto nel [Capitolo 7](#) o se doveste accidentalmente bruciarlo con una scarica elettrostatica.

Non dimenticate poi il necessario per l'alimentazione e per i collegamenti.

- ✓ **Batterie:** un assortimento di batterie da 9 V e anche alcune batterie da 1,5 V (le dimensioni dipendono dal tempo in cui dovrà funzionare il circuito).
- ✓ **Portabatterie e connettori:** questi elementi connettono le batterie e forniscono i contatti per la connessione dell'alimentazione al circuito. Procuratevi da tre a cinque clip per le batterie delle dimensioni che prevedete di utilizzare.
- ✓ **Cavetti:** un'ampia dotazione di cavetti sottili. Potete acquistare anche lunghe matasse di vari colori per pochi euro e potrete così tagliarne di varia misura, spelare l'isolante alle estremità e prepararli per connettere i componenti. Potete saldare le estremità sulle schede o inserirle in una breadboard. Alcuni fornitori di componenti elettronici vendono dei kit contenenti decine di *cavetti (jumper)* già pronti all'uso di varie lunghezze e colori, ideali per le breadboard. Un kit da 100-300 cavetti costerà una decina di euro e vi eviterà di dover tagliare e spellare tutti i fili a mano (e in più li avrete di tutti i colori).



Potete utilizzare un cavetto anche come una sorta di interruttore per il circuito, per dare o togliere alimentazione ai componenti. Collocate semplicemente un'estremità del cavetto nella posizione corretta della breadboard e poi connettete o togliete l'altra estremità in modo da chiudere o aprire il contatto.

Gli ultimi elementi, per concludere

Vi sono molte altre parti e componenti che possono arricchire i circuiti. Ne consigliamo alcuni.

- ✓ **Coccodrilli:** così chiamati perché il morsetto assomiglia alle fauci di un piccolo coccodrillo. Queste pinzette isolate aiutano a connettere gli elementi di test ai terminali dei componenti. Procuratene all'incirca una decina.
- ✓ **Altoparlante:** molto probabilmente il vostro circuito dovrà emettere qualche suono, acquistatene uno o due in miniatura da 8 ohm.
- ✓ **Interruttori:** se pensate di poter racchiudere uno o più progetti in una scatola e volete porre un controllo On/Off sul pannello frontale, procuratevi un paio di interruttori SPST (un polo, un contatto), al prezzo di circa un euro. Per qualcosa di più potrete acquistare anche un interruttore dotato di LED che si accende nella posizione On.

Organizzazione di tutti i componenti

Tenere organizzate queste parti e questi componenti è fondamentale, a meno che siate quel tipo di persone che ama frugare nei cassettini alla ricerca di quel piccolo, fondamentale, componente di cui avete assolutamente bisogno. Un modo facile per tenere tutto insieme può essere andare in un qualsiasi magazzino e acquistare uno o più set di cassettini in materiale plastico. Potrete anche applicare delle etichette dove indicherete i componenti (o gruppi di componenti, per esempio i LED, le resistenze da 10 a 99 Ohm e così via). Così saprete subito dove trovare ciò di cui avete bisogno e vedrete al volo anche cosa vi manca.

Proteggere voi e i componenti elettronici

Probabilmente sapete già che Benjamin Franklin “scoprì” l'elettricità nel 1752 facendo volare un aquilone durante un temporale. In realtà, Franklin conosceva già l'elettricità ed era ben consapevole delle sue potenzialità (anche pericolose). Quando Franklin svolse il suo esperimento, fece molta attenzione a isolarsi rispetto ai materiali conduttivi dell'aquilone (la chiave e il filo metallico) e a rimanere asciutto riparandosi in un fienile. Se non l'avesse fatto, nessuno di noi avrebbe mai sentito parlare di lui.

Quando si lavora su un progetto elettronico, è importante rispettare il potere dell'elettricità. In questa parte del capitolo vedremo come mantenere al sicuro noi stessi e anche i nostri progetti elettronici. Questa è una parte del capitolo che è assolutamente importante leggere da cima a fondo, anche se avete già qualche infarinatura di elettronica.

Nella lettura di questa parte del capitolo, ricordatevi che la corrente elettrica esiste in due diverse forme.

- ✓ **Corrente continua (DC – Direct Current):** gli elettroni scorrono in una sola direzione attraverso un cavo o un circuito.
- ✓ **Corrente alternata (AC – Alternating Current):** gli elettroni scorrono in un senso e poi nel senso opposto, alternando le direzioni.

Per informazioni su questi due tipi di corrente elettrica, consultate il [Capitolo 2](#).

Perché l'elettricità può fare davvero male

L'aspetto in assoluto più pericoloso quando si impiegano componenti elettronici è la possibilità di una folgorazione. Si ha una folgorazione quando il corpo reagisce a una corrente elettrica. Questa reazione può comprendere un'intensa contrazione dei muscoli (e anche il cuore è un muscolo) e lo svilupparsi di temperature estremamente elevate nel punto di contatto fra la pelle e la corrente elettrica. Il calore può produrre bruciature che possono indurre perfino la morte. Anche una corrente piuttosto piccola può essere nociva per il cuore.

L'intensità di una scossa elettrica che possa nuocere davvero dipende da molti fattori, compresa l'età, lo stato di salute generale, la tensione e la corrente. Se avete passato da qualche tempo i cinquant'anni e il vostro stato di salute non è dei migliori, probabilmente non supporterete una scossa altrettanto bene di un quattordicenne con il fisico di un atleta olimpico. Ma per quanto siate giovani e in salute, la tensione e la corrente possono fare brutti scherzi e dunque è importante comprendere quanto possano fare del

male.



I due percorsi elettrici più pericolosi che attraversano il corpo umano sono quelli che vanno da una mano all'altra e dalla mano sinistra a un piede. Se la corrente passa da una mano all'altra, passerà anche attraverso il cuore. Se la corrente passa dalla mano sinistra a un piede, dovrà attraversare il cuore e molti altri organi importanti.

Siamo come una grande resistenza

Il nostro corpo oppone una certa resistenza al passaggio della corrente elettrica, in particolare per il fatto che la nostra pelle, asciutta, ha cattive qualità conduttive. La resistenza opposta può variare enormemente, a seconda della chimica del corpo, del livello di umidità dell'aria, del percorso totale attraverso il quale viene misurata tale resistenza e di vari altri fattori. In media, questo significa che un corpo umano può avere una resistenza che va dai 50.000 a 1.000.000 ohm (abbiamo parlato della resistenza e del modo in cui si misura nel [Capitolo 3](#)).

Se la pelle è umida (magari perché avete le mani sudate), se indossate un anello metallico o se avete i piedi nell'acqua, di sicuro riducete la vostra resistenza. Le misurazioni industriali indicano che queste condizioni possono ridurre la resistenza anche a soli 100/300 ohm da una mano all'altra o da una mano al piede. Non è una grande resistenza!

A peggiorare le cose, se state maneggiando alte tensioni in corrente alternata (una cosa che non dovrete mai fare), la resistenza opposta dalla pelle (anche asciutta) non aiuterà affatto. Se siete in contatto con un metallo, il corpo e il metallo si trasformeranno in un condensatore. Il tessuto sottocutaneo sarà come una "piastra" del condensatore e il metallo l'altra piastra, dove la vostra pelle formerà il dielettrico (per informazioni sui condensatori, consultate il [Capitolo 4](#)). Se il cavo trasporta corrente alternata, il "condensatore" rappresentato dal vostro corpo si comporterà come se fosse in corto circuito,

e consentirà il passaggio della corrente aggirando completamente la resistenza della pelle. Una scossa a tensioni superiori a 240 volt provocherà bruciature sulla pelle e lesioni di terzo grado nei punti d'ingresso della corrente.

Quanto può far male la corrente

Avrete sicuramente visto in giro i cartelli “ATTENZIONE! ALTA TENSIONE!” e dunque sapete che la tensione può ferire, ma in realtà è la corrente che infligge i danni. Perché allora si parla di alta *tensione*? È perché più alta è la tensione, più corrente riesce a scorrere dato un certo livello di resistenza. E poiché il vostro corpo è una grossa resistenza, deve stare lontano dalle alte tensioni.

Ma quanta corrente è necessaria per provocare danni a un essere umano “medio”? Non molta. La [Tabella 9.1](#) riepiloga alcune stime di quanta (poca) corrente continua o corrente alternata a 50 Hz è necessaria per ferire. Ricordatevi che un milliampere (mA) è un millesimo di ampere (0,001 A). Tenete anche conto del fatto che queste sono solo “stime”: nessuno ha mai svolto esperimenti su degli esseri umani per calcolare questi valori. Inoltre ogni persona può essere influenzata dalla corrente in modo differente a seconda della sua età, della chimica interna del corpo, dello stato di salute e di molti altri fattori.



Come illustra la [Tabella 9.1](#), il corpo umano “medio” è da quattro a sei volte più sensibile alla corrente alternata rispetto alla corrente continua. Mentre 15 mA di corrente continua non sono affatto pericolosi, 15 mA di corrente alternata possono provocare la morte.

Tabella 9.1		Effetti della corrente sul corpo umano	
<i>Effetto</i>		<i>Corrente continua</i>	<i>Corrente alternata a 50 Hz</i>

Sensazione di leggera scossa	0,6–1,0 mA	0,3–0,4 mA
Sensazione decisa di scossa	3,5–5,2 mA	0,7–1,1 mA
Dolore, controllo dei muscoli	41–62 mA	6–9 mA
Dolore, incapacità di lasciare i fili	51–76 mA	10–16 mA
Difficoltà respiratorie (paralisi dei muscoli del torace)	60–90 mA	15–23 mA
Fibrillazione cardiaca (entro 3 secondi)	500 mA	65–100 mA

Che cosa significa tutto questo in un contesto hobbistico? Probabilmente sapete già di dover stare alla larga dalle alte tensioni, ma cosa dire delle tensioni più basse che utilizzeremo? In realtà anche le basse tensioni possono essere pericolose; dipende dalla resistenza.

Ricordate che la Legge di Ohm ([Capitolo 3](#)) stabilisce che la tensione è uguale alla corrente moltiplicata per la resistenza:

$$V \text{ (tensione)} = I \text{ (corrente)} \times R \text{ (resistenza)}$$

Supponiamo che le vostre mani siano asciutte, che non indossiate un anello in metallo, che non abbiate i piedi in una pozza d’acqua e che quindi la vostra resistenza da una mano all’altra sia di circa 50.000 Ohm (tenete in considerazione, però, che la vostra resistenza, anche se avete le mani asciutte e non avete anelli, può essere molto inferiore). Potete calcolare una stima (è il caso di ripeterlo, *una stima*) dei livelli di tensione che potrebbero nuocervi moltiplicando la vostra resistenza per i vari livelli di corrente elencati nella [Tabella 9.1](#). Per esempio, se non volete sentire neppure una minima sensazione di scossa fra le dita, dovrete evitare di entrare in contatto con cavi che trasportano corrente continua da 30 V (ovvero $0,6 \text{ mA} \times 50.000 \Omega$). Per evitare contrazioni involontarie dei muscoli (impugnando i cavi) dovrete tenere la corrente alternata sotto i 10 mA ed evitare la prossimità con correnti da 500 V o più in corrente alternata.

Ora, se non siete sufficientemente attenti e indossate un anello mentre armeggiate con i componenti elettronici o se avete camminato in una piccola “pozza” prodotta da un cane o da un bambino, potreste accidentalmente

ridurre la resistenza del vostro corpo fino a livelli pericolosi. Se la vostra resistenza è di 5.000 ohm (ma potrebbe essere anche inferiore), noterete una sensazione di scossa anche maneggiando solo 17,5 V in corrente continua (perché $5.000 \Omega \times 0,0035 \text{ A} = 17,5 \text{ V}$) e perderete il controllo dei muscoli o avrete difficoltà respiratorie maneggiando 120 V in corrente alternata (perché $\frac{120 \text{ V}}{5.000 \Omega} = 0,024 \text{ A} = 24 \text{ mA}$).



L'alimentazione domestica, nel nostro Paese, è a 220 V corrente alternata. Si tratta decisamente di alta tensione che, come abbiamo imparato da bambini, *uccide*. Dovete applicare *estrema cautela* quando vi trovate a utilizzare la corrente di rete.



Finché non sarete davvero esperti nell'uso dell'elettronica, dovrete evitare assolutamente i circuiti che operano connessi alla presa di corrente di casa. Limitatevi ai circuiti alimentati da batterie standard o da piccoli trasformatori (si parla di queste fonti di alimentazione in corrente continua nel [Capitolo 8](#)). A meno di fare qualcosa di veramente sciocco, come mettere in bocca una batteria da 9 V (certo, che si prende una scossa!), potete ritenevi abbastanza al sicuro maneggiando queste tensioni e correnti.

Il principale pericolo della corrente domestica è l'effetto che può avere sul muscolo cardiaco. Bastano solo 65-100 mA per mandare il cuore in fibrillazione: il muscolo cardiaco inizierà a contrarsi in modo sordo e incontrollato, smettendo di pompare il sangue. A livelli molto inferiori (10-16 mA), la corrente alternata può provocare gravi contrazioni muscolari. Il problema è che, anche se tenevate un cavo di alta tensione in modo delicato, vi ritroverete a impugnarlo fortemente: non riuscirete più a mollarlo. Una presa più forte significa anche una resistenza inferiore, e ciò facilita ulteriormente l'attraversamento del corpo da parte degli elettroni; e una

resistenza inferiore significa una corrente più elevata (perfino fatale). Situazioni di questo tipo non sono per nulla remote. Il corpo si comporta come una resistenza variabile, dove la resistenza si riduce sempre più mentre le mani applicano involontariamente sempre più forza attorno al cavo.

Non bisogna ignorare neppure i potenziali pericoli della corrente continua. In genere, la corrente continua può provocare bruciature. La tensione non deve necessariamente provenire da una centrale elettrica per essere pericolosa. Bisogna rispettare anche un'umile batteria da 9 V: se mettete in corto i terminali, la batteria può surriscaldarsi e perfino esplodere. L'esplosione di una batteria fa volare piccoli frammenti metallici in tutte le direzioni, i quali possono provocare scottature e ferite agli occhi.

Lavorare con i circuiti in corrente alternata

Anche se sconsigliamo assolutamente di lavorare con circuiti alimentati direttamente dalla corrente alternata disponibile alla presa a domestica, comprendiamo che non sempre ciò è possibile. Ecco alcuni suggerimenti concepiti per aiutarvi a evitare fulminazioni se scegliete di lavorare comunque con la corrente alternata.

- ✓ Utilizzate un alimentatore ben protetto. Se il vostro progetto richiede una fonte di alimentazione in corrente alternata (che converte la corrente alternata in corrente continua a bassa tensione), è molto più sicuro utilizzare un alimentatore da parete, acquistato, piuttosto che gestire personalmente la corrente alternata. Potete utilizzare un alimentatore del tutto simile a quelli che impiegate normalmente per caricare il telefono cellulare.
- ✓ Mantenete la corrente alternata lontana dalla corrente continua. Separando fisicamente la corrente alternata dalla corrente continua nel circuito, non correrete il rischio di subire una scossa da fili vaganti.
- ✓ Mantenete coperti i circuiti alimentati in corrente alternata. Basta

anche un piccolo foglio di plastica per isolare adeguatamente i circuiti.

- ✓ Usate il fusibile appropriato. Non utilizzate un fusibile con valori troppo elevati e non aggirate mai il fusibile di un apparecchio.
- ✓ Controllate bene, due e, se necessario, tre volte il lavoro prima di dare tensione. Chiedete a qualcun altro, più esperto, di ispezionare il vostro lavoro prima di accendere il circuito per la prima volta. Se decidete di proseguire il test, per prima cosa togliete l'alimentazione disconnettendo la spina dalla presa di corrente da parete.
- ✓ Quando ispezionate un circuito alimentato, mantenete sempre una mano in tasca. Utilizzando una sola mano per manipolare l'apparecchio, eviterete le situazioni in cui una mano tocca la massa e l'altra mano tocca un circuito alimentato, il che consentirebbe alla corrente alternata di scegliere il passaggio più breve, attraverso il cuore.
- ✓ Fate attenzione quando scegliete il contenitore del progetto. Utilizzate un contenitore metallico solo se dotato di una buona messa a terra. Per questo, assicuratevi che la spina abbia tre poli. Fate attenzione a fissare per bene il cavo verde (che è sempre connesso a terra) all'involucro metallico. Se non potete garantire che il contenitore metallico sia messo a terra, utilizzate un contenitore plastico. La plastica isola contro eventuali fili vaganti e una scossa accidentale. Per i progetti che non sono messi a terra, utilizzate solo una fonte di alimentazione isolata, per esempio un trasformatore a parete.
- ✓ Fissate tutti i cablaggi all'interno del progetto. Utilizzate appositi separatori e boccole per fissare il cavo di alimentazione in corrente alternata al contenitore del progetto, in modo da non correre il rischio di esporsi alla corrente. Una boccola (disponibile presso i rivenditori di materiale di elettronica), blocca il cavo in modo isolato e impedisce che fuoriesca dal contenitore.

- ✓ Ispezionate periodicamente i circuiti in corrente alternata. Andate alla ricerca di cavi consumati, rotti o “lenti” e di componenti mal fissati ed eseguite immediatamente la riparazione. E sempre con l'alimentazione spenta!
- ✓ Semmai eccedete in cautele. Una delle leggi di Murphy dice che se qualcosa può andare storto, lo farà. Fate in modo che nell'ambiente di lavoro non vi siano liquidi, animali domestici e bambini. Applicate nelle vicinanze, un bel cartello “ATTENZIONE!”. Non lavorate se vi sentite stanchi o distratti da pensieri. Concentratevi unicamente sul lavoro, quando trattate l'elettricità.

Un'ultima parola. Se è proprio necessario lavorare con alte tensioni in corrente alternata, non fatelo mai da soli. Assicuratevi che sia presente un'altra persona (preferibilmente non nominata nel vostro testamento) che possa soccorrevi e chiamare il 118 qualora doveste cadere a terra privi di sensi. Non è una cosa da prendere alla leggera!

Aumentare la resistenza... e anche la sicurezza

Quando si lavora con l'elettronica, è importante aumentare il più possibile la resistenza, qualora si entrasse inavvertitamente in contatto con un filo esposto. Assicuratevi che tutti gli strumenti che impiegate siano isolati, in modo da aggiungere maggiore resistenza fra voi e le tensioni che potreste incontrare.

Prendete la semplice precauzione di garantire che l'area di lavoro sia asciutta e rimanga tale. Per esempio, non ponete mai un bicchiere d'acqua o una tazza di caffè troppo vicino all'area di lavoro; se accidentalmente doveste urtarla, potreste improvvisamente ridurre la vostra resistenza o mandare in corto circuito i componenti.

Tenete a portata di mano una tabella di pronto soccorso

Anche se siete la persona più sicura della terra, è sempre una buona idea

tenere a portata di mano le indicazioni di pronto soccorso, che spiegano cosa fare in caso di fulminazione. Potete trovare queste indicazioni su Internet. Eseguite una ricerca delle parole “soccorso urgenza”. Trovate queste indicazioni anche nei cataloghi di forniture per le scuole e industriali.



Il soccorso a chi ha subito una fulminazione può richiedere una rianimazione cardiopolmonare. Assicuratevi di essere in grado di praticarla, prima di eseguire la manovra su qualcuno. Trovate ogni tipo di informazione eseguendo una ricerca di “rianimazione cardiopolmonare”.

Saldare con sicurezza

Lo stagno utilizzato per saldare i componenti di un progetto elettronico fonde a temperature poco inferiori a 400 °C (parleremo della saldatura nel [Capitolo 11](#)). Praticamente la stessa temperatura di un forno domestico operante a pieno regime. Potete immaginare che toccare la punta del saldatore non faccia tanto bene.

Quando utilizzate il saldatore, tenete in considerazione le seguenti precauzioni.

- ✓ **Saldate sempre in una zona ben ventilata.** La saldatura produce fumi leggermente caustici e tossici, che irritano gli occhi e la gola.
- ✓ **Mentre saldate, indossate gli occhiali protettivi.** A volte capita che lo stagno schizzi via.
- ✓ **Posizionate sempre il saldatore nell'apposito supporto.** Non poggiate mai il saldatore direttamente sul piano di lavoro. È facile che il piano prenda fuoco o che possiate scottarvi inavvertitamente.
- ✓ **Fate attenzione che il cavo elettrico del saldatore non si impigli sul tavolo o su altri oggetti.** Il saldatore potrebbe uscire dal suo supporto e cadere per terra o, peggio, cadervi addosso.

- ✓ **Usate l'impostazione corretta del saldatore.** Se il saldatore offre il controllo della temperatura, impostatela in modo adatto allo stagno che state usando. Troppo calore può bruciare anche il miglior circuito.
- ✓ **Non eseguite mai saldature su un *circuito alimentato*, un circuito cui sia stata applicata tensione.** Correte il rischio di danneggiare il circuito o il saldatore stesso e potreste anche ricevere una brutta scossa.
- ✓ **Non tentate mai di afferrare il saldatore se vi cade di mano.** Lasciatelo cadere e, semmai, acquistatene uno nuovo se la punta dovesse danneggiarsi.
- ✓ **Considerate l'uso di stagno all'argento.** Se temete per la vostra salute o se siete soliti mettere le dita in bocca o sfregarvi gli occhi, dovrete evitare di saldare con leghe di stagno e piombo. Utilizzate invece leghe di stagno e argento, realizzate appositamente per i circuiti elettronici. Non usate mai per l'elettronica stagno a flussante acido, in quanto interrompe i circuiti.
- ✓ **Al termine del lavoro, disconnettete dalla presa di corrente il saldatore.**

Occhio alle scariche di corrente statica

L'elettricità statica è un tipo di elettricità che può essere pericolosa sia per le persone sia per i componenti elettronici. È chiamata *statica* perché è una forma di corrente che rimane "intrappolata" in un corpo isolato dopo che gli è stata tolta la fonte di alimentazione. L'elettricità statica rimane presente finché non si dissipa in qualche modo. La maggior parte dell'elettricità statica si dissipa lentamente nel corso del tempo, ma in alcuni casi si scarica tutta in un colpo. La "scossa" è una delle forme più comuni di scarica dell'elettricità statica.

Se trascinate i piedi su un pavimento ricoperto di moquette, il vostro corpo accumulerà una carica statica. Se poi toccate un oggetto metallico, come la

maniglia di una porta o un termosifone, l'elettricità statica si scaricherà istantaneamente e sentirete una scossa. Si tratta di una *scarica elettrostatica* che può avere una tensione elevatissima, fino a 50.000 V. La corrente prodotta, però, è modesta (dell'ordine dei μA) a causa dell'elevata resistenza dell'aria che carica l'arco che lascia la punta delle dita; anche la durata è molto breve. Pertanto, le scosse che proviamo sulle maniglie in genere non fanno troppo male, ma possono distruggere con facilità i componenti elettronici più delicati.

Al contrario, le scariche statiche prodotte da alcuni componenti elettronici possono essere dolorose. Il *condensatore*, un componente elettronico che conserva l'energia in campo elettrico, è progettato proprio per conservare una carica statica. La maggior parte dei condensatori per circuiti elettronici conserva una carica estremamente piccola per periodi temporali limitati, ma alcuni condensatori, come quelli utilizzati in certi grossi alimentatori, possono conservare dosi quasi letali di elettricità per parecchi minuti e perfino per ore.



Fate attenzione quando lavorate con condensatori che possono contenere una grande quantità di carica, per evitare di subire dolorose scosse, del tutto inaspettate.

Fate attenzione alla scarica statica

La carica statica prodotta trascinando i piedi su un tappeto o pettinandosi in una giornata secca può raggiungere parecchie migliaia di volt. Anche se probabilmente sentirete solo una fastidiosa scossa (e a volte vi troverete con i capelli “dritti”), i vostri componenti elettronici potrebbero non essere altrettanto fortunati. I transistor e i circuiti integrati realizzati in tecnologia MOS (Metal Oxide Semiconductor) sono particolarmente sensibili alle cariche elettrostatiche, indipendentemente dalla quantità di corrente.

Un dispositivo MOS contiene un sottile strato di vetro isolante che può con

facilità essere spazzato via da una scarica da 50 V o anche meno. Se voi, i vostri abiti e i vostri attrezzi non sono ben scarichi, quel transistor a effetto di campo MOSFET (MOS Field Effect Transistor) o CMOS (Complementary MOS) o quel circuito integrato che prevedevate di utilizzare non sarà più nient'altro che un piccolo soprammobile. Poiché i transistor bipolari sono realizzati in modo differente, sono anche meno sensibili ai danni da scariche elettrostatiche. Altri componenti, come le resistenze, i condensatori, gli induttori, i trasformatori e i diodi, non sembrano temere troppo le scariche elettrostatiche.

Vi consigliamo comunque di abituarvi a maneggiare i componenti sempre in situazioni di sicurezza antistatica.

Ridurre l'elettricità statica

La maggior parte dei progetti elettronici che vi troverete a realizzare contiene componenti sensibili ai danni da scariche elettrostatiche. Potete adottare i seguenti passi per evitare di esporre i progetti ai pericoli di una scarica.

- ✓ **Utilizzate un bracciale antistatico.** Un bracciale antistatico ([Figura 9.6](#)) si fissa al polso ed evita l'accumulo di cariche elettrostatiche. È uno dei mezzi più efficaci per eliminare le cariche statiche e costa davvero un'inezia. Per utilizzarlo, sollevate le maniche, togliete tutti gli anelli, gli orologi, i bracciali e gli altri particolari in metallo che indossate e avvolgetelo intorno al polso. Poi fissate la clip del braccialetto a una buona connessione di terra, che può anche essere la superficie (non verniciata) del contenitore metallico del computer (il quale, naturalmente, deve essere connesso alla corrente) o semplicemente il connettore di terra di una presa di corrente correttamente installata. Fate attenzione a leggere le istruzioni riportate nel manuale del bracciale.
- ✓ **Indossate abiti antistatici.** Quando possibile, indossate fibre naturali, come cotone o lana. Evitate gli abiti in sintetico e i maglioni in "pile" che hanno la tendenza a sviluppare una grande quantità di cariche statiche.

- ✓ **Utilizzate un tappetino antistatico.** Disponibile in modelli da tavolo e da pavimento, un tappetino antistatico somiglia a una spugna, che però è conduttiva. È in grado di ridurre o eliminare l'accumulo di elettricità statica sul tavolo e nel corpo.



Figura 9.6 Un bracciale antistatico riduce o elimina il rischio di scariche elettrostatiche.



Normalmente, basta indossare abiti in cotone e utilizzare un bracciale antistatico per evitare ogni danno da scarica elettrostatica.

Scaricare a terra gli attrezzi

Gli strumenti utilizzati per la realizzazione di progetti elettronici possono

sviluppare anche notevoli cariche elettrostatiche. Se il saldatore è alimentato in corrente alternata, connettetelo a terra per proteggere i componenti dalle scariche elettrostatiche. Avrete un doppio vantaggio: un saldatore connesso a terra non solo eviterà di danneggiare i componenti, ma ridurrà anche le probabilità di ricevere una scossa qualora doveste toccare accidentalmente un cavo sotto tensione.



I saldatori più economici usano due soli connettori, senza connessione a terra. Alcuni saldatori che hanno spine a tre connettori sono comunque a rischio di cariche elettrostatiche, poiché la punta non è connessa a terra, anche se il corpo lo è. Poiché non potete essere davvero sicuri che il saldatore sia stato connesso correttamente a terra, la cosa migliore consiste nell'investire qualcosina in più nell'acquisto di un saldatore sicuramente con contatto di terra.

Se vi siete connessi a terra utilizzando un bracciale antistatico, generalmente non avrete bisogno di mettere a terra anche gli attrezzi metallici, come i cacciavite e il tranciafili. Grazie al bracciale antistatico, ogni carica statica generata da questi strumenti si dissiperà attraverso il vostro corpo.

Checklist sulla sicurezza

Dopo aver letto tutti gli avvertimenti relativi alla sicurezza presentati in questo capitolo, è il caso di ripassare questa semplice checklist delle indicazioni di sicurezza *minime* prima di iniziare a lavorare a un progetto elettronico. Ancora meglio, potete fare una copia di questa checklist, plastificarla e applicarla sul luogo di lavoro, per ricordarvi i semplici passi necessari per garantire la vostra sicurezza (e anche il benessere dei vostri progetti elettronici).

Controlli dello spazio di lavoro

- ✓ Buona ventilazione.
- ✓ Superficie di lavoro asciutta e pavimento asciutto.
- ✓ Niente liquidi, animali domestici o bambini nel raggio di tre metri.
- ✓ Riporre al chiuso tutti gli attrezzi e i materiali pericolosi.
- ✓ Scheda di pronto soccorso a portata di mano.
- ✓ Telefono (e un conoscente) nelle vicinanze.
- ✓ Saldatore con messa a terra e base solida.

Controlli personali

- ✓ Occhiali di sicurezza.
 - ✓ Bracciale antistatico (correttamente connesso a terra).
 - ✓ Niente anelli, orologi da polso, bracciali o collanine.
 - ✓ Abiti in cotone o lana.
 - ✓ Mani asciutte (o guanti).
 - ✓ Lavorare in modo attento e mai quando si è stanchi.
-

Capitolo 10

Leggere gli schemi elettrici

In questo capitolo

- L'importanza degli schemi elettrici.
 - Imparare a riconoscere i simboli più comuni.
 - Rispettare la polarità dei componenti.
 - I componenti specializzati.
 - Schemi da ogni capo del mondo.
-

Immaginate di dover guidare in campagna senza avere a disposizione una mappa. Molto probabilmente vi perderete lungo il percorso e, magari, finirete perfino per procedere in cerchio. Le mappe hanno proprio lo scopo di aiutarvi a trovare la strada. Potete utilizzare delle “mappe” anche per realizzare circuiti elettronici. Si chiamano *schemi elettrici* e mostrano tutti i componenti e il modo in cui devono essere connessi a formare il circuito. Gli schemi elettrici impiegano simboli che rappresentano i componenti elettronici e linee che rappresentano le connessioni fra i componenti.

Anche se non tutti i circuiti elettronici che incontrerete saranno descritti sotto forma di schemi elettrici, molti lo saranno. Se avete intenzione di lavorare seriamente nell'ambito dell'elettronica, presto o tardi avrete bisogno di imparare a leggere uno schema elettrico. Fortunatamente il linguaggio impiegato per disegnare gli schemi elettrici è tutt'altro che ostico. La maggior parte degli schemi usa solo una manciata di simboli per i componenti, come le resistenze, i condensatori e i transistor.

Questo capitolo presenta tutto ciò che è necessario sapere per imparare a interpretare gli schemi elettrici che vi capiterà di incontrare.

Che cos'è uno schema elettrico? Perché occuparsene?

Uno *schema elettrico* è un diagramma che mostra tutti i *componenti* di un circuito, comprese le fonti di alimentazione, e le relative *connessioni*. Nell'interpretazione di uno schema elettrico, la cosa più importante è concentrarsi sulle connessioni, poiché la collocazione dei componenti in uno schema elettrico non corrisponde quasi mai alla disposizione fisica dei componenti sul circuito fisico. In effetti, per i circuiti complessi, è altamente improbabile che la disposizione dei componenti sul circuito fisico rifletta in qualche modo la loro posizione sullo schema elettrico. I circuiti più complessi spesso richiedono più *schemi distinti*.



Gli schemi utilizzano specifici simboli per rappresentare le resistenze, i transistor e tutti gli altri componenti circuitali e linee per mostrare le connessioni fra i componenti. Leggendo i simboli e seguendo le interconnessioni, potete realizzare il circuito rappresentato dallo schema. Gli schemi aiutano anche a comprendere come funziona il circuito, il che può essere comodo quando occorre collaudarlo o ripararlo.

Imparare a leggere uno schema elettrico è un po' come imparare una lingua straniera. In generale, scoprirete che la maggior parte degli schemi segue convenzioni piuttosto standard. Tuttavia, così come molte lingue impiegano vari dialetti, anche il linguaggio degli schemi elettrici è tutt'altro che universale. I sistemi possono variare a seconda del tempo in cui sono stati sviluppati, del paese di origine, da chi li ha progettati e da molti altri fattori.



Questo libro utilizza convenzioni largamente diffuse, ma forniremo indicazioni anche relative a convenzioni differenti.

Lo schema in generale

In elettronica esiste una regola non scritta sul modo in cui orientare determinate parti di uno schema, specialmente nel tracciare schemi di circuiti complessi. Le batterie e altre fonti di alimentazione vengono quasi sempre orientate verticalmente, con il terminale positivo rivolto in alto. Negli schemi più complessi, le fonti di alimentazione vengono suddivise fra due simboli (come vedremo più avanti), ma il terminale positivo è normalmente rappresentato nella parte superiore dello schema (talvolta estendendosi lungo una *linea orizzontale*) e il terminale negativo compare nella parte inferiore, talvolta anch'esso lungo una linea orizzontale. Gli ingressi sono normalmente rappresentati a sinistra e le uscite a destra.



Molti sistemi elettronici (per esempio il ricevitore radio trattato nel [Capitolo 2](#)) sono rappresentati in schemi tramite vari stadi circuitali (anche se il sistema è in realtà costituito da un unico grosso circuito). Lo schema di tale sistema mostra i sottocircuiti di ciascuno stadio in una progressione che va da sinistra a destra (per esempio, il sottocircuito di sintonia a sinistra, il rilevatore al centro e l'amplificatore a destra), dove l'uscita del primo stadio rappresenta l'ingresso del secondo stadio e così via. Organizzando gli schemi in questo modo si possono rendere più comprensibili anche i circuiti più complessi.

È tutta una questione di connessioni

In tutti gli schemi, semplici o complessi che siano, i componenti sono

disposti nel modo più lineare possibile e le connessioni fra i circuiti sono tracciate sotto forma di linee, che curvano sempre a 90 gradi (niente curve strane o archi). È assolutamente fondamentale comprendere il significato di tutte le linee dello schema; e non sempre il significato è ovvio.

Più complesso è lo schema, più è probabile che alcune linee si incrocino (a causa della natura stessa di un disegno bidimensionale). È importante capire quando delle linee incrociate rappresentano una connessione e quando no. Idealmente, uno schema distinguerà chiaramente i fili che si connettono e quelli che non si connettono nel seguente modo.

- ✓ Un'interruzione o una specie di piccolo “ponte” in una delle due linee al punto dell'intersezione indica il fatto che i fili *non* devono essere connessi.
- ✓ Un grosso punto all'intersezione di due linee indica che i fili *devono* essere connessi.

Alcune varianti si possono trovare nella [Figura 10.1](#).



Questo metodo di rappresentare le connessioni non è universale e dunque si può scoprire quali linee sono connesse e quali no osservando in generale lo stile impiegato per lo schema. Se trovate l'intersezione di due linee senza un punto che conferma la connessione, in realtà non sapete se i fili devono essere connessi o no. È meglio consultare chi ha realizzato lo schema per determinare il modo in cui interpretare un incrocio fra due linee.



Per implementare fisicamente le connessioni rappresentate nello schema, in genere si usano cavetti isolati o sottili tracce di rame sul circuito stampato. La maggior parte degli schemi non distingue il modo in cui si connettono fra

loro i componenti; tale connessione dipende completamente dal modo in cui si decide di realizzare il circuito. La rappresentazione dello schema non fa altro che mostrare le connessioni che devono essere eseguite fra i componenti.

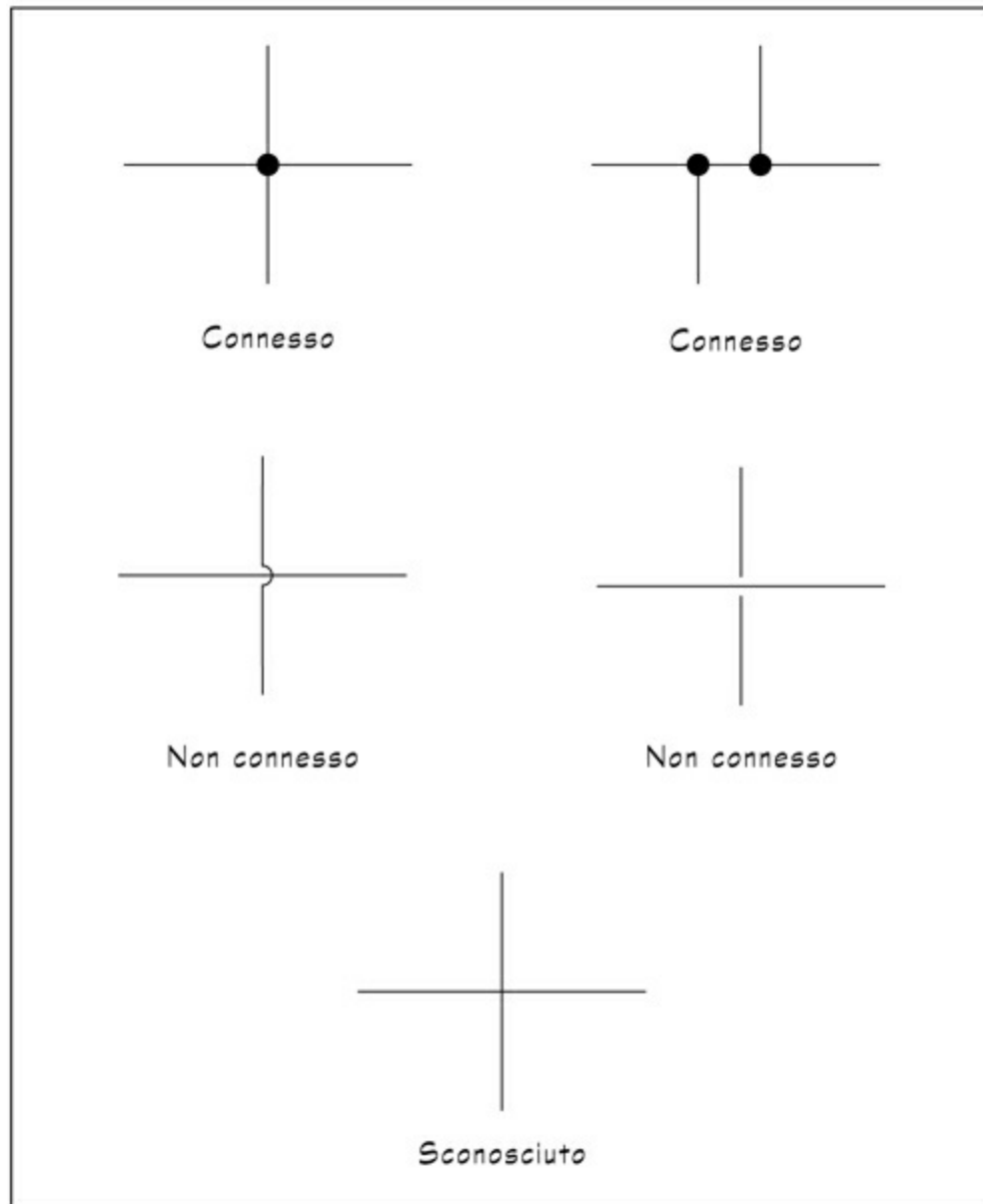


Figura 10.1 Potete incontrare numerose varianti per indicare le connessioni e non-connessioni fra linee.

Un semplice circuito a batterie

La [Figura 10.2](#) mostra un semplice circuito in corrente continua con una batteria da 1,5 V connessa a una resistenza R1. Il terminale positivo della batteria (+V) è connesso a un piedino della resistenza; il terminale negativo della batteria è connesso all'altro piedino della resistenza. Con queste connessioni, la corrente scorre dal terminale positivo della batteria, attraverso la resistenza, al terminale negativo della batteria.

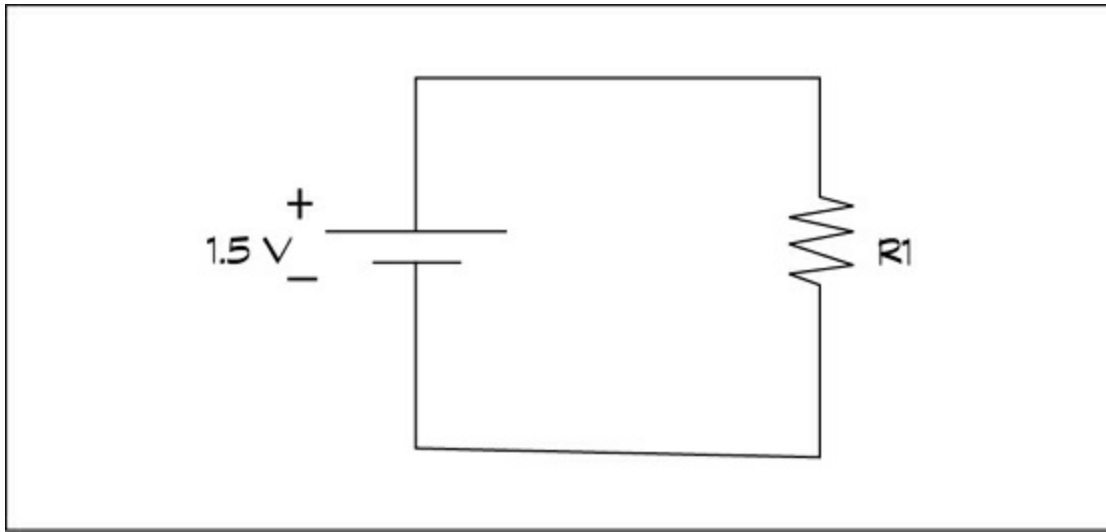


Figura 10.2 Un semplice schema mostra le connessioni fra una batteria e una resistenza.



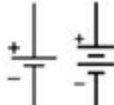
Negli schemi, si utilizza la *corrente convenzionale*, descritta come il flusso di cariche positive che viaggiano nella direzione opposta rispetto all'effettivo flusso degli elettroni. Per ulteriori informazioni sulla corrente convenzionale e il flusso degli elettroni, consultate il [Capitolo 2](#).

Riconoscere i simboli del potere

L'alimentazione di un circuito può provenire da una fonte in corrente alternata, come la presa di corrente da parete da 220 V o da una fonte in corrente continua, come una batteria a bassa tensione o un trasformatore a

parete. Le fonti in corrente continua possono essere positive o negative rispetto al riferimento di 0 V (chiamato *massa comune* o semplicemente *massa*) di un circuito. La [Tabella 10.1](#) mostra i simboli utilizzati per rappresentare l'alimentazione e le connessioni di terra/massa.

Determinare le varie connessioni in uno schema complesso può essere un'impresa. Questa parte del capitolo ha lo scopo di chiarire le cose. Nella lettura di questo paragrafo, fate riferimento ai simboli rappresentati nella [Tabella 10.1](#).

Tabella 10.1	Simboli di alimentazione e messa a terra
<i>Nome</i>	<i>Simbolo</i>
Batteria (pila)	
Cella solare (fotovoltaica)	
Fonte di alimentazione in corrente continua	
Fonte di alimentazione in corrente alternata	
Connessione a terra	
Connessione allo chassis	
Massa del segnale	

I simboli rappresentati nella [Tabella 10.1](#) verranno trattati più in dettaglio nei prossimi paragrafi.

Da dove viene l'alimentazione?

L'alimentazione in corrente continua può essere fornita in due modi.

✓ **Batteria o cella solare.** Ognuno dei simboli di batteria della [Tabella 10.1](#) rappresenta una sorgente in corrente continua con due connessioni. Tecnicamente, il simbolo della batteria che include due sole linee parallele (il primo simbolo nella riga “Batteria”) rappresenta *un’unica cella* elettrochimica; il simbolo con più coppie di linee (il secondo simbolo) rappresenta *una batteria* vera e propria (costituita da più celle).

In molti schemi viene utilizzato il simbolo della pila anche per rappresentare una batteria.



Ogni simbolo comprende un terminale positivo (indicato dalla linea orizzontale più lunga) e un terminale negativo. A lato del simbolo sono normalmente riportati i simboli di polarità (+ e -) e la tensione nominale. Il terminale negativo fornisce normalmente 0 V, a meno che sia chiaramente indicato che è differente dal riferimento 0 V (chiamato normalmente *massa comune*, come si vedrà più avanti nel capitolo). Quando la batteria è connessa a formare un circuito completo, la corrente convenzionale esce dal terminale positivo ed entra nel terminale negativo.

✓ **Simboli “divisi” di alimentazione in corrente continua e di terra.** Per semplificare gli schemi, una fonte di alimentazione in corrente continua è normalmente rappresentata utilizzando due simboli distinti: un piccolo cerchio all’estremità di una linea rappresenta il lato della fonte, con o senza l’indicazione della tensione; il simbolo della terra (linea verticale con tre linee orizzontali in fondo) rappresenta l’altra estremità dell’alimentazione, con un valore di 0 V. Nei circuiti più complessi, con più connessioni all’alimentazione, il terminale positivo dell’alimentazione è rappresentato da un collegamento con l’indicazione +V generalmente nella parte superiore dello schema. Questi simboli suddivisi che rappresentano le fonti di alimentazione vengono utilizzati per eliminare la grande

quantità di connessioni che, in uno schema non banale, possono generare una certa confusione.

Il circuito rappresentato nella [Figura 10.2](#) può essere tracciato utilizzando simboli distinti per l'alimentazione e la terra, come indicato nella [Figura 10.3](#). Notate che anche il circuito rappresentato nella [Figura 10.3](#) è, in realtà, un circuito completo.

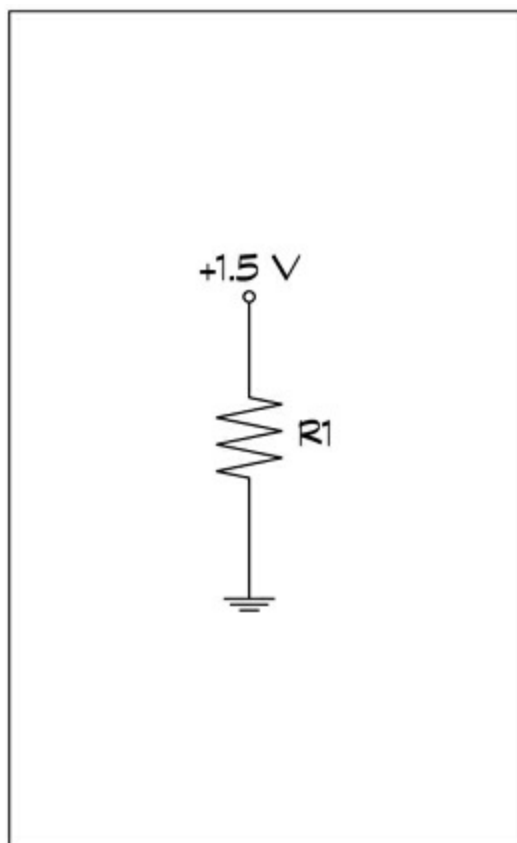


Figura 10.3 Questo circuito mostra una fonte di alimentazione in corrente continua nella parte superiore e il simbolo della massa nella parte inferiore. Insieme rappresentano la connessione a una batteria.



Molti circuiti in corrente continua utilizzano più fonti di alimentazione, come +5 V DC (volt in corrente continua), +12 V DC e perfino -5 V DC o -2 V DC

e dunque i simboli di tensione sono normalmente riportati insieme alla tensione utilizzata. Se in uno schema non si specifica una tensione, in genere (ma non sempre) si usano 5 V in corrente continua. Ricordate: a meno che non vi siano indicazioni differenti, la tensione in uno schema è quasi sempre in corrente continua e *non* corrente alternata.



Alcuni circuiti (per esempio alcuni circuiti per amplificatori operazionali, di cui abbiamo parlato nel [Capitolo 7](#)) richiedono fonti di alimentazione in corrente continua positiva e negativa. Spesso si può vedere che la fonte di alimentazione positiva è rappresentata da un cerchio con l'indicazione $+V$ e la fonte di alimentazione negativa è rappresentata da un cerchio con l'indicazione $-V$. Se le tensioni non vengono specificate, in genere si tratta di $+5\text{ V DC}$ e -5 V DC . La [Figura 10.4](#) mostra il modo in cui sono effettivamente implementati questi punti di connessione.

Una fonte di alimentazione in corrente alternata è normalmente rappresentata da un cerchio con due uscite, con o senza indicatori di forma d'onda e polarità.

- ✓ **Cerchio contenente una forma d'onda:** una linea ondulata o di altra forma all'interno di un cerchio aperto rappresenta un ciclo della tensione alternata prodotta dalla fonte di alimentazione. Normalmente, la fonte è sinusoidale, ma può essere un'onda quadra, un'onda triangolare o qualcosa di differente.

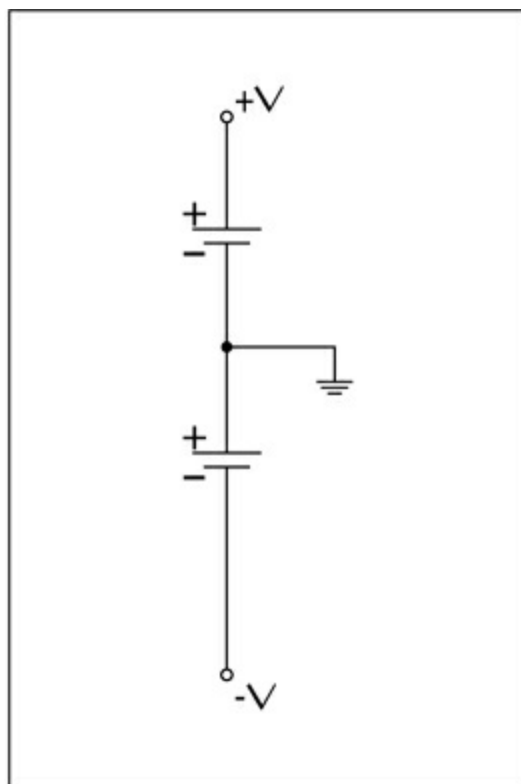


Figura 10.4 Alcuni circuiti richiedono una doppia alimentazione: con tensione positiva e negativa.

✓ **Cerchio con polarità:** alcuni schemi includono uno o due indicatori di polarità all'interno o all'esterno di un cerchio aperto. Questo è solo un riferimento, in modo da poter correlare il flusso della corrente alla direzione della tensione.

L'alimentazione di un circuito può provenire da una fonte in corrente alternata, come la presa di corrente da 220 V di casa (si parla di "alimentazione di linea"). In genere si utilizza una fonte di alimentazione interna per *ridurre* la tensione e convertirla in corrente continua. Questa alimentazione in corrente continua viene poi fornita ai componenti del circuito. Se state osservando lo schema di un player DVD o di qualche altro gadget che trae alimentazione dalla rete domestica, lo schema, probabilmente, mostrerà le linee di alimentazione in corrente alternata e in corrente continua.

Una questione di massa

Pronti per una chiacchierata sugli schemi elettronici? Quando si tratta di indicare le connessioni di massa degli schemi elettrici, è pratica comune utilizzare il simbolo di *messa a terra* (che è una vera connessione alla terra) per rappresentare la *massa comune* (il potenziale di riferimento 0 V) di un circuito. Si parla di questi due tipi di messa a terra nel [Capitolo 2](#). Il più delle volte, i punti di “terra” nei circuiti a bassa tensione non sono fisicamente connessi alla “Terra”, ma sono semplicemente legati l’uno all’altro; da qui il termine *massa comune* (o semplicemente *comune*). Ogni tensione indicata in specifici punti del circuito si presume che sia relativa a questa massa comune (ricordate che la tensione è in realtà una differenza di potenziale fra due punti in un circuito).

Dunque, quale simbolo dovrebbe *in effetti* essere utilizzato per i punti di messa a terra che non sono effettivamente connessi a Terra? È il simbolo di *massa dello chassis*. La massa comune è chiamata *massa dello chassis* poiché nei vecchi apparecchi, lo chassis in metallo del dispositivo (che si trattasse di un hi fi, una televisione o qualsiasi altra cosa) serviva da connessione alla massa comune. Utilizzare uno chassis in metallo per una connessione di massa è oggi meno comune, ma utilizziamo comunque questo termine.

Si può anche trovare il simbolo della *massa del segnale*, utilizzata per rappresentare un punto di riferimento da 0 V per i segnali (forme d’onda che trasportano informazioni, come trattato nel [Capitolo 2](#)) trasportati da due conduttori. Un conduttore è connesso a questo punto di riferimento e l’altro trasporta una tensione variabile, che rappresenta il segnale. Ancora una volta, in molti schemi, al suo posto viene utilizzato il simbolo di messa a terra.

In questo libro utilizziamo solo il simbolo della messa a terra poiché la maggior parte degli schemi, al giorno d’oggi, usa tale simbolo.



Come potete vedere nella [Figura 10.5](#), in uno schema la messa a terra può essere mostrata in vari modi.

- ✓ **Nessun simbolo di messa a terra.** Lo schema può mostrare due cavi di alimentazione connessi al circuito. In un circuito alimentato a batterie, la massa comune riporta al terminale negativo della batteria.
- ✓ **Un unico simbolo di messa a terra.** Lo schema mostra che tutte le connessioni di messa a terra sono connesse a un unico punto. Non sempre si mostra la fonte di alimentazione (per esempio la batteria), ma si può presumere che la messa a terra connessa al positivo o al negativo della fonte di alimentazione in corrente continua (come indicato nella [Figura 10.4](#)).
- ✓ **Più simboli di messa a terra.** Negli schemi più complessi, in genere è più facile disegnare il circuito specificando più punti di massa a terra. Nei circuiti effettivi, fisici, tutti questi punti di messa a terra sono connessi fra loro.

Un simbolo, un nome

Esistono letteralmente centinaia di simboli per componenti elettronici, perché esistono altrettanti tipi di componenti da rappresentare. Fortunatamente, con ogni probabilità, incontrerete solo una piccola quantità di questi simboli negli schemi di progetti di natura hobbistica.

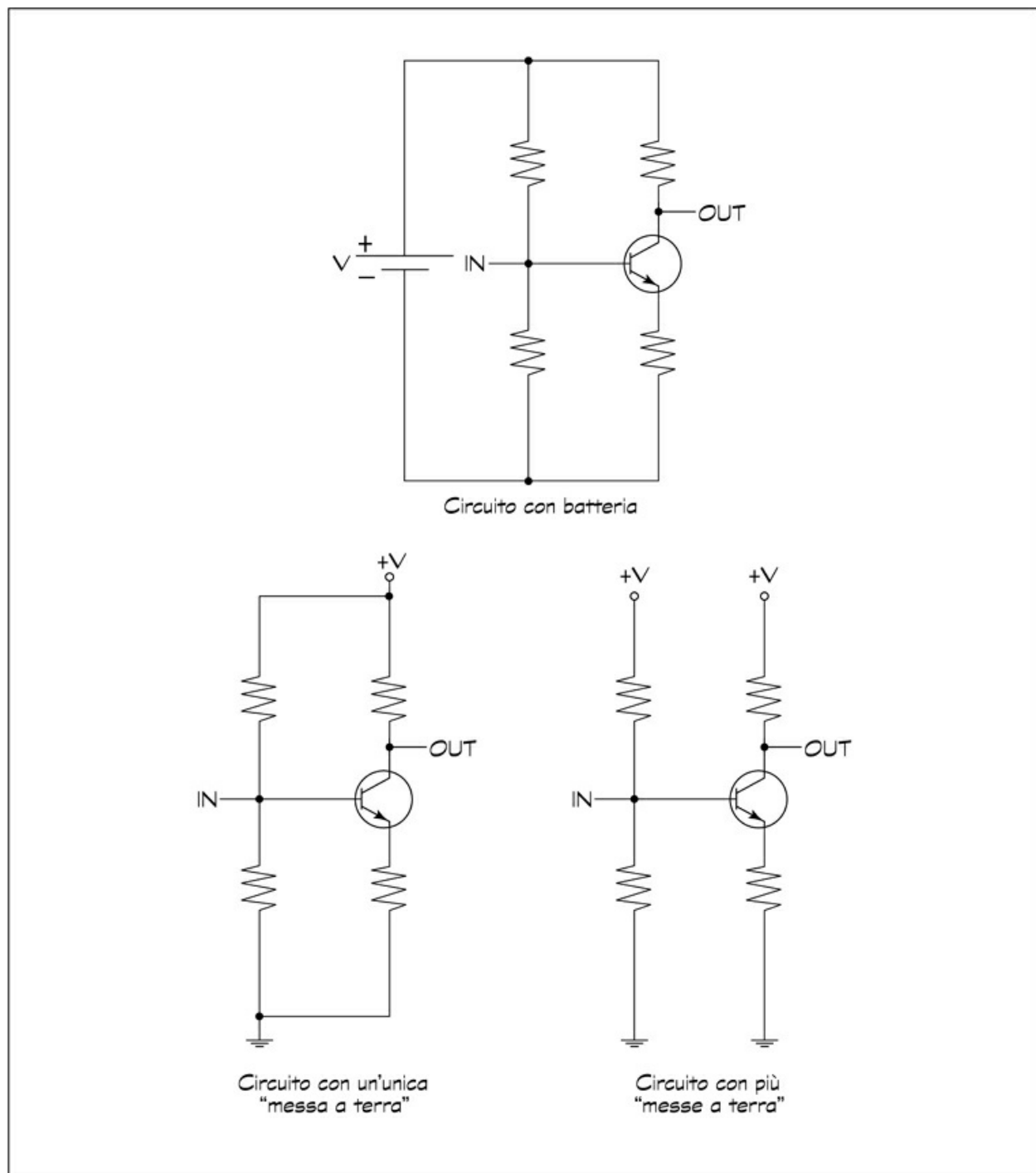


Figura 10.5 Simboli per le connessioni di terra comuni di un circuito.

Insieme al simbolo circuitale di un determinato componente elettronico potete trovare ulteriori informazioni che aiutano a identificare l'elemento in modo univoco.

- ✓ **Codice di riferimento:** un identificatore, per esempio R1 o Q3. La convenzione consiste nell'utilizzare una o più lettere per rappresentare il tipo di componente e un suffisso numerico per distinguere quel particolare componente rispetto agli altri dello stesso tipo. I designatori di uso più comune sono R per le resistenze, C per i condensatori, D per i diodi, L per gli induttori, T per i trasformatori, Q per i transistor e U o IC per i circuiti integrati.
- ✓ **Codice di parte:** utilizzato se il componente è standard (come nel caso dei transistor o dei circuiti integrati) o se si è in possesso del codice di parte indicato dal produttore. Per esempio, un codice di parte può essere qualcosa come 2N2222 (un transistor molto comune) oppure 555 (un circuito integrato utilizzato per applicazioni temporizzate).
- ✓ **Valore:** in genere viene mostrato solo per i componenti passivi, come le resistenze e i condensatori, che non usano codici di parte standard. Per esempio, quando si indica una resistenza, il valore (in ohm) può essere indicato a lato del simbolo della resistenza. In genere si trova solamente il valore, senza alcuna indicazione dell'unità di misura (ohm, microfarad e così via). Normalmente i valori delle resistenze vengono specificati in ohm e i valori dei condensatori vengono specificati in microfarad.
- ✓ **Informazioni aggiuntive:** uno schema può includere altre specifiche relative a uno o più componenti, come l'indicazione dei watt per la resistenza, quando non è il valore tipico da 1/4 o 1/8 W. Per esempio, se è richiesta una resistenza che lavori in potenza, troverete a lato del valore l'indicazione "10 W".



Molti schemi mostrano solo il codice di riferimento e il simbolo circuitale per ciascun componente e poi includono un elenco di componenti distinto che fornisce i dettagli in termini di codice di parte, valore e altre informazioni. Tale elenco mostra informazioni specifiche per ciascun componente.

Nota sulle sigle di riferimento

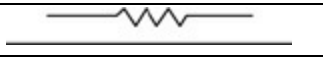
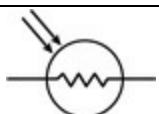
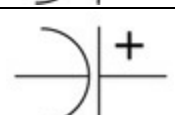
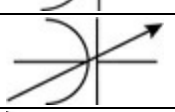
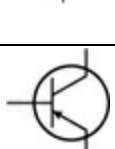
I componenti vengono spesso identificati in uno schema elettrico utilizzando un designatore di tipo alfabetico (come C per i condensatori), seguito da un identificatore numerico (1, 2, 3 e così via) per distinguere i vari componenti dello stesso tipo. Insieme, questi identificatori formano un *codice di riferimento* che identifica univocamente un determinato condensatore o componente. Se il valore non è indicato a lato del simbolo del componente, non preoccupatevi: troverete il codice di riferimento in un elenco delle parti che indica l'esatto valore del componente da utilizzare. Ecco, a lato, i designatori più utilizzati.

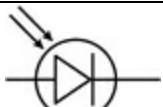
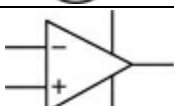
C	Condensatore
D	Diodo
IC (o U)	Circuito integrato
L	Induttore
LED	LED (Light-Emitting Diode)
Q	Transistor
R	Resistenza
RLY	Relè
T	Trasformatore
XTAL	Cristallo

Componenti elettronici analogici

I componenti analogici controllano il flusso dei segnali elettrici continui (analogici). La [Tabella 10.2](#) mostra i simboli circuitali utilizzati per i principali componenti elettronici analogici. La terza colonna della tabella indica il capitolo del libro in cui è stata trattata la funzionalità in questione.

Tabella 10.2**Simboli per i componenti analogici**

<i>Componente</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Capitolo di riferimento</i>
Resistenza		Capitolo 3
Resistenza variabile (potenziometro)		Capitolo 3
Fotoresistenza (fotocellula)		Capitolo 8
Condensatore		Capitolo 4
Condensatore polarizzato		Capitolo 4
Condensatore variabile		Capitolo 4
Induttore		Capitolo 5
Trasformatore a nucleo d'aria		Capitolo 5
Trasformatore a nucleo solido		Capitolo 5
Cristallo		Capitolo 5
Transistor NPN (bipolare)		Capitolo 6
Transistor PNP (bipolare)		Capitolo 6
MOSFET a canale N		Capitolo 6
MOSFET a canale P		Capitolo 6

		
Fototransistor (NPN)		Capitolo 8
Fototransistor (PNP)		Capitolo 8
Diodo standard		Capitolo 6
Diodo Zener		Capitolo 6
LED (Light-Emitting Diode)		Capitolo 6
Fotodiodo		Capitolo 8
Amplificatore operazionale (op amp)		Capitolo 7



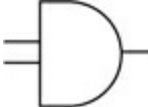
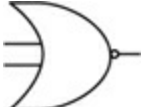
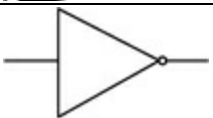
Il simbolo circuitale per un amplificatore operazionale rappresenta l'interconnessione di decine di componenti in un circuito praticamente completo (solo l'alimentazione è esterna). Gli schemi usano sempre più un unico simbolo per rappresentare l'intero circuito, parte di un circuito integrato. Il simbolo del circuito per un amplificatore operazionale viene comunemente utilizzato per rappresentare molti altri amplificatori, come l'amplificatore di potenza audio LM386 utilizzato nel [Capitolo 15](#).

Componenti per logica digitale e circuiti integrati

I componenti elettronici digitali, come le porte logiche, manipolano i segnali digitali costituiti da due possibili livelli di tensione: alto o basso. All'interno di ciascun componente digitale si trova un circuito quasi completo (solo l'alimentazione è esterna) costituito da singoli transistor o altri componenti

analogici. I simboli circuitali dei componenti digitali rappresentano l'interconnessione di vari componenti singoli che formano la logica del circuito. Potete realizzare le porte logiche da soli oppure ottenerle già pronte sotto forma di circuito integrato. I circuiti integrati logici normalmente contengono varie porte (non necessariamente tutte dello stesso tipo) che condividono un'unica linea di alimentazione.

La [Tabella 10.3](#) mostra i simboli circuitali per le singole porte logiche digitali. Potete trovare informazioni dettagliate sulle funzionalità di ciascuna porta logica nel [Capitolo 7](#).

Tabella 10.3 Simboli utilizzati per le porte logiche	
<i>Componente</i>	<i>Simbolo</i>
AND	
NAND	
OR	
NOR	
XOR	
XNOR	
Inversore (NOT)	

In alcuni schemi vengono mostrate le singole porte logiche; in altri casi vengono mostrate le connessioni verso il circuito integrato, rappresentato da

un rettangolo. Trovate un esempio di questi due approcci nella [Figura 10.6](#). Il circuito integrato 74HC00, rappresentato nella [Figura 10.6](#), è un CMOS con quadrupla porta logica NAND a due ingressi. Nello schema superiore, ogni porta NAND reca l'indicazione "¼ 74HC00", poiché si tratta di una delle quattro porte NAND presenti nel circuito integrato (questo tipo di indicazione delle porte logiche è molto comune negli schemi di circuiti digitali). Notate che in questo specifico circuito la quarta porta NAND non viene utilizzata; ecco perché i pin 11, 12 e 13 non vengono usati. Indipendentemente dal fatto che lo schema specifichi le singole porte o l'intero circuito integrato, normalmente vengono indicate le connessioni di alimentazione esterna. In caso contrario, dovrete controllare la piedinatura del circuito integrato sul suo datasheet, per determinare dove connettere l'alimentazione (per ulteriori informazioni sulle piedinature e i datasheet, consultate il [Capitolo 7](#)).

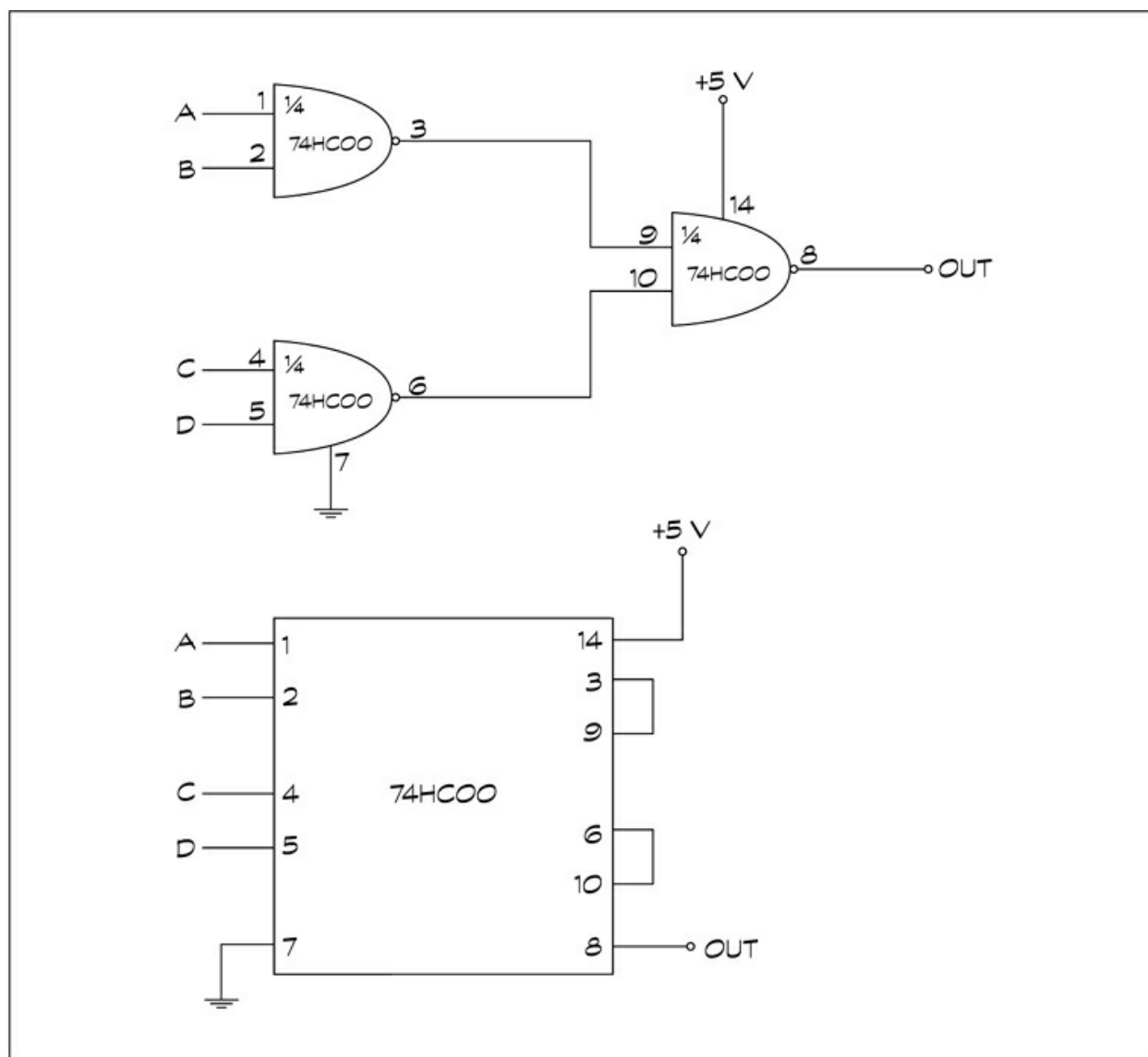


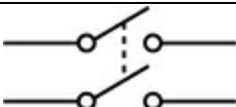
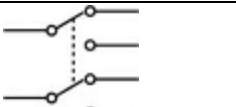
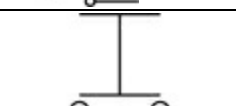
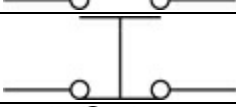
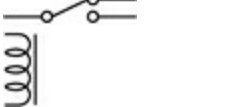
Figura 10.6 Due diverse rappresentazioni schematiche dello stesso circuito.

Esistono però molti altri circuiti integrati digitali oltre a quelli che contengono solo porte logiche. Troverete anche circuiti integrati lineari (analogici), che contengono circuiti analogici, e circuiti integrati a segnale misto, che contengono una combinazione di circuiti analogici e digitali. La maggior parte dei circuiti integrati (tranne quelli per gli amplificatori operazionali) viene rappresentata allo stesso modo degli schemi elettrici: con un rettangolo che reca l'indicazione di riferimento (per esempio IC1) oppure il codice di parte (come 74CH00), con l'indicazione della numerazione dei

pin. La funzione del circuito integrato è normalmente determinata dal suo codice di parte, ma talvolta lo schema elettrico può includere anche un’indicazione funzionale dell’attività che viene richiesta al circuito.

Componenti vari

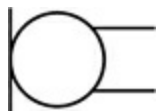
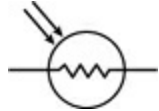
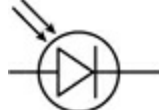
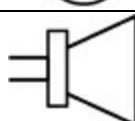
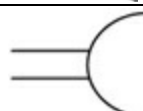
La [Tabella 10.4](#) elenca i simboli impiegati per gli interruttori e i relè. Per informazioni dettagliate su questi componenti, consultate il [Capitolo 8](#).

Tabella 10.4 Simboli per interruttori e relè	
Componente	Simbolo
Unipolare standard	
Unipolare deviatore	
Bipolare standard	
Bipolare deviatore	
Normalmente aperto	
Normalmente chiuso	
Relè	

La [Tabella 10.5](#) elenca i simboli per i vari trasduttori di ingresso (sensori) e trasduttori di uscita. Alcuni di questi simboli sono già stati presentati nella [Tabella 10.2](#). Potete trovare informazioni sulla maggior parte di questi componenti nel [Capitolo 8](#), mentre si è parlato dei LED nel [Capitolo 6](#).

Tabella 10.5 Simboli per i trasduttori di ingresso e di uscita

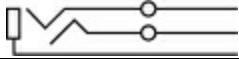
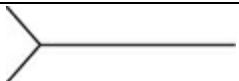
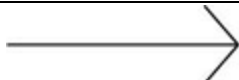
Microfono

	
Termistore	
Fotoresistenza (fotocellula)	
Fotodiodo	
Fototransistor (NPN)	
Fototransistor (PNP)	
Antenna	
Lampadina a incandescenza	
LED (Light-Emitting Diode)	
Altoparlante	
Buzzer piezoelettrico	

Alcuni circuiti accettano gli ingressi e inviano le uscite ad altri circuiti o dispositivi. Gli schemi spesso mostrano ciò che sembra un filo “pendente” che fuoriesce o che entra nel circuito. Normalmente reca un’indicazione del tipo “ingresso del segnale” o “ingresso dalla *TalCosa 1*” o “uscita” in modo che sappiate che gli si deve collegare qualcos’altro. Connettete un connettore del segnale a questo punto di ingresso e l’altro alla massa del segnale. Altri schemi possono mostrare un simbolo per uno specifico connettore, per

esempio una coppia *presa* e *jack*, che connette l'uscita di un dispositivo all'ingresso di un altro (indicazioni di questo tipo si trovano nel [Capitolo 8](#)).

La [Tabella 10.6](#) mostra alcuni dei modi in cui sono rappresentate negli schemi elettrici le connessioni di ingresso e di uscita verso altri circuiti. I simboli per le connessioni di ingresso/uscita possono variare enormemente da uno schema all'altro. I simboli utilizzati in questo libro sono fra i più comuni. Sebbene lo stile esatto del simbolo può variare da uno schema all'altro, l'idea è la stessa: si tratta di eseguire collegamenti con qualcosa di esterno al circuito.

Tabella 10.6 Simboli per la connessione ad altri circuiti	
<i>Nome</i>	<i>Simbolo</i>
Jack	
Jack schermato	
Ingresso non specificato	
Uscita non specificata	

Punti di misurazione

In alcuni schemi si possono trovare dei simboli che rappresentano i punti di test cui applicare un voltmetro (per misurare la tensione), un amperometro (per misurare la corrente) o un ohmmetro (per misurare la resistenza). Come si vedrà nel [Capitolo 12](#), un multimetro o tester è in grado di eseguire tutte queste misurazioni e molte altre ancora. Normalmente questi simboli si trovano negli schemi presenti sui siti web educativi o nei documenti che hanno uno scopo esplicitamente educativo. Si tratta di indicare dove porre i puntali dello strumento per poter prendere misure accurate.

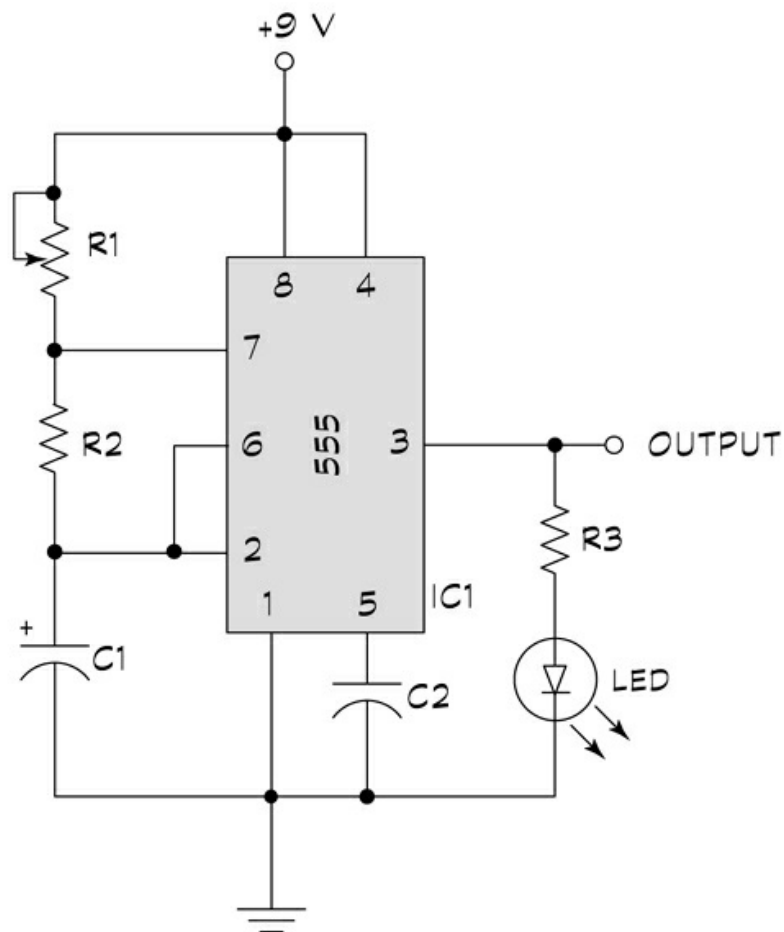
Quando in uno schema vedete i simboli rappresentati nella [Tabella 10.7](#), ricordate che rappresentano uno strumento di test e non strani componenti di

cui non avete mai sentito parlare.

Tabella 10.7 Simboli per i più comuni strumenti di test	
<i>Nome</i>	<i>Simbolo</i>
Voltmetro	
Amperometro	
Ohmetro	

Esplorare uno schema elettrico

Ora che conoscete almeno per l'ABC degli schemi elettrici, è tempo di riassumere il tutto ed esaminare le varie parti di un semplice schema. Lo schema rappresentato nella [Figura 10.7](#) mostra un circuito che fa lampeggiare un LED (lo realizzeremo nel [Capitolo 15](#)). Questo circuito controlla la frequenza di lampeggio del LED tramite un potenziometro (una resistenza variabile).



Elenco parti

IC1: circuito integrato LM555

R1: potenziometro 1 M Ω

R2: resistenza fissa 47 k Ω

R3: resistenza fissa 330 Ω

C1: condensatore polarizzato 1 μ F

C2: condensatore non polarizzato 9,1 μ F

LED: Light-Emitting Diode

Figura 10.7 Lo schema e l'elenco delle parti utilizzate per il progetto del LED lampeggiante, presentato nel [Capitolo 15](#).

Ecco che cosa ci dice questo schema.

- ✓ Al cuore dello schema si trova il **circuito integrato IC1, un timer 555 a otto pin**, dove tutti gli otto pin sono connessi alle altre parti del circuito. I pin 2 e 6 sono connessi fra loro.
- ✓ Il circuito è alimentato da una fonte di alimentazione a 9 volt, che può essere una **batteria da 9 V**.
 - Il terminale positivo della fonte di alimentazione è connesso ai pin 4 e 8 dell'IC1 e a un contatto fisso e al contatto mobile della resistenza R1, che è una resistenza variabile (un potenziometro).
 - Il terminale negativo della fonte di alimentazione (rappresentato dall'indicazione della massa comune) è connesso al pin 1 dell'IC1, al terminale negativo del condensatore C1, al condensatore C2 e al catodo (terminale negativo) del diodo LED.
- ✓ **R1 è un potenziometro** che ha un contatto fisso connesso al pin 7 dell'IC1 e alla resistenza R2, e l'altro contatto fisso e il contatto mobile connessi al terminale positivo della batteria (e ai pin 4 e 8 dell'IC1).
- ✓ **R2 è una resistenza fissa**, con un contatto connesso al pin 7 dell'IC1 e a un contatto fisso della resistenza R1, e l'altro contatto connesso ai pin 2 e 6 dell'IC1 e al terminale positivo del condensatore C1.
- ✓ **C1 è un condensatore polarizzato**. Il suo terminale positivo è connesso alla resistenza R2 e ai pin 2 e 6 dell'IC1 e il suo terminale negativo è connesso al terminale negativo della batteria (oltre che al pin 1 dell'IC1, al condensatore C2 e al catodo del LED).
- ✓ **C2 è un condensatore non polarizzato**. È connesso da un lato al pin 5 dell'IC1 e dall'altro lato al terminale negativo della batteria (e anche al terminale negativo del condensatore C1, al pin 1 dell'IC1 e al catodo del diodo LED).
- ✓ L'anodo del diodo **LED** è connesso alla resistenza R3 e il catodo è connesso al terminale negativo della batteria (e anche al terminale negativo del condensatore C1, del condensatore C2 e al pin 1

dell'IC1).

- ✓ **R3 è una resistenza fissa**, connessa fra il pin 3 dell'IC1 e l'anodo del diodo LED.
- ✓ Infine, l'**uscita**, rappresentata dal pin 3 dell'IC1, può essere utilizzata come segnale di ingresso per un altro stadio del circuito.

Ogni elemento di questo elenco fornisce indicazioni solo del rispettivo componente e delle sue connessioni. Sebbene questo elenco menzioni le stesse connessioni più volte, ciò è coerente con una buona abitudine; vale la pena di controllare per bene le connessioni del circuito, assicurandosi che *ogni connessione o pin di ogni singolo componente* sia connesso correttamente. Avete mai sentito parlare di quella regola empirica che dice “Controllate due volte, tagliate una volta”? Bene, questo stesso principio si applica anche in questo caso. La cautela non è mai troppa, quando si devono collegare dei componenti elettronici.

Stili di disegno alternativi negli schemi elettrici

I simboli rappresentati in questo capitolo sono particolarmente utilizzati in Nord America e in Giappone. In alcuni paesi europei e in Australia, si utilizzano simboli leggermente differenti. Vale la pena di esaminarne l'aspetto.

La [Figura 10.8](#) mostra un campione di simboli comunemente utilizzati in Europa. Notate che vi sono alcune differenze evidenti nei simboli delle resistenze, sia fisse che variabili.

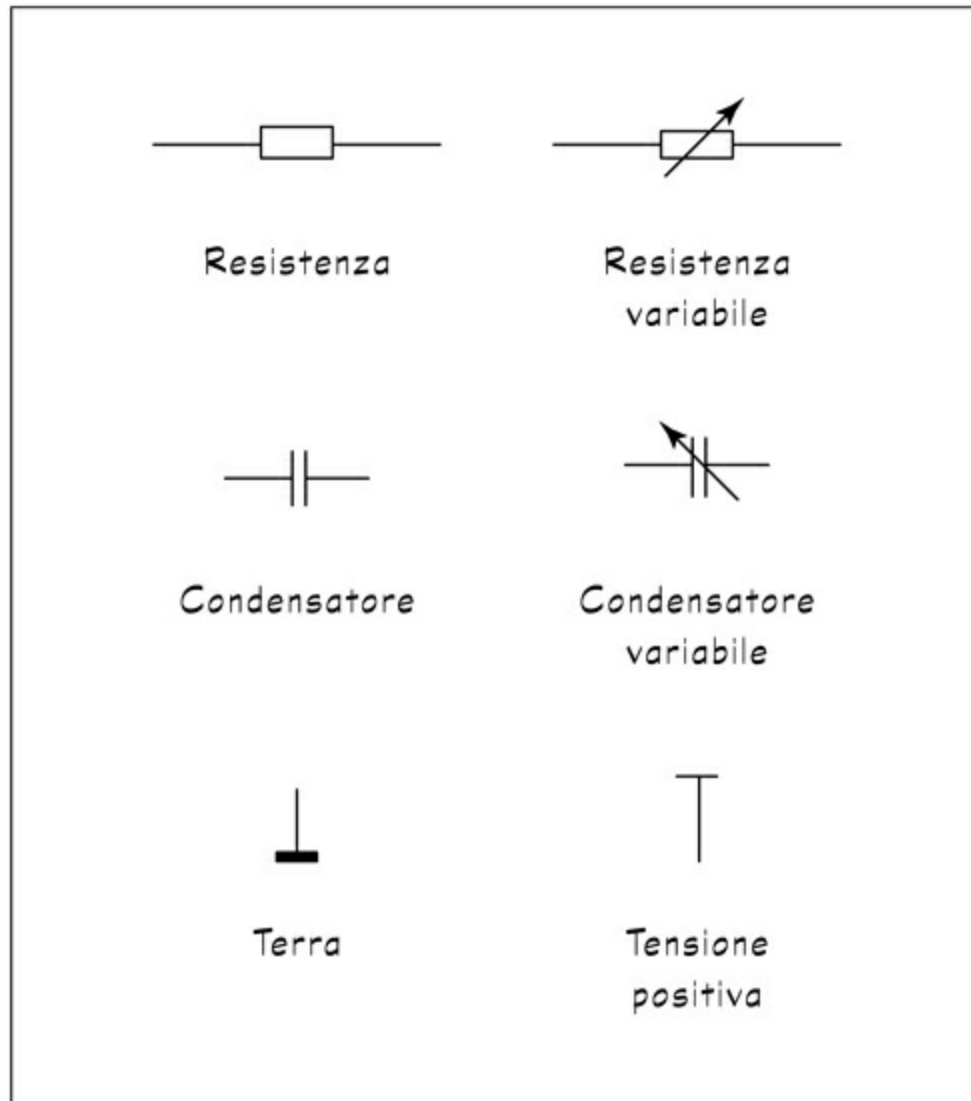


Figura 10.8 Simboli utilizzati negli schemi elettrici europei.

Vi sono leggere differenze stilistiche fra l’America e l’Europa. In America i valori di resistenza superiori a 1.000 ohm si esprimono scrivendo 6.8 k o 10.2 k, con il punto al posto della virgola e la lettera “k”. In Europa spesso si elimina il punto (o la virgola) decimale. Per esempio si possono trovare le resistenze espresse così: 6k8 o 10k2. In questo caso, la lettera “k” (che in questo caso significa *kilohm* o migliaia di ohm) sostituisce di fatto la virgola (o il punto) decimale.

Esistono anche molte altre varianti stilistiche negli schemi elettrici, ma tutte

sono abbastanza autoesplicative e le differenze non sono poi eclatanti. In ogni caso, dopo aver imparato a utilizzare uno schema di progettazione, gli altri risulteranno piuttosto semplici da assimilare.

Capitolo 11

Realizzare circuiti

In questo capitolo

Come funziona una breadboard: creare circuiti senza saldare nulla.

Creare un circuito in meno di un minuto con una breadboard.

Saldare, in sicurezza, come un professionista.

Individuare e correggere gli errori di saldatura.

Fissare un circuito trasferendolo da una breadboard a una basetta millefori.

L'assetto definitivo: il circuito stampato.

Avete predisposto con cura la vostra area di lavoro, avete posizionato con ordine tutti i vostri nuovi *giocattoli*... ops, volevo dire *attrezzi* per impressionare i vostri amici, avete acquistato qua e là un bell'assortimento di resistenze e altri componenti e ora siete pronti per realizzare circuiti lampeggianti e rumorosi. Come trasformare un misero schema bidimensionale in un circuito elettronico vero, operativo, funzionante?

In questo capitolo vedremo vari modi per connettere i componenti elettronici fra loro a formare circuiti che dirigono gli elettroni secondo i vostri comandi. Innanzitutto vedremo come realizzare circuiti temporanei, utilizzando *breadboard* che non richiedono saldature e che rappresentano la piattaforma ideale per tutte le attività di collaudo e test. Poi vedremo come saldare fra loro i componenti utilizzando una matassina di una sostanza malleabile e tossica chiamata comunemente "stagno". Infine impareremo a creare circuiti

permanenti utilizzando tecniche di saldatura e alcune basette.

Armatevi dunque di cacciaviti, pinzette e saldatore e non dimenticate neppure gli occhiali protettivi e il bracciale antistatico: state per entrare, ma per davvero, nel mondo dei circuiti elettronici.

Che cos'è una breadboard

Una *breadboard*, o, più prosaicamente, *scheda per prototipi*, facilita enormemente la composizione (e scomposizione) di circuiti temporanei. Queste schede rettangolari di materiale plastico contengono parecchie centinaia di fori, all'interno dei quali si connettono i componenti (resistenze, condensatori, diodi, transistor e circuiti integrati). I vari gruppi di fori sono connessi fra loro tramite contatti metallici che corrono sotto la superficie della scheda. Basta inserire un cavo o un piedino in un foro e questo entrerà in contatto con il metallo sottostante. Connettendo nel modo corretto i componenti e poi alimentando la breadboard tramite una fonte di alimentazione, è possibile realizzare un circuito perfettamente funzionante senza connettere fra loro in modo permanente alcun componente.

È davvero consigliabile partire da una breadboard (o anche due) quando si realizza un circuito. In tal modo, potrete collaudarlo e assicurarvi che funzioni correttamente e poi eseguire tutti gli adattamenti necessari. Spesso è possibile migliorare le prestazioni di un circuito intervenendo solo sui valori di pochi componenti. Per eseguire queste modifiche, basta estrarre un componente dalla breadboard e inserirne un altro, senza dover mai saldare e dissaldare nulla. Per informazioni sulle operazioni di saldatura, consultate il paragrafo “Tutto sulla saldatura”, più avanti in questo stesso capitolo. Quando sarete sicuri che il circuito si comporta nel modo desiderato, potrete creare un circuito permanente su altri tipi di schede (come descritto nel paragrafo “Creare un circuito permanente” più avanti in questo capitolo).



Le breadboard sono progettate per realizzare circuiti in corrente continua e a bassa tensione. Non utilizzate MAI una breadboard per realizzare progetti alimentati dalla presa di corrente domestica. Livelli eccessivi di corrente o di tensione possono fondere i componenti plastici o produrre archi fra i contatti, fondendo la breadboard ed esponendo i contatti sottoposti ad alta tensione.

Esplorare una breadboard: cosa c'è sotto la superficie?

La [Figura 11.1](#) mostra una semplice breadboard con sovrainposte alcune linee bianche che indicano le connessioni che si trovano proprio sotto i fori. Al centro della scheda i fori sono connessi verticalmente a blocchi di cinque (per esempio, i fori del gruppo A, B, C, D ed E della colonna 30 sono tutti connessi fra loro e anche i fori del gruppo F, G, H, I e J, sempre della colonna 30, sono tutti connessi fra loro). Non vi sono invece connessioni al centro, fra le righe E e F. Potete pertanto collocare un circuito integrato “a cavallo” della linea mediana e ottenere istantaneamente un gran numero di connessioni verso ognuno dei suoi pin.

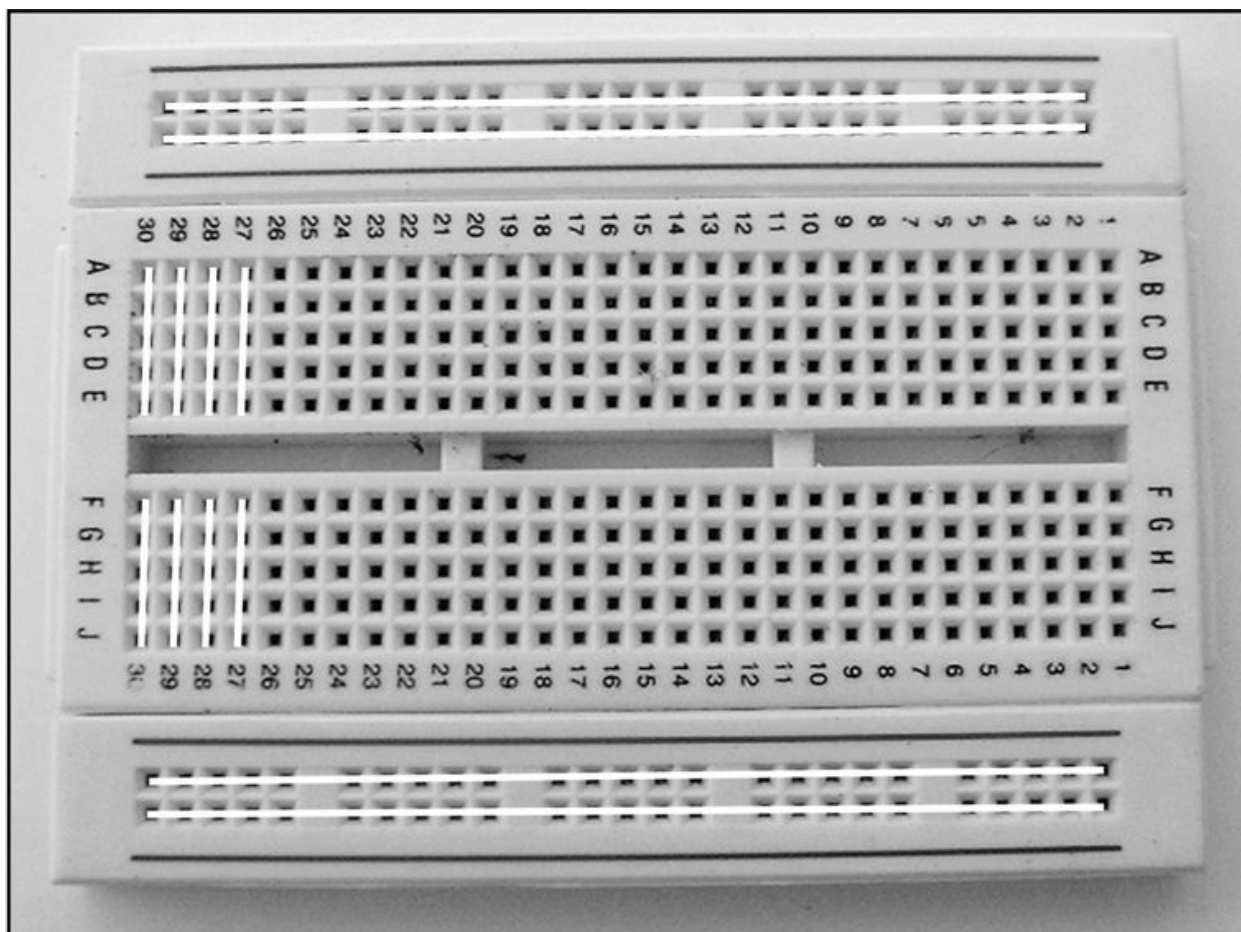


Figura 11.1 Le breadboard sono costituite da file di contatti connessi elettricamente a gruppi, sotto la superficie.

Nella parte superiore e inferiore della breadboard, i fori sono connessi lungo la fila orizzontale, ma non sempre è possibile sapere esattamente quali fori sono connessi elettricamente semplicemente osservando la scheda. Per la scheda a 400 fori rappresentata nella [Figura 11.1](#), tutti i 25 contatti in ciascuna delle quattro file che corrono a coppie, due in alto e due in basso, sono connessi fra loro. Nelle breadboard di maggiori dimensioni, come quella da 840 fori rappresentata nella [Figura 11.2](#), vi è un'interruzione centrale nella connessione. Abbiamo pertanto collocato un piccolo ponticello fra i contatti, per creare una connessione sull'intera fila. In alcune schede, però, i contatti delle due file nella parte superiore sono tutti connessi elettricamente, come anche i contatti delle due file nella parte inferiore.



Potete utilizzare un multimetro per controllare se due punti di una riga (o di una colonna) sono connessi elettricamente. Collocate un ponticello in ciascun foro e poi toccate l'altra estremità del cavo con un puntale del multimetro. Se leggete una resistenza molto bassa, sapete che i due punti sono connessi. Se invece ottenete una lettura infinita in ohm, sapete che i punti non sono connessi. Per ulteriori informazioni sul collaudo del multimetro, consultate il [Capitolo 12](#).

La spaziatura fra i fori è di un decimo di pollice (0,1 pollici), perfetta per i circuiti integrati, per la maggior parte dei transistor e per i componenti discreti, come i condensatori e le resistenze. In tal modo potrete collocare direttamente nei fori i circuiti integrati, le resistenze, i condensatori, i transistor e i ponticelli appropriati per creare il circuito. In genere si usano le due sezioni centrali della scheda per eseguire connessioni fra i componenti e le sezioni superiore e inferiore per connettere l'alimentazione.



I produttori di breadboard realizzano contatti utilizzando metallo placcato. La placcatura evita l'ossidazione dei contatti e il fatto che i contatti siano a molla consente di utilizzare piedini di vario diametro, senza che ciò deformi i contatti. Notate, tuttavia, che potreste danneggiare i contatti utilizzando cavo di grossa sezione o componenti con piedini molto grossi. Se il filo è troppo spesso e non entra nel foro, non forzatelo. Alla fine potreste anche riuscire ad allargare il foro sulla breadboard, ma deformerete in modo permanente il contatto sottostante e la breadboard potrebbe non funzionare più a dovere.



Quando non la usate, tenete la breadboard in una busta chiusa per evitare che

vi entri della polvere. La polvere sui contatti può ridurre la conduttività elettrica. Anche se potete sempre usare uno spray per eliminare la polvere e altri contaminanti, è molto più semplice mantenere sempre pulita la breadboard.

Dimensioni dei vari tipi di breadboard

Esistono breadboard di varie dimensioni. Quelle più piccole (dotate di 400/550 fori) possono ospitare anche tre o quattro circuiti integrati e una manciata di componenti discreti. Le breadboard più grandi, come quella da 840 fori rappresentata nella [Figura 11.2](#), offrono più flessibilità e possono ospitare cinque o più integrati. Se state realizzando progetti davvero complicati, potete acquistare breadboard di grandi dimensioni, con 1660 o anche 3200 fori. Queste schede possono ospitare fino a una trentina di circuiti integrati e tutti i relativi componenti discreti.



Non esagerate quando acquistate una breadboard. Non avete bisogno di una breadboard delle dimensioni del Molise se dovete fare solo un piccolo circuito come quelli presentati nel [Capitolo 15](#). Se poi vi trovate nel bel mezzo di un circuito e scoprite di aver bisogno di un po' più di spazio, potete sempre collegare insieme due breadboard. Alcune breadboard sono anche dotate di incastri, che potete utilizzare per collegare insieme più elementi.

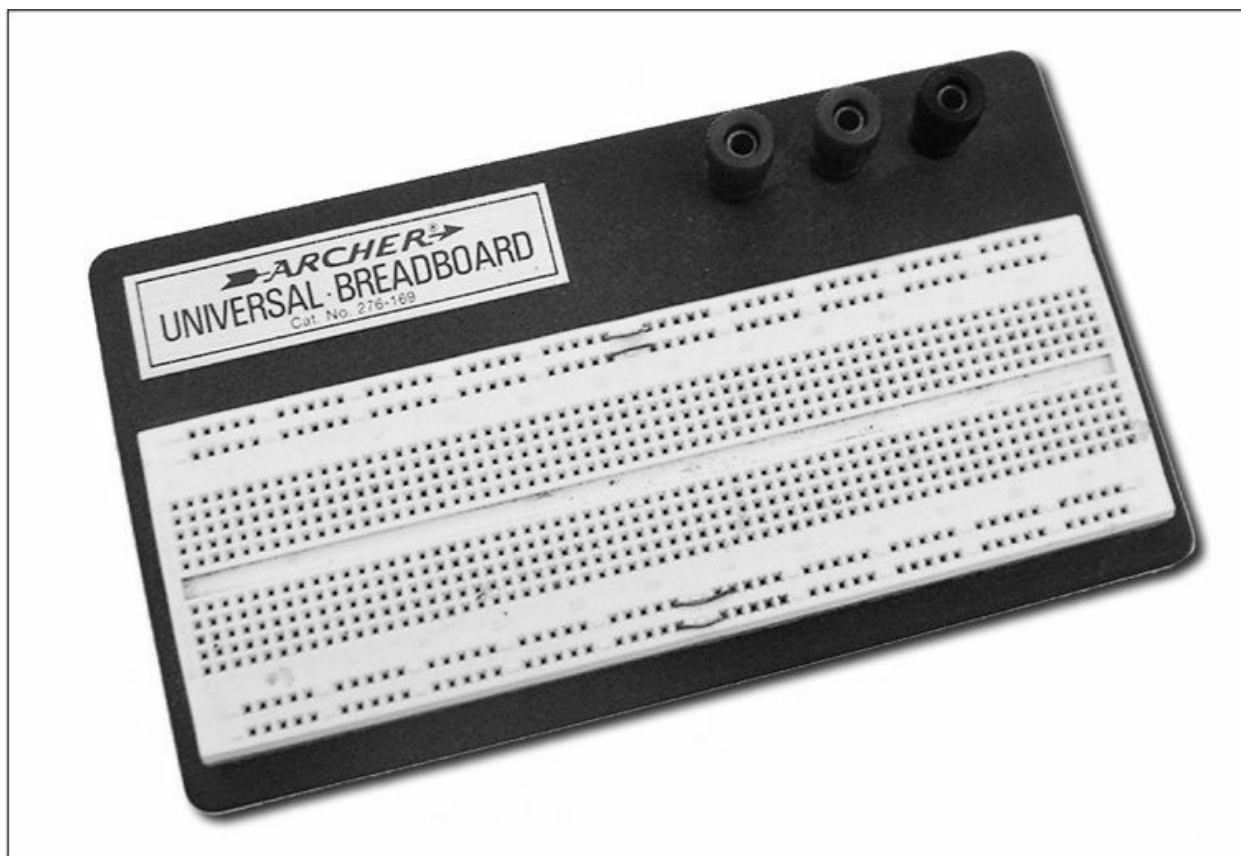


Figura 11.2 Per i circuiti di maggiori dimensioni, potete utilizzare breadboard più grandi, come questa da 840 fori.

Realizzare circuiti con le breadboard

Sostanzialmente, per creare circuiti con una breadboard, basta fissarle tutti i componenti necessari. Ma c'è un modo giusto e un modo sbagliato per procedere. Qui vedremo cosa non fare e quali tipi di cavetti utilizzare, come comporre un circuito in modo efficiente su una breadboard e dare al tutto una struttura ordinata e logica.

Preparare i componenti e gli attrezzi

Prima di iniziare a disporre a casaccio i componenti su una breadboard, dovrete assicurarvi di avere tutto ciò di cui avete bisogno. Controllate bene

l'elenco delle parti e mettete da parte tutti i componenti elettronici che comporranno il circuito. Procuratevi gli attrezzi essenziali, come delle pinzette, il tronchesino e lo spelafili. Assicuratevi che i piedini di tutti i componenti siano adatti per i fori della breadboard. Tagliate, se possibile, i piedini più lunghi, in modo che i componenti si infilino per bene nei fori della scheda (non preoccupatevi se poi non potrete riutilizzarli per altri circuiti, in fin dei conti costano molto poco). Alcuni componenti, come i potenziometri, possono non essere dotati di piedini e dunque potrete dover saldare dei piccoli cavetti ai loro terminali (a tale proposito, consultate il paragrafo “Tutto sulla saldatura”, più avanti in questo capitolo). Imparate a riconoscere la polarità dei componenti ed esercitatevi a individuare il significato dei piedini dei transistor, dei potenziometri e dei circuiti integrati. Infine, tenete a portata di mano dei ponticelli, come descritto nel prossimo paragrafo.

Risparmiare tempo acquistando i ponticelli

Molte delle connessioni fra componenti sulla breadboard sono già presenti nella breadboard stessa, sotto la superficie, ma quando non è possibile eseguire connessioni dirette in questo modo, occorre ricorrere a piccoli spezzoni di cavo (*ponticelli*). Si deve utilizzare un cavetto con un conduttore solido (non a treccia) di dimensioni appropriate. Cavetti troppo grossi o troppo sottili non vanno troppo d'accordo con le breadboard: troppo spessi non entreranno nei fori; troppo sottili e non garantiranno un adeguato contatto elettrico.



Non utilizzate mai cavetti a treccia sulle breadboard. I sottilissimi fili che compongono la treccia possono rompersi, piegarsi e produrre contatti differenti da quelli previsti.



Quando acquistate una breadboard, procuratevi anche un set di ponticelli pronti all'uso, come suggerito nel [Capitolo 9](#) (non fate troppa economia, non ne vale la pena). Esistono ponticelli di varie lunghezze, già spelati e piegati, pronti per la collocazione nella breadboard. Per esempio, si può acquistare una confezione da dieci elementi per tipo, dieci o venti lunghezze differenti, da 1/10 di pollice a 5 pollici. Un set di 150-350 ponticelli pronti all'uso vi costerà non più di una decina di euro e, decisamente, per quel prezzo, il tempo risparmiato a crearli manualmente sarà davvero molto. L'alternativa consiste nell'acquistare un po' di filo, tagliare segmenti di varie lunghezze e poi spelare con pazienza all'incirca un centimetro di isolamento a entrambi i capi.

Anche se avete acquistato un ricco assortimento di ponticelli pronti all'uso, talvolta avrete bisogno di eseguire qualche collegamento in più. Utilizzate un cavo di sezione adatta e tagliatene la lunghezza desiderata. Se avete uno spelafili con diametro regolabile, impostatelo in modo appropriato per il filo che state utilizzando. Alcuni spelafili possono avere vari incavi con l'indicazione del diametro. Utilizzando questi spelafili specifici al posto di quelli generici, eviterete di indebolire il conduttore mentre togliete la guaina isolante. Un contatto fragile, potrebbe perdersi all'interno della breadboard e recuperarlo potrebbe essere tutt'altro che facile.

Per preparare i ponticelli per la breadboard, procedete nel seguente modo.

- 1. Tagliate il cavetto alla lunghezza desiderata, utilizzando un tranciafilo.**
- 2. Spelate circa un centimetro di guaina isolante da entrambe le estremità.**

Se utilizzate uno strumento di diametro specifico, inserite un'estremità del cavo nello spelafili, trattenete l'altra estremità con un paio di pinzette e fate scivolare il cavo attraverso l'attrezzo. Se invece utilizzate uno spelafili generico, dovrete controllare a mano quanto stringere lo strumento attorno al cavo: se lo stringerete troppo, potreste indebolire il cavo; se lo stringete troppo poco, potreste non tagliare correttamente l'isolamento.

3. **Piegate i contatti a un angolo di 90 gradi. Per farlo potete utilizzare le pinzette.**

Comporre il circuito

Ora avete tutti i componenti e gli strumenti, avete lo schema per realizzare il circuito e volete realizzarlo sulla breadboard. Da dove partire? Qual è il modo migliore per connettere il tutto?

Benvenuti nel mondo della creazione di circuiti: ora dovete determinare dove collocare i componenti sulla scheda in modo da mantenere il tutto ordinato e corretto. Non aspettatevi che il layout del circuito abbia esattamente l'aspetto che ha nello schema: non solo sarebbe troppo difficile, ma anche poco pratico. Tuttavia, potete orientare gli elementi chiave del circuito in modo che il progetto sia più intuitivo e facile da correggere.



Quando realizzate un circuito su una breadboard, concentratevi sulle connessioni fra i componenti, piuttosto che sulla posizione dei componenti sullo schema.

Ecco alcune indicazioni per la realizzazione del circuito sulla breadboard.

- ✓ **Utilizzate una delle file superiori per l'alimentazione positiva e una fila inferiore per la massa (e l'alimentazione negativa, se necessario).** Queste linee forniscono una grande quantità di prese di interconnessione, che vi consentiranno di connettere con facilità i componenti all'alimentazione e alla massa.
- ✓ **Orientate gli ingressi del circuito sul lato sinistro della scheda e le uscite sul lato destro.** Pianificate il layout dei componenti in modo da ridurre il numero di ponticelli. Più cavi dovreste inserire, più congestionato e confuso diverrà il progetto.

✓ **Collocate prima i circuiti integrati, a cavallo del solco centrale.**

Lasciate almeno tre (preferibilmente dieci) colonne di fori fra ciascun circuito integrato. Potete utilizzare uno strumento per l'inserimento e l'estrazione di integrati per collocare ed estrarre i circuiti integrati, in modo da ridurre le probabilità di danneggiarli con le dita.

Se utilizzate degli integrati CMOS, ricordatevi di collegare a terra l'attrezzo che usate per maneggiarli, per scaricare l'elettricità statica.



✓ **Cominciate a operare su ciascun circuito integrato a partire dal pin 1, inserendo i componenti che si connettono a ciascun pin. Poi inserite tutti gli altri componenti necessari per completare il circuito.** Utilizzate delle pinzette per piegare i piedini e i cavetti a un angolo di 90 gradi e inseriteli nei fori, mantenendo tutti i componenti il più possibile vicini alla scheda, per evitare che si allentino.

✓ **Se il circuito richiede molti punti di connessione comuni oltre all'alimentazione, e non avete sufficienti punti in una colonna di fori, utilizzate un ponticello per portare la connessione in un altro punto della breadboard, dove avete più spazio.** Potete creare un punto di connessione comune a una distanza di qualche colonna, per esempio nello spazio che separa una coppia di circuiti integrati.

La [Figura 11.3](#) mostra una resistenza, più un ponticello e un LED inseriti in una breadboard.

Non preoccupatevi troppo di occupare poco spazio sulla breadboard. È meglio collocare i componenti un po' più lontani fra loro, piuttosto che ammassarli, tutti insieme. Mantenere una certa distanza fra i circuiti integrati e i componenti aiuta anche a sistemare e raffinare il circuito. Potete aggiungere facilmente nuovi componenti senza essere costretti a spostare quelli preesistenti.



Un cablaggio complesso, complica anche la correzione in un circuito e un groviglio di fili aumenta enormemente le probabilità di commettere errori. I ponticelli possono uscire inavvertitamente oppure il circuito stesso potrebbe presentare malfunzionamenti. Per evitare il caos, dedicate del tempo a pianificare attentamente e realizzare con cura i circuiti sulla breadboard. Il tempo dedicato alla pianificazione ridurrà le successive frustrazioni.

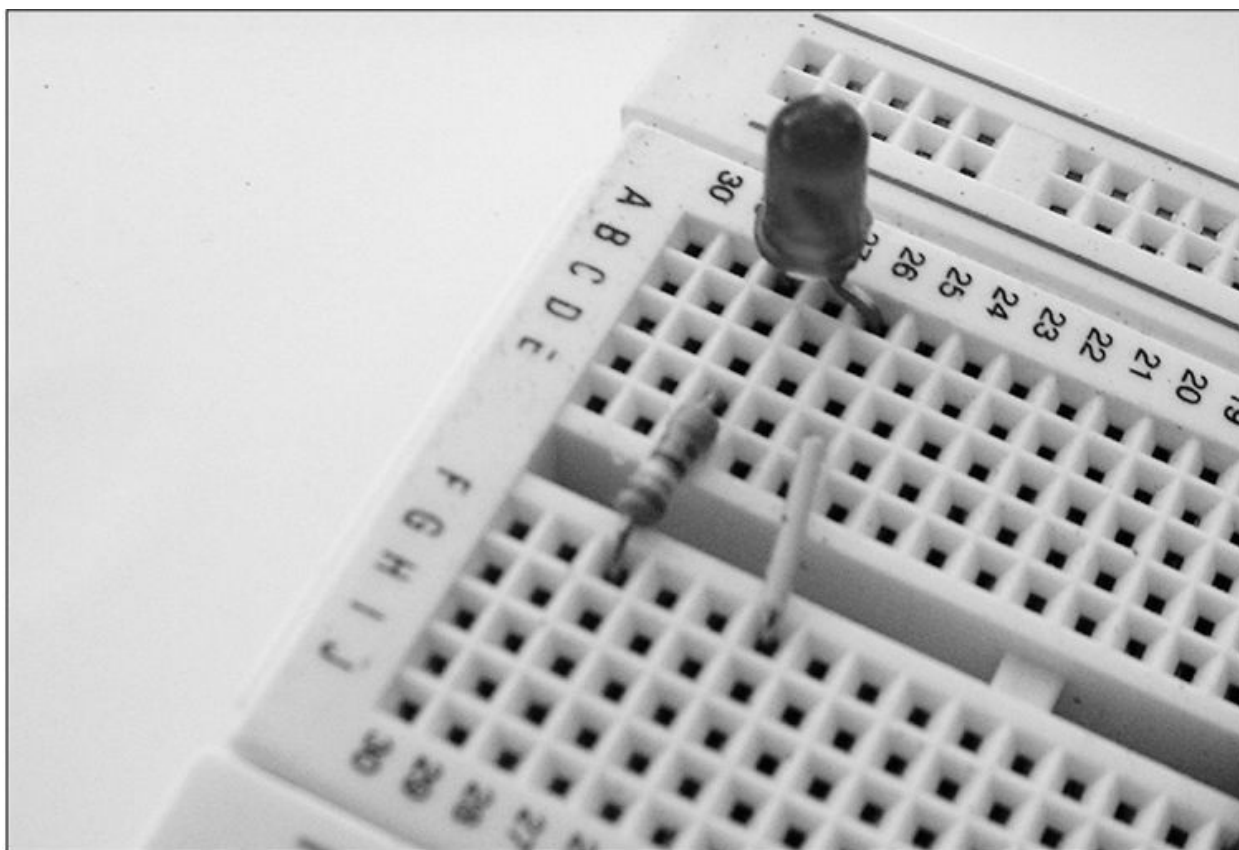


Figura 11.3 Spelate e piegate le estremità del ponticello e i piedini dei componenti in modo che entrino correttamente nei fori della breadboard.

Evitare di danneggiare i circuiti

Vi sono alcune cose da sapere per assicurarsi che i circuiti e la breadboard

funzionino come si deve.

- ✓ **Se il circuito usa uno o più chip CMOS, inseritelo per ultimo.** Se necessario, utilizzate un circuito integrato TTL fittizio, che aiuta a determinare che tutte le connessioni siano corrette. Gli integrati TTL sono molto meno sensibili all'elettricità statica rispetto alla varietà CMOS. Fate attenzione a fornire le connessioni per le fonti di alimentazione positiva e negativa e a connettere tutti gli ingressi (connettete gli interessi che non usate alle linee di alimentazione positiva o negativa). Quando sarete pronti per collaudare il circuito, togliete il chip fittizio e sostituitelo con il circuito integrato CMOS.
- ✓ **Non esponete mai una breadboard al calore, che potrebbe danneggiare la plastica in modo permanente.** I circuiti integrati e altri componenti che possono surriscaldarsi (per esempio per un corto circuito o per un eccesso di corrente) possono fondere la plastica sottostante. Provate a passare un dito sui componenti dopo aver dato alimentazione, per verificare che non si surriscaldino.



Non utilizzate mai una breadboard per realizzare progetti alimentati in corrente alternata di rete. La corrente può attraversare i contatti, danneggiando la scheda e mettendo in pericolo chi la maneggia.

- ✓ **Se un frammento di piedino o di cavetto si incastra in un foro, utilizzate una pinzetta per estrarlo delicatamente, sempre con l'alimentazione spenta.**
- ✓ **Non sempre sarete in grado di concludere e collaudare un circuito in una sola seduta. Se dovete mettere da parte la breadboard del circuito per un po', verificate che non sia a portata di mano dei bambini, di animali o di persone troppo curiose.**

Il mio circuito su breadboard non funziona!

Lavorando con le breadboard, potreste incontrare un problema piuttosto comune: la *capacità parassita*, che è un accumulo indesiderato di energia elettrica all'interno di un circuito. Tutti i circuiti hanno una capacità parassita interna, che non può essere evitata; ma quando vi è una grande quantità di cavi che vanno di qua e di là, la capacità può aumentare in modo inatteso. A un certo punto (e la cosa varia da un circuito all'altro), questa capacità parassita può alterare il comportamento del circuito.

Poiché le breadboard contengono contatti metallici e richiedono collegamenti non proprio brevissimi, tendono anche a introdurre una certa capacità in eccesso anche su circuiti insospettabili. Come risultato, le breadboard hanno la tendenza ad alterare le caratteristiche di alcuni componenti, in particolare i condensatori e gli induttori. Queste alterazioni possono cambiare il comportamento di un circuito. Tenete in considerazione questo fatto quando lavorate con le radiofrequenze, come i ricevitori e i trasmettitori radio, i circuiti digitali che utilizzano segnali che cambiano a una frequenza molto rapida (dell'ordine di un paio di milioni di Hertz) e i circuiti di temporizzazione che contano su valori esatti dei componenti.

Se state realizzando un circuito radio o comunque di un tipo che può essere influenzato da un accumulo di capacità, potreste non riuscire a collaudarlo su una breadboard. Dovrete pertanto realizzare il circuito su una basetta millefori, come descritto nel paragrafo “Creare circuiti con circuiti integrati ‘plug-and-play’”, più avanti in questo capitolo.

Tutto sulla saldatura

La saldatura consente di creare un legame conduttivo stabile fra i componenti e/o i cavetti. La punta del saldatore scioglie una lega metallica morbida

chiamata, comunemente, *stagno*, in modo che divenga liquido e avvolga i due elementi metallici fino a stabilire un legame conduttivo. Quando la punta del saldatore viene tolta, la lega si raffredda e forma un *legame conduttivo stabile*. È davvero necessario preoccuparsi della saldatura, anche se pensate di realizzare i vostri progetti su una normale breadboard? La risposta è sì. Quasi ogni progetto elettronico prevede qualche attività di saldatura. Per esempio, potreste acquistare dei componenti (potenziometri, interruttori, microfoni...) che non sono dotati di connettori. In tal caso, dovreste saldare due o più ponticelli ai loro terminali anche per poterli collegare ai fori della breadboard.

Naturalmente, vi troverete a utilizzare spesso saldature per realizzare circuiti permanenti su basette millefori o circuiti stampati, come descritto nel paragrafo “Creare un circuito permanente”, più avanti in questo capitolo.

Prepararsi a saldare

Per poter saldare, avete bisogno di un saldatore da 25-30 watt, una spoletta di stagno di dimensioni medio piccole di tipo 60/40 a resina flussante (rosin core), una base zavorrata per trattenere la punta a riposo e una piccola spugna (per informazioni dettagliate sulla scelta del saldatore adatto per i progetti elettronici, consultate il [Capitolo 9](#)). Assicuratevi di fissare bene la punta sul saldatore e collocatelo in un luogo sicuro del piano di lavoro, dove è improbabile che possa cadere.

Procuratevi anche altri elementi necessari, come gli occhiali protettivi (per proteggere gli occhi dagli schizzi di stagno), un morsetto a coccodrillo (utile anche per proteggere i componenti sensibili alla temperatura), un bracciale antistatico (descritto nel [Capitolo 9](#)), dell'alcol, un foglio di carta, una matita e un po' di nastro adesivo. Collocate ogni componente che dovete saldare sul foglio di carta, fissandolo con il nastro adesivo. Scrivete il riferimento, per esempio R1, sul foglio di carta a lato di ogni componente. Indossate gli occhiali protettivi e il bracciale antistatico e assicuratevi che l'area di lavoro sia adeguatamente ventilata.

Inumidite la spugna, togliete l'eccesso d'acqua, accendete il saldatore,

attendete un minuto che raggiunga la temperatura di esercizio (circa 400°C) e inumidite la punta del saldatore toccando brevemente la spugna. Se la punta è nuova, stagnetela prima di saldare, per evitare che lo stagno tenda ad aderire troppo alla punta. Questo potrebbe formare dei piccoli globi di stagno, che possono provocare falsi contatti sul circuito. Potete stagnare la punta applicando una piccola quantità di stagno. Per togliere lo stagno in eccesso, basta sfregare un po' la punta sulla spugnetta.



Stagnate periodicamente la punta del saldatore per mantenerla pulita. Potete anche acquistare appositi pulitori per punte, qualora la punta dovesse sporcarsi e non riusciste a pulirla in altro modo.

Saldare “come si deve”

Per imparare a eseguire ottime saldature, occorre seguire alcuni semplici passi e fare un po' di pratica. È importante ricordare che il tempo è un fattore critico quando si esegue la saldatura. Quando nelle istruzioni di saldatura leggete le parole “immediatamente” e “qualche secondo”, interpretatele in modo letterale. Ecco i passi da compiere per eseguire una saldatura.

1. Pulite le superfici metalliche da saldare.

Pulite bene con alcool i piedini, i terminali dei cavetti e i punti di saldatura sulla superficie delle schede (come vedremo più avanti in questo capitolo), in modo che lo stagno possa aderire in modo ottimale. Lasciate che le superfici si asciughino completamente, prima di saldare: l'alcool, notoriamente, è infiammabile!

2. Fissate i componenti da saldare.

Potete utilizzare una *terza mano* (come descritto nel [Capitolo 9](#)) o un supporto e un morsetto a coccodrillo per mantenere fisso un componente discreto mentre gli saldate un cavetto oppure potete

utilizzare delle pinzette per mantenere in posizione un componente sul circuito stampato.

3. Posizionate la punta del saldatore.

Impugnando il saldatore come una penna, posizionate la punta con un'angolazione di 30-45 gradi rispetto alla superficie di lavoro ([Figura 11.4](#)).

4. Applicate la punta del saldatore sugli elementi che dovete saldare (fate ancora riferimento alla [Figura 11.4](#)).



Non applicate il calore del saldatore direttamente sullo stagno. Lasciate al metallo qualche secondo per consentirgli di riscaldarsi.

5. Poggiate lo stagno, ancora freddo, sull'area metallica riscaldata.

Lo stagno si fonderà e avvolgerà, in pochi secondi, gli elementi da saldare.

6. Togliete immediatamente lo stagno e subito dopo togliete la punta del saldatore.

Quando togliete stagno e saldatore, mantenete i componenti ben fermi, finché lo stagno non si raffredderà, fissando pertanto la saldatura.



7. Ricollocate il saldatore nel suo supporto.

Non poggiate mai il saldatore sulla superficie di lavoro.



Fate attenzione a utilizzare solo la quantità corretta di stagno (ovvero applicate lo stagno solo per il tempo corretto): troppo poco e la saldatura sarà debole; troppo e la saldatura formerà dei grumi che possono provocare cortocircuiti.



Un'esposizione troppo lunga al calore, specialmente se eccessivo, può danneggiare molti componenti elettronici. Pertanto fate attenzione ad applicare la punta del saldatore solo per il tempo necessario per riscaldare il piedino di un componente, in modo da consentirne una corretta saldatura: non di più, ma neanche di meno.



Per evitare di danneggiare i componenti più sensibili alla temperatura (come i transistor), collegate un buon morsetto a coccodrillo al piedino fra il punto di saldatura e il corpo del componente. In questo modo, una parte del calore verrà assorbita dalla clip e non danneggerà il componente. Successivamente, lasciate raffreddare la clip prima di maneggiarla.

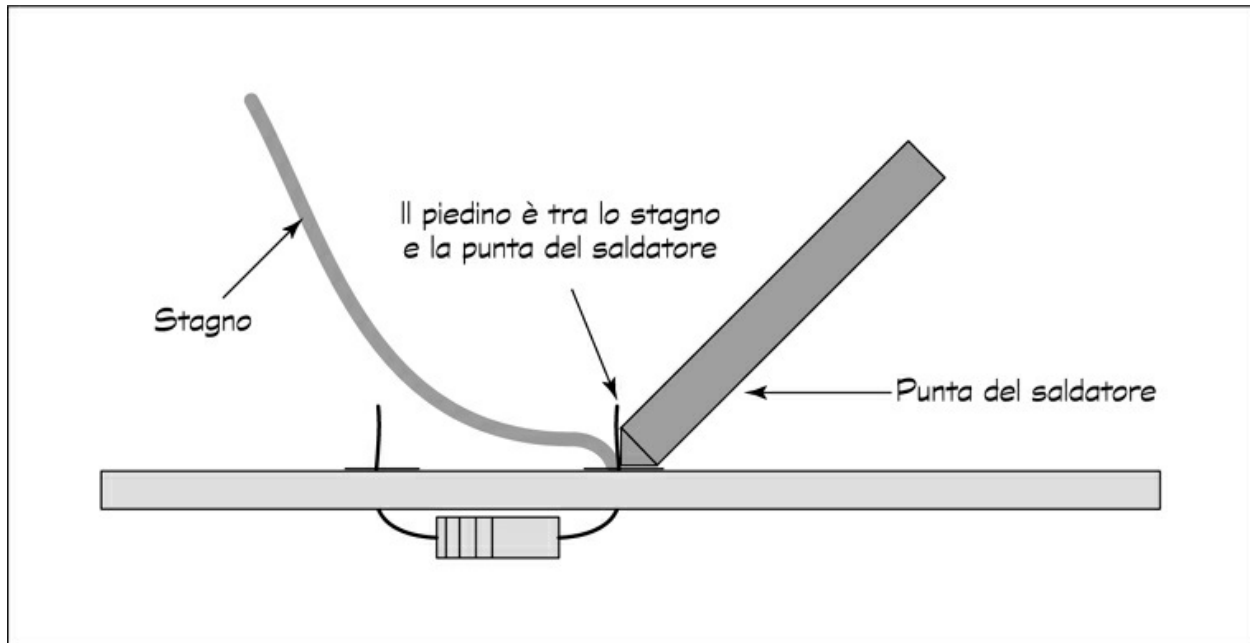


Figura 11.4 Occorre mantenere angolata la punta del saldatore, applicare la temperatura sulle parti metalliche e poi poggiare lo stagno nel punto di saldatura.

Ispezionare la saldatura

Dopo aver eseguito la saldatura, ispezionatela per assicurarvi che sia solida e conduttiva. Una volta raffreddata, la saldatura dovrà apparire piuttosto lucida, liscia e dovrebbe anche essere in grado di supportare una leggera trazione laterale. Se avete saldato un piedino su un circuito, la saldatura dovrebbe avere formato una piccola “montagnola”. Se vedete corrugazioni o punte, sapete di avere eseguito una *saldatura fredda*. Le saldature fredde sono fisicamente più deboli e non sempre conducono in modo appropriato l'elettricità.

Le saldature fredde possono formarsi se spostate il componente mentre lo stagno si sta raffreddando, se l'area saldata è sporca o unta o se non avete riscaldato a sufficienza lo stagno. Anche saldare qualcosa senza prima dissaldarla spesso produce saldature fredde, poiché la saldatura originaria non è riscaldata a sufficienza.

Se avete eseguito una saldatura fredda, è meglio eliminare completamente lo

stagno impiegato (come descritto nel prossimo paragrafo “Dissaldare è umano”): pulite le superfici con alcool e ripetete la saldatura da capo.

Dissaldare è umano

Prima o poi vi capiterà di eseguire una saldatura fredda, di accorgervi di aver invertito un componente o di aver eseguito qualche altro errore di saldatura. Per correggere gli errori, occorre eliminare lo stagno della saldatura e poi applicare nuovo stagno. A tale scopo potete utilizzare una pompetta per dissaldare (chiamata anche “succhiastagno”, di cui parleremo fra poco), una treccia di rame o entrambe le cose per eliminare lo stagno dalla saldatura.

Una *treccia di rame* è comoda per eliminare lo stagno difficile da raggiungere. Basta posizionarla sullo stagno indesiderato e applicare il calore. Quando lo stagno raggiungerà il punto di fusione, aderirà al filo della treccia di rame.

Fate attenzione quando utilizzate la treccia di rame. Toccando la fibra potreste scottarvi: il rame è un ottimo conduttore di calore.



La *pompetta per dissaldare (succhiastagno)* usa il vuoto per risucchiare lo stagno in eccesso da una saldatura. Ne esistono di due tipi.

- ✓ **Pompa a molla:** per utilizzare una pompetta a molla, basta premere il tasto e posizionare il beccuccio sulla saldatura da togliere. A questo punto posizionate attentamente la punta del saldatore sulla saldatura per riscaldare lo stagno, evitando il contatto con la punta della pompetta. Quando lo stagno inizierà a fondere, rilasciate il tasto per risucchiarlo. Al termine, potete espellere lo stagno dalla pompa (e buttarlo via) premendo il tasto una seconda volta. Ripetete queste operazioni fino ad aver rimosso tutto il vecchio stagno.



Non conservate la pompa per dissaldare con il pulsante “armato”. La guarnizione in gomma può deformarsi, riducendo la capacità di vuoto al punto che la pompa non sarà più in grado di risucchiare lo stagno.

- ✓ **Pompa a bolla:** funziona come quella a molla, tranne per il fatto che occorre premerla per creare il vuoto e rilasciarla per risucchiare lo stagno. Può essere difficile utilizzare questa pompetta, a meno di montarla direttamente sulla punta del saldatore. In realtà esiste un apposito attrezzo chiamato dissaldatore, costituito da una punta per saldatura cui è fissata stabilmente una pompetta per risucchiare lo stagno.

Raffreddamento dopo la saldatura

Prendete l’abitudine di staccare dalla corrente (non semplicemente spegnere) il saldatore quando avete terminato di usarlo. Pulite la punta, ancora calda, con la spugnetta umida, in modo da eliminare tutto lo stagno in eccesso. Una volta che il saldatore si è raffreddato, potete utilizzare l’apposita pasta di pulizia per eliminare lo sporco. Potete concludere l’operazione con alcune semplici operazioni.

- ✓ Assicuratevi che il saldatore sia completamente freddo, prima di metterlo via.
- ✓ Posizionate il rocchetto di stagno in un sacchetto di plastica, per evitare che si sporchi.
- ✓ Lavate sempre le mani quando avete terminato di saldare, poiché la maggior parte delle leghe per saldatura contiene piombo, che è velenoso.

Saldare in sicurezza

Anche se pensate di eseguire una saldatura ogni tanto, dovrete prendere tutte le precauzioni necessarie per proteggervi e per proteggere chi vi circonda. Ricordate che la punta del saldatore raggiunge temperature prossime ai 400°C e che la maggior parte delle leghe per saldatura, comunemente chiamate “stagno”, contiene piombo. Voi (un bambino, un amico o un animale) potreste essere involontariamente colpiti da una goccia di stagno che salta dalla saldatura. Basta una piccola goccia di stagno nell’occhio o anche, semplicemente, sul piede nudo, per procurare parecchio dolore.

Predisponete l’area di lavoro (e anche voi stessi) con l’obiettivo della sicurezza. Assicuratevi che il locale sia ben ventilato, che il saldatore entri senza problemi nel supporto e posizionate il cavo elettrico in modo da evitare curve e nodi. Indossate delle scarpe (non semplici ciabatte), occhiali protettivi e un bracciale antistatico quando eseguite le saldature. Evitate di portare il volto troppo vicino al punto in cui eseguite la saldatura, per evitare di irritare il sistema respiratorio e anche i potenziali schizzi di stagno. Piuttosto impiegate una lente d’ingrandimento per osservare meglio i piccoli componenti che state saldando.

Non saldate mai un circuito alimentato! Assicuratevi che la batteria o la fonte di alimentazione che utilizzate sia disconnessa prima di poggiare la punta del saldatore sui componenti. Se il saldatore è dotato di controllo della temperatura, regolatelo in modo appropriato per lo stagno che state utilizzando. E se il saldatore dovesse accidentalmente cadervi di mano, tiratevi indietro e lasciatelo cadere. In base alla nota Legge di Murphy, se tenterete di prenderlo mentre cade, lo impugnerete certamente dall’estremità rovente.

Infine, disconnettete sempre il saldatore dopo averlo usato e lavatevi bene le mani.

Creare un circuito permanente

Finalmente avete messo a punto sulla breadboard il miglior circuito del mondo e vorreste renderlo permanente. Avete alcuni modi per trasferire il circuito su qualcosa di più duraturo. Le breadboard a saldare e le basette millefori sono due soluzioni molto diffuse per creare circuiti permanenti. Potete saldare le connessioni su entrambe le superfici, ma per migliorare ulteriormente la flessibilità, potete utilizzare una tecnica chiamata *wire-wrap*. In questa parte del capitolo troverete vari metodi che potete impiegare per rendere più solido il vostro circuito.

Trasferire il circuito su una breadboard a saldare

Le *breadboard a saldare* consentono di prendere un qualsiasi progetto che avete creato su una breadboard e renderlo immediatamente permanente. Potete trasferirvi il progetto con facilità, poiché ha esattamente la stessa disposizione dei contatti di una breadboard standard.

Per trasferire il progetto, basta togliere i componenti dalla breadboard standard, inserirli nella breadboard a saldare e... saldarli. Utilizzate dei cavetti esattamente nello stesso modo in cui l'avete fatto sulla breadboard standard per connettere i componenti che non sono già connessi dai contatti metallici presenti nella breadboard stessa.

Creare circuiti con circuiti integrati “plug-and-play”

Quando realizzate circuiti che comprendono circuiti integrati, invece di saldare il circuito integrato direttamente sulla scheda, utilizzate uno zoccolino. In tal modo potrete saldare lo zoccolino sulla scheda e, dopo aver eseguito tutte le saldature, potrete inserirvi il circuito integrato e dare corrente.

Esistono zoccolini per circuiti integrati di tutte le forme e dimensioni. Per esempio, se il vostro circuito integrato ha 16 pin, utilizzate uno zoccolino con lo stesso numero di pin.

Ecco alcuni buoni motivi per utilizzare gli zoccolini.

- ✓ **La saldatura di un circuito può generare elettricità statica.** Saldando lo zoccolino, invece del circuito integrato vero e proprio, potete evitare di rovinare un CMOS o un altro circuito integrato sensibile all'elettricità statica.
- ✓ **I circuiti integrati sono spesso fra i primi componenti a guastarsi quando si sperimenta con l'elettronica.** Avere la possibilità di togliere un chip probabilmente malfunzionante per poterlo sostituire con uno nuovo semplifica notevolmente la soluzione dei problemi.
- ✓ **Potete impiegare un circuito integrato costoso, per esempio un microcontroller, su più circuiti.** Vi basterà estrarlo da uno zoccolino e inserirlo nello zoccolino di un altro circuito.

Esistono zoccolini di tutte le dimensioni per adattarsi alla disposizione dei pin dei vari circuiti integrati. Fra l'altro sono componenti molto economici.



Se progettate un circuito davvero molto piccolo, potete utilizzare solo metà della breadboard. Prima di trasferire i componenti, tagliate la breadboard a saldare con un seghetto. Indossate anche una mascherina per evitare di respirare la polvere prodotta dall'operazione di taglio. Pulite per bene la porzione di schede che intendete utilizzare per il progetto e procedete con la saldatura.

Lasciate un po' di spazio agli angoli della scheda in modo da poter praticare i fori di montaggio. Questi fori saranno necessari per fissare la scheda all'interno del contenitore che sceglierete per il progetto (per esempio la struttura di un robot). Alternativamente, potete fissare la scheda al contenitore utilizzando un nastro biadesivo spesso. Il nastro crea una sorta di effetto di

“ammortizzamento” che protegge la scheda e lo spessore del nastro stesso impedisce che la parte posteriore della scheda possa toccare lo chassis.

Le breadboard a saldare hanno un grosso svantaggio: non usano lo spazio in modo molto efficiente. A meno di disporre i componenti uno in fianco all'altro sulla scheda, le breadboard limitano i circuiti all'impiego di solo tre o quattro circuiti integrati e una manciata di componenti discreti. Col tempo, dopo alcune prove (e gli inevitabili errori), scoprirete come risparmiare spazio su una scheda.

Realizzare prototipi su basette millefori

Un altro tipo di schede di utilizzo generale per i circuiti è costituito dalle basette millefori. Queste schede vengono fornite in una grande varietà di forme e dimensioni, alcune delle quali sono rappresentate nella [Figura 11.5](#). Alcune sono semplici, ma la maggior parte di loro contiene tracce e aree di rame per realizzare cablaggi e saldature. Tutte le schede sono realizzate per poter installare circuiti integrati e altri componenti elettronici comuni, ovvero tutti i fori sono distanziati di un decimo di pollice.

Potete scegliere lo stile della scheda sulla base del tipo di circuito che dovete realizzare. Alcune schede sono più adatte a determinate applicazioni. Personalmente, preferiamo impiegare le basette a piazzole connesse, a *bus*, che ci sembrano più facili usare. In tal modo si collegano i componenti sfruttando i tre o più punti di contatto disponibili.

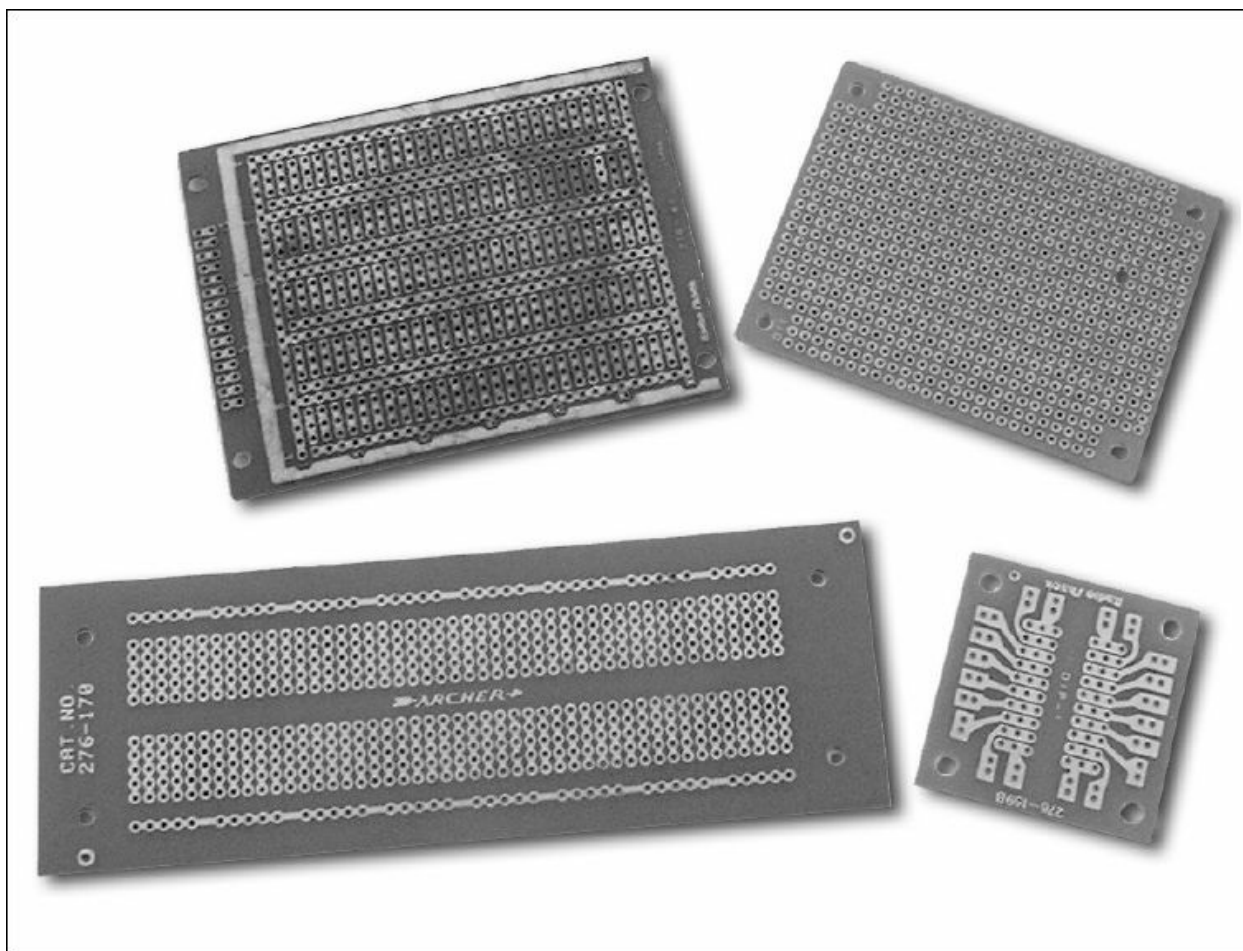


Figura 11.5 Alcuni esempi di schede e basette millefori, pronte per ospitare i componenti elettronici saldati.



Un bus attraversa l'intera scheda del circuito in modo da facilitare la connessione dei componenti. Molte schede perforate hanno almeno due bus, uno per l'alimentazione e uno per la massa. I bus corrono lungo tutto il bordo della scheda, come si può vedere nella [Figura 11.6](#). Questa configurazione è perfetta per i circuiti che impiegano molti circuiti integrati. Il fatto di alternare i bus per l'alimentazione e la massa aiuta inoltre a ridurre gli indesiderabili effetti induttivi e capacitivi.

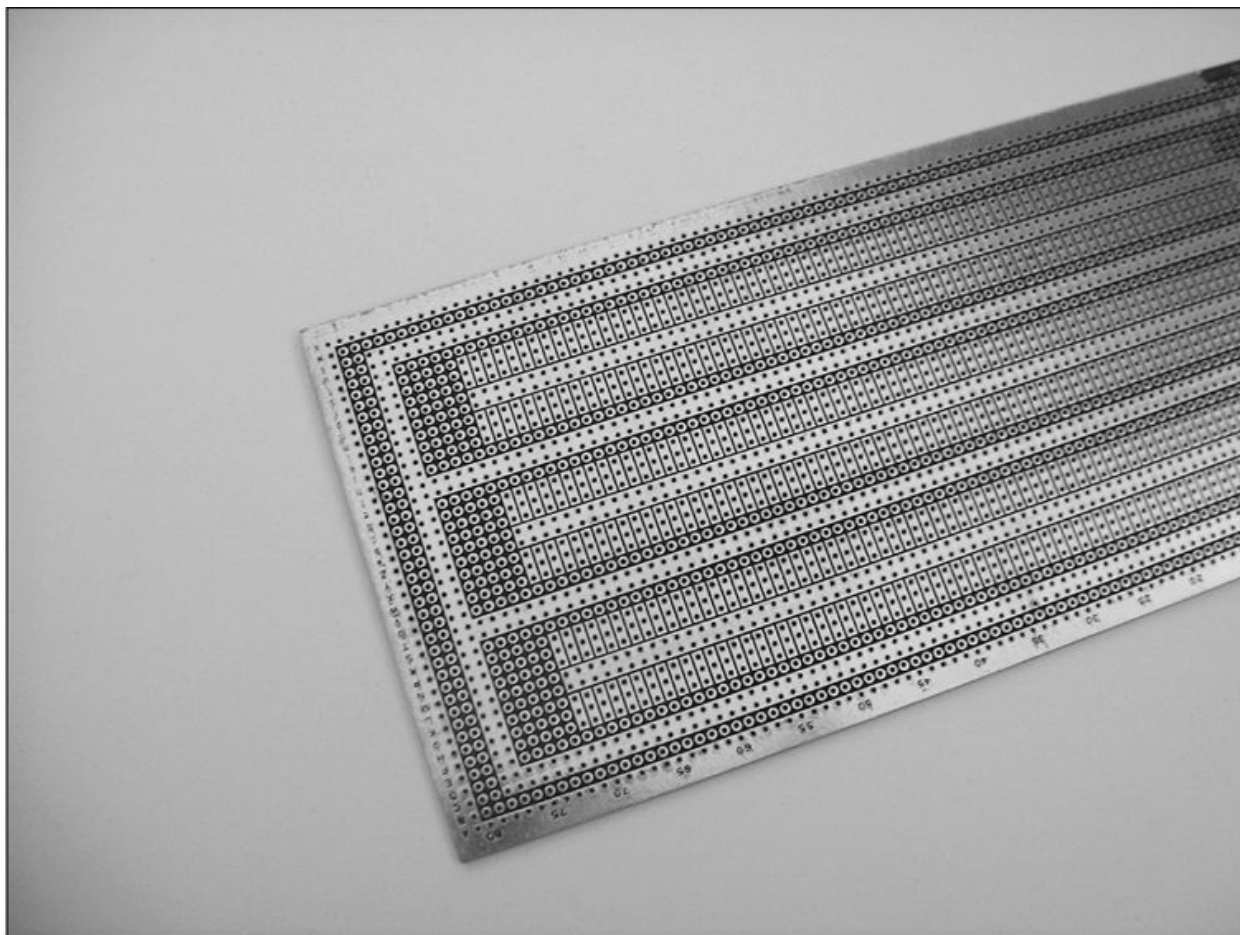


Figura 11.6 I vari bus che collegano i contatti di una scheda perforata.

Per realizzare circuiti utilizzando le basette millefori più semplici, che non hanno aree e tracce di rame per i contatti, potete utilizzare il metodo del wire-wrapping (trattato di seguito). La maggior parte delle basette millefori contiene però delle aree e delle tracce, in modo che possiate saldare i componenti direttamente su di esse o utilizzare il wire-wrapping. Potete utilizzare queste schede esattamente come usereste delle breadboard a saldare. Dopo aver pulito le schede in modo che le aree in rame e le tracce siano lucide, ponete i componenti sulla scheda e saldateli in posizione. Utilizzate del cavetto isolato per connettere i componenti che non possono essere collocati adiacenti gli uni agli altri.

La tecnica del wire-wrap

Wire-wrap è un sistema di cablaggio punto a punto che utilizza un particolare strumento e un cavetto particolarmente sottile. Una volta che avrete realizzato circuiti con questa tecnica, saranno solidi come circuiti stampati. Inoltre avrete il vantaggio di poter eseguire modifiche e correzioni senza dover dissaldare e risaldare nulla.



Dovete limitare la tecnica del wire-wrap ai progetti che utilizzano bassa tensione in corrente continua. Non è un sistema adatto a circuiti che utilizzano molta corrente, poiché il cavetto utilizzato non ha lo spessore sufficiente per trasportare elevata corrente.

Ecco cosa è necessario impiegare

- ✓ **Basetta millefori:** si collegano i componenti a questa scheda. Potete utilizzare una scheda comune (senza rame) o una scheda dotata di aree per la saldatura. È preferibile utilizzarne una del secondo tipo.
- ✓ **Zoccolini wire-wrap per i circuiti integrati e gli altri componenti:** questi zoccolini hanno dei piedini metallici piuttosto lunghi. Si devono avvolgere i fili attorno a questi piedini.
- ✓ **Connettori:** per la connessione dei componenti.
- ✓ **Cavetto:** il cavetto si può trovare già pretagliato o in piccole matasse. È preferibile utilizzare cavetto pretagliato, ma decidete voi cosa preferite.
- ✓ **Strumento per wire-wrap:** potete utilizzare questo specifico strumento per avvolgere la fascetta attorno a un piedino e poi toglierla. Lo strumento include anche un elemento di isolamento; utilizzate lo strumento specifico e non uno generico, per eliminare l'isolamento.



Anche se potete applicare le fascette direttamente sui piedini di resistenze, condensatori, diodi e altri componenti, molti preferiscono utilizzare appositi zoccolini. Il motivo è che la maggior parte di questi componenti è dotata di piedini rotondi. Uno zoccolino wire-wrap ha piedini quadrati. La forma quadrata aiuta moltissimo a rendere più stabile il circuito. Se connettete direttamente i piedini dei componenti, è meglio aggiungere una piccola goccia di stagno, per mantenere il filo in posizione.

Il wire-wrap è semplice. Basta inserire tutti gli zoccolini nella scheda perforata, utilizzare lo strumento wire-wrap per connettere fra loro gli zoccolini e poi collocare i circuiti integrati e gli altri componenti nei rispettivi zoccolini. Se la scheda perforata ha delle aree da saldare, è opportuno dare un po' di stagno qua e là per evitare che gli zoccolini si spostino.



Un grande vantaggio del wire-wrap rispetto alla saldatura è che potete eseguire modifiche con relativa facilità. Basta svolgere il cavetto e applicarlo in un altro punto. Se il cavetto si consuma, basta sostituirlo con un altro.



Quella del wire-wrap è un'ottima tecnica. Se vi ispira, eseguite una ricerca in Internet con le seguenti parole: *wire-wrap tecnica elettronica*. Ci sono anche numerosi siti web che insegnano a diventare esperti di wire-wrap, come: <http://www.ee.ryerson.ca:8080/~jkoch/prototype/Proto.htm>.

Creare un circuito stampato personalizzato

Una volta diventati esperti della progettazione e realizzazione di progetti elettronici, potete anche dedicarvi alla creazione di un vostro circuito stampato, realizzato appositamente per un determinato circuito. Potete infatti crearvi un vostro *circuito stampato*, una superficie che supporti il circuito e comprenda tutte le interconnessioni fra i componenti, esattamente come quelli dei produttori di apparecchi elettronici. I circuiti stampati sono affidabili, solidi, consentono la realizzazione di circuiti ad alta densità e permettono di includere componenti di dimensioni non standard, che potrebbero non rientrare in altri tipi di schede.

Creare la scheda del circuito stampato è un processo piuttosto complicato, che non rientra negli scopi di questo libro. Ecco, comunque, i principali passi da svolgere.

1. Create una scheda vuota incollando o laminando un sottile strato di rame chiamato *cladding* su una basetta di plastica o materiale epossidico o fenolico. Questa forma una sorta di “struttura di base” per la creazione del circuito.
2. Preparate una maschera del layout del circuito, trasferitela su una pellicola trasparente e utilizzatela per esporre un foglio di rame sensibilizzato a un’intensa luce ultravioletta.
3. Immergete il foglio sensibile, esposto, in uno sviluppatore chimico, che produce uno schema (chiamato *resist pattern*) del layout del circuito stampato.
4. Create il layout del circuito rimuovendo le porzioni del rame non protette (lasciando solo la struttura del circuito stampato, costituita da aree (punti di contatto per i componenti) e tracce (interconnessioni).
5. Praticate dei fori al centro di ogni area, in modo da poter installare i componenti sulla scheda stampata, che sarà attraversata dai piedini dei componenti.
6. Infine, saldate i componenti alle aree di rame del circuito stampato.

In Internet troverete molte indicazioni e suggerimenti per la creazione di un

circuito stampato e perfino video che spiegano in dettaglio l'intero processo.

Capitolo 12

Misurazione e analisi dei circuiti

In questo capitolo

Un nuovo grande amico: il multimetro.

Utilizzare un multimetro per ogni genere di misura.

Configurazione e calibrazione del multimetro.

Assicurarsi che i componenti elettronici funzionino correttamente.

Sondare i circuiti.

Identificare la causa dei problemi dei circuiti.

Avete quasi terminato di realizzare un circuito e non vedete l'ora di capire se funziona. Sempre in compagnia di una persona fidata, siete ansiosi di vedere all'opera i frutti delle vostre nuove conoscenze nel campo dell'elettronica, trattenete il fiato, date alimentazione e...

Nulla. Almeno, inizialmente. Poi disappunto, disillusioni e incredulità mentre i vostri amici (e anche la vostra autostima) lasciano mestamente il campo.

Che cosa può essere andato storto? Poi vi accorgete di una cosa: una piccola spirale di fumo che sale da quella che un tempo era una resistenza. Solo ora vi rendete conto di aver utilizzato una resistenza da 10 Ω al posto di una da 10 k Ω : avete commesso un "lieve" errore nell'interpretare il codice e le strisce colorate. Oops!

In questo capitolo impareremo a utilizzare uno strumento estremamente

versatile: il multimetro (o tester). Consente di svolgere importanti controlli sui circuiti e i componenti elettronici. Questi test aiutano a determinare se tutto è a posto prima di mostrare fiduciosi il circuito ad amici e parenti. Entro il termine di questo capitolo vi renderete conto che un multimetro è importante quanto la bombola d'ossigeno per un subacqueo: potete anche farne a meno per un po', ma prima o poi, dovrete assolutamente procurarvene uno.

Uno strumento dalle mille personalità

Poiché non potete vedere a occhio nudo gli elettroni che vagano per il circuito (e sicuramente non volete “toccare” il circuito a mani nude), avrete bisogno dell'aiuto di uno strumento di test molto versatile, chiamato multimetro o, volgarmente, tester.

Un *multimetro* è un economico apparecchio portatile in grado di misurare la tensione, la corrente e la resistenza. Alcuni multimetri possono anche controllare il funzionamento di diodi, condensatori e transistor. Con uno di questi strumenti, potete verificare la correttezza delle tensioni, trovare un corto circuito, determinare se vi è un'interruzione in un cavo o in una connessione e molto altro ancora. Fatevelo amico, poiché il multimetro vi aiuterà ad assicurarvi che i vostri circuiti funzionino correttamente ed è uno strumento insostituibile per individuare i problemi dei circuiti.

La [Figura 12.1](#) mostra il tipico aspetto di un multimetro. Dovete ruotare una manopola per selezionare (a) il tipo di misura da eseguire e (b) un intervallo di valori per le misurazioni. A questo punto applicate i puntali metallici (uno rosso e uno nero) ai piedini di un componente o a qualsiasi altra parte di un circuito e il display mostrerà la relativa misurazione.



Figura 12.1 I multimetri misurano la tensione, la resistenza, la corrente e la continuità.



I puntali di un multimetro hanno punte coniche che dovrete tenere a contatto del componente che state sottoponendo a test. Potete anche acquistare particolari clip che si infilano sui puntali e facilitano la connessione ai piedini o ai cavetti. Queste clip isolate garantiscono una buona connettività fra i puntali e l'oggetto sottoposto a test, evitando anche contatti accidentali con altre parti del circuito.

È un voltmetro!

I multimetri possono misurare tensioni in corrente alternata e continua. Offrono un'ampia varietà di intervalli di misurazione della tensione, da 0 V a una specifica tensione massima. Un tipico insieme di intervalli di corrente continua sono 0–0,25 V, 0–2,5 V, 0–10 V, 0–50 V e 0–250 V. Potete utilizzare il multimetro come un *voltmetro* per misurare la tensione di una batteria isolata dal circuito o anche *sotto carico* (ovvero mentre sta alimentando un circuito). Potete anche utilizzarlo con il vostro circuito alimentato, se volete collaudare le cadute di tensione negli elementi del circuito e le tensioni in vari punti del circuito rispetto alla massa.



I voltmetri sono così importanti in elettronica che hanno un proprio simbolo circuitale, rappresentato a lato. Potete trovare questo simbolo, con le punte che toccano determinati punti del circuito, sia nelle pagine web sia nei libri di elettronica. Indicano i punti in cui occorre rilevare specifici livelli di tensione.

Il multimetro può aiutare a individuare un problema nel circuito. Può verificare se un componente, per esempio un LED (Light-Emitting Diode) o un interruttore, è raggiunto dal livello di tensione appropriato. Potete utilizzare il multimetro per restringere il campo dei “sospetti”, fino a trovare il “colpevole” che provoca il malfunzionamento del circuito.

È anche un amperometro!

Il multimetro funziona anche da *amperometro*, uno strumento che misura la corrente che attraversa un circuito. Potete utilizzare questa funzione del multimetro per determinare se un circuito o componente consuma troppa corrente. Se il circuito sta trasportando più corrente del previsto, i componenti potrebbero surriscaldarsi e danneggiare permanentemente se stessi o il circuito.



A lato è rappresentato il simbolo circuitale di un amperometro.

È perfino un ohmetro!

Potete misurare la resistenza di un singolo componente o di un intero circuito (misurata in ohm, come trattato nel [Capitolo 3](#)) con un multimetro impostato per funzionare come un *ohmetro*. Potete utilizzare questa funzione per controllare cavetti, resistenze, motori e molti altri componenti. La resistenza deve essere sempre misurata quando il circuito *non è alimentato*. Quando invece il circuito è alimentato, la corrente che attraversa il circuito altererebbe i valori o, addirittura, potrebbe danneggiare il multimetro.



A lato è rappresentato il simbolo circuitale di un ohmetro.



Se dovete misurare la resistenza di un singolo componente, toglietelo dal circuito prima di sottoporlo a test. Se eseguite il test su una resistenza già collocata nel circuito, otterrete sicuramente la resistenza equivalente fra i due punti di misura, ma non necessariamente la resistenza prodotta unicamente dal componente (per ulteriori informazioni sulla resistenza equivalente, consultate il [Capitolo 3](#)).

Poiché la resistenza (o, ovviamente, la mancanza di resistenza), possono rivelare la presenza di corto circuiti e circuiti aperti, potete utilizzare l'ohmetro per individuare problemi come interruzioni nei cavetti o corto circuiti nascosti fra i componenti. Un corto circuito genera sull'ohmetro una lettura pari a 0 (o quasi) in termini di resistenza. Un circuito aperto genera invece una lettura di resistenza infinita. Se sottoponete a test la resistenza da un'estremità di un cavetto all'altra estremità e ottenete una lettura infinita, sapete che vi è un'interruzione da qualche parte lungo il percorso del cavetto. Tali test sono chiamati anche *test di continuità*.

Misurando la resistenza, potete scoprire se i seguenti elementi del circuito e le relative connessioni stanno funzionando correttamente.

- ✓ **Fusibili:** un fusibile bruciato genera una resistenza infinita, in quanto il circuito è aperto.
- ✓ **Interruttori:** un interruttore “On” dovrebbe generare una resistenza pari a 0 (o molto bassa); un interruttore “Off” dovrebbe generare una resistenza infinita.
- ✓ **Piste del circuito stampato:** una traccia in rame danneggiata sul circuito stampato si comporta come un cavetto rotto e genera una resistenza infinita.
- ✓ **Saldature:** una saldatura mal fatta può generare una resistenza infinita.



Molti multimetri comprendono un test di continuità acustico. Portando la manopola dello strumento nella posizione appropriata, potete udire un segnale acustico ogni volta che lo strumento rileva la continuità in un cavo o in una connessione. Quindi se il cavo o la connessione non hanno alcuna continuità, lo strumento rimarrà muto. Il tono acustico offre un modo comodo per controllare l'intero circuito senza neppure osservare il display dello strumento.

Vari tipi di multimetri

I multimetri vanno dai modelli portatili più semplici, che possono costare anche solo una decina di euro, ai modelli per hobbisti che hanno prezzi variabili fra il 50 e i 100 euro, fino ai modelli professionali che possono arrivare a costare alcune migliaia di euro. Ma anche un multimetro di fascia bassa può essere di grande aiuto per comprendere ciò che accade in un circuito a bassa tensione. Tuttavia, se non siete proprio “al verde”, è il caso di

spendere qualcosa di più per un multimetro che offra più funzionalità e che sarà utile, anche più avanti, per espandere i vostri orizzonti elettronici.

Una scelta di stile: analogico o digitale?

Al giorno d'oggi, la maggior parte dei multimetri, compreso quello rappresentato nella [Figura 12.1](#), è di tipo digitale: visualizzano valori numerici su un display. Potete però trovare ancora alcuni *multimetri analogici* “vecchio stile” che usano un ago che punta su un insieme di scale graduate. Vedete rappresentato un multimetro analogico nella [Figura 12.2](#).

Un multimetro analogico può essere un po' più complesso da utilizzare. Dopo aver scelto il tipo di misurazione (tensione, corrente o resistenza) e la gamma dei valori, dovete correlare i risultati utilizzando la scala appropriata sullo strumento, che stima la lettura quando l'ago entra in azione. Con uno strumento analogico è molto facile commettere errori di lettura, per la scelta di una scala errata o anche per semplici errori aritmetici, per conti fatti a mente con una cattiva visibilità del punto esatto in cui sta puntando l'ago. Oltre a questo, le misurazioni di resistenza sono piuttosto imprecise, in quanto la scala di misurazione, a valori elevati di resistenza, è molto compressa.



Figura 12.2 Un multimetro analogico usa un ago per indicare la tensione, la corrente e altri valori.

I multimetri digitali mostrano ogni risultato di misurazione come un numero esatto. Questo elimina ogni dubbio nel processo di lettura. La maggior parte dei multimetri digitali portatili vanta una precisione dello 0,8% per le tensioni in corrente continua; i modelli più costosi vantano una precisione addirittura cinquanta volte superiore. Molti multimetri digitali offrono anche una funzionalità di *auto-scala*: lo strumento si adatta automaticamente al valore misurato, offrendo il risultato più preciso possibile. Alcuni poi sono dotati di

particolari funzionalità per la misurazione di diodi, condensatori e transistor.



I multimetri analogici, in realtà, sono molto migliori dei multimetri digitali nel rilevamento delle letture *variabili*, ma se non avete questo tipo di esigenza, fareste meglio a procurarvi un multimetro digitale, che è più facile da leggere e offre letture più precise.

Un multimetro digitale visto da vicino

Tutti i multimetri digitali svolgono le classiche misurazioni di tensione, resistenza e corrente. La differenza sta nella gamma di valori che sono in grado di misurare, nelle misurazioni aggiuntive che possono svolgere, nella risoluzione e nella sensibilità delle misure: questi sono gli “optional” dei multimetri.



Date almeno un'occhiata al manuale del multimetro che avete acquistato. Contiene la descrizione delle funzionalità e delle specifiche dello strumento e anche importanti precauzioni riguardanti la sicurezza.

Ecco cosa troverete esplorando un multimetro digitale.

- ✓ **Interruttore/batteria/fusibile:** l'interruttore connette e disconnette la batteria che alimenta lo strumento. Molti multimetri usano batterie di tipo standard, per esempio batterie da 9 V o stilo, mentre gli strumenti più piccoli utilizzano batterie a bottone (evitate di utilizzare batterie ricaricabili in un multimetro, in quanto nei modelli economici possono produrre letture errate). La maggior parte dei multimetri utilizza un flessibile interno che lo protegge contro i

livelli eccessivi di corrente o di tensione; alcuni sono dotati di un fusibile di ricambio (in caso contrario, acquistatene uno).

✓ **Selettore della funzione:** ruotate questa manopola per scegliere la misurazione da eseguire (tensione, corrente, resistenza e quant'altro) e, in alcuni modelli, la gamma della misurazione. Alcuni multimetri sono più... "multi" di altri e includono una o più delle seguenti categorie: ampere in corrente alternata, capacità, guadagno dei transistor (h_{FE}) e test dei diodi. Molti multimetri dividono ulteriormente le categorie di misurazione in tre o anche sei intervalli differenti; più piccolo è l'intervallo, maggiore sarà la sensibilità della lettura. La [Figura 12.3](#) mostra un ingrandimento della manopola per la scelta della funzione di un multimetro.

✓ **Puntali di test e contatti:** i multimetri più economici sono dotati di puntali di test altrettanto economici, ma potete acquistare puntali di qualità superiore con cavetti che possono allungarsi a piacere e poi ricompattarsi quando non sono in uso. Potete anche acquistare delle clip che rimangono in posizione e sono ben isolate, per evitare che la punta metallica entri in contatto con altri componenti del circuito. Alcuni multimetri con puntali rimovibili forniscono più di due connettori. Dovete inserire il puntale nero nel connettore GROUND o COM, mentre il puntale rosso può essere inserito in vari contatti a seconda della funzione e della gamma che vi interessa. La maggior parte degli strumenti fornisce dei contatti appositi per la misurazione dei condensatori e dei transistor, come si può vedere nell'angolo superiore destro della [Figura 12.3](#). Per informazioni consultate il manuale dello strumento.

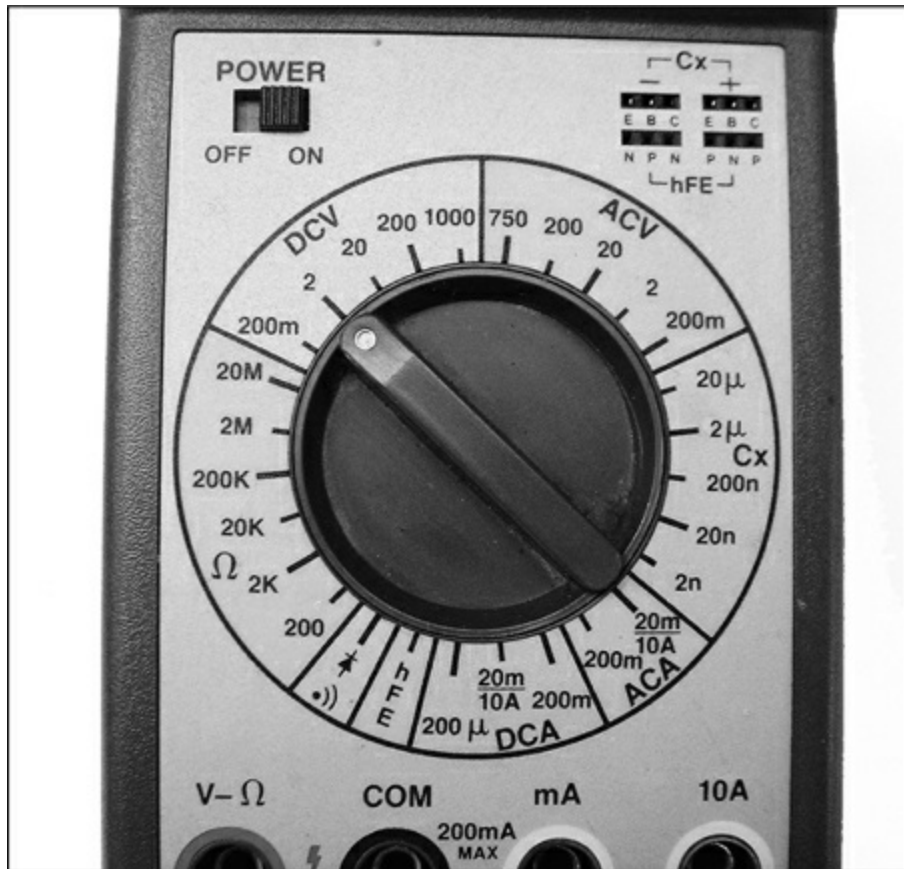


Figura 12.3 I multimetri digitali offrono un'ampia gamma di opzioni di misurazione.

✓ **Display digitale:** la lettura viene fornita nelle unità specificate dall'intervallo impostato. Per esempio, una lettura 15,2 significa 15,2 V se siete nella gamma dei 20 V o 15,2 millivolt (mV) se avete impostato la gamma dei 200 mV. La maggior parte dei multimetri digitali per uso hobbistico offre un display da tre cifre e mezza: vengono indicate tre o quattro cifre, dove quelle più a destra possono indicare valori compresi fra 0 e 9, mentre quella a sinistra può mostrare solo i valori 0 o 1. Per esempio, se impostato sulla gamma dei 200 V, un multimetro di questo tipo può fornire letture che vanno da 0,0 V a 199,9 V.

Scegliere l'intervallo

Molti multimetri digitali (e anche la maggior parte di multimetri analogici) richiedono la scelta dell'intervallo, che consente allo strumento di fornire una lettura precisa. Per esempio, se state misurando la tensione di una batteria da 9 V, dovrete impostare l'intervallo più vicino ai 9 V, senza scendere sotto. Per la maggior parte degli strumenti, occorrerà pertanto scegliere un intervallo da 20 o 50 V.

Se scegliete un intervallo troppo ampio, la lettura non potrà essere precisa. Per esempio, se impostate l'intervallo dei 20 V, la lettura relativa alla vostra batteria da 9 V potrà anche fornire l'indicazione 8,27 V, mentre se impostate 200 V, la stessa batteria produrrà una lettura meno precisa, di 8,3 V. Spesso, nelle letture, occorre poter accedere alla massima precisione possibile.

Se invece scegliete un intervallo troppo piccolo, un multimetro digitale mostrerà in genere un'indicazione lampeggiante (1 o OL), mentre l'ago di uno strumento analogico schizzerà fuori scala, danneggiando potenzialmente il meccanismo di precisione; pertanto iniziate con un intervallo più grande e poi scendete, se necessario. Se vedete l'indicazione del *fuori scala* (over range) mentre controllate la continuità, significa che la resistenza è così elevata che lo strumento non è in grado di registrarla; potete pertanto trarre la conseguenza che state misurando un circuito aperto.

La funzionalità di auto-scala presente in molti multimetri digitali semplifica molto la misurazione, offrendo una lettura precisa. Per esempio, se volete misurare la tensione, impostate lo strumento sui volt (in corrente continua, DC, o in corrente alternata, AC) ed eseguite la misurazione. Lo strumento, a questo punto, sceglierà automaticamente l'intervallo che produce la lettura più precisa. Se vedete lampeggiare l'indicatore di fuori scala (per esempio un 1 o un OL lampeggianti), questo significa che il valore è troppo elevato per poter essere misurato con questo strumento. Gli strumenti dotati di impostazioni automatiche di scala non richiedono l'impostazione manuale della scala e ciò semplifica moltissimo il loro uso.



Vi sono dei limiti all'intervallo massimo che lo strumento può misurare. La maggior parte dei multimetri per hobbisti opera più o meno allo stesso livello massimo di tensione, corrente e resistenza. Per l'elettronica hobbistica, potrete procurarvi uno strumento con i seguenti valori massimi.

Tensione in corrente continua: 1.000 V

Tensione in corrente alternata: 500 V

Corrente continua: 200 mA (milliampere)

Resistenza: 2 M Ω (due megohm, 2 milioni di ohm)

Impostazione del multimetro

Prima di mettervi a provare i circuiti, dovete assicurarvi che lo strumento stia funzionando correttamente. Ogni suo malfunzionamento produrrà, infatti, risultati errati e potrete perdere un sacco di tempo a chiedervi il perché. Ecco come eseguire il test del multimetro.

1. Assicuratevi che i puntali di test siano puliti.

Punte sporche o rovinate possono provocare risultati imprecisi. Utilizzate un pulitore per contatti elettrici per pulire entrambe le estremità dei puntali e, se necessario, i connettori sullo strumento.

Come misurare correnti più elevate

La maggior parte dei multimetri digitali limita la misurazione delle correnti a meno di un ampere. Un tipico multimetro digitale ha un intervallo massimo di 200 milliampere. Cercando di misurare correnti molto più elevate rischiate di bruciare il fusibile dello strumento. Molti strumenti analogici, specialmente quelli più vecchi, consentono, al massimo, di leggere correnti di 5 o anche 10 ampere.

Potete trovare comodi gli strumenti analogici in grado di tollerare un ingresso a elevato amperaggio se state provando dei motori di circuiti che assorbono una grande quantità di corrente. Se però avete solo uno strumento digitale con un ingresso limitato in termini di milliampere, potete comunque misurare indirettamente correnti più elevate utilizzando una resistenza di bassa resistenza ed elevata tensione. Per farlo, dovete inserire una resistenza da 1 ohm, 10 watt in serie con il circuito, in modo che la corrente da misurare debba passare attraverso tale resistenza di test. Poi potete utilizzare un multimetro come un voltmetro, misurando la caduta di tensione attraverso la resistenza da 1 ohm. Infine, potete applicare la Legge di Ohm per calcolare la corrente nel seguente modo:

$$\text{corrente} = V/R = V/1 \Omega$$

Poiché il valore nominale della resistenza è 1 ohm, la corrente (in ampere) attraverso la resistenza ha più o meno lo stesso valore della tensione (in volt) misurata attraverso la resistenza. Notate che il valore della resistenza non sarà mai esattamente 1 ohm, dunque la vostra lettura potrà avere un errore del 5 o 10%, a seconda della tolleranza della resistenza impiegata e della precisione dello strumento. Per ripassare la Legge di Ohm, consultate il [Capitolo 3](#).

2. Attivare lo strumento e impostare la misurazione degli ohm (Ω).

Se lo strumento non è dotato di gamma automatica, impostate su valori bassi di ohm.

3. Connettete entrambi i puntali ai connettori corretti dello strumento e poi mettete a contatto le due estremità ([Figura 12.4](#)).

Evitate di toccare le estremità delle punte con le dita mentre eseguite questo test. La resistenza naturale del corpo può alterare la precisione della misurazione.

4. Lo strumento dovrebbe indicare il valore di 0 (zero) ohm o un valore molto basso.

Se lo strumento non offre una funzionalità di zero automatico, premete il tasto *Adjust* (o *Zero Adjust*). Sugli strumenti analogici, dovrete ruotare la manopola *Zero Adjust* finché l'ago non mostrerà esattamente l'indicazione 0 (zero). Mantenete a contatto i puntali e attendete un paio di secondi che lo strumento si fissi correttamente sullo zero.

5. Se non ottenete alcuna risposta dallo strumento quando mettete in contatto i puntali, ricontrollate il posizionamento della manopola.

Non accade nulla se avete impostato lo strumento in modo da registrare la tensione o la corrente. Se siete sicuri di aver impostato correttamente lo strumento, ma questo continua a non rispondere, magari sono i puntali a essere rotti. Se necessario, riparateli o sostituiteli.

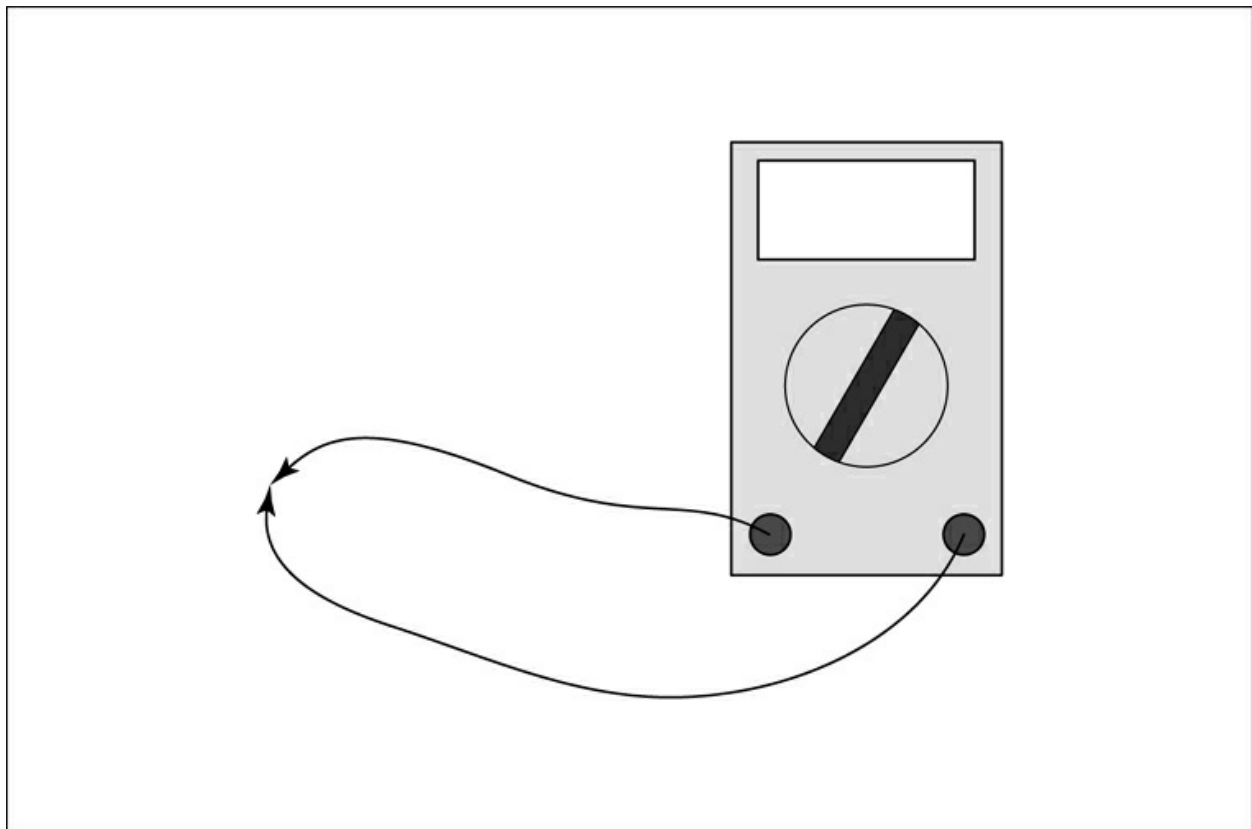


Figura 12.4 Toccate la punta dei due contatti e verificate che lo strumento mostri l'indicazione 0 ohm.

Potete considerare *calibrato* lo strumento se indica 0 ohm con i puntali messi in corto (uniti in modo che si tocchino). Eseguite questo test ogni volta che utilizzate lo strumento, specialmente se spegnete lo strumento fra un test e il successivo.



Se lo strumento ha una funzione di continuità, non utilizzatela per calibrare lo strumento. Il segnale acustico potrebbe essere emesso anche quando lo strumento legge una resistenza bassissima e quindi non rappresenta, da solo, un indicatore affidabile. Ricaricate lo strumento utilizzando l'impostazione ohm e non l'impostazione di continuità, in modo da garantirne il corretto funzionamento.

Utilizzare un multimetro

Nell'utilizzo di un multimetro per controllare o analizzare i circuiti, occorre considerare quali valori impostare, il fatto che dobbiate verificare un componente isolato oppure l'intero circuito in cui è installato, il fatto che il circuito debba essere alimentato o meno e come collocare i puntali (in serie o in parallelo con quanto state misurando).



Immaginate che il multimetro sia un componente elettronico nel circuito (in realtà, è proprio questo). Se volete misurare la tensione, lo strumento deve essere posizionato *in parallelo* con la sezione del circuito che state misurando, poiché le tensioni attraverso rami paralleli di un circuito sono le stesse. Se volete misurare la corrente, lo strumento dovrà essere posizionato in serie con la sezione di circuito che state misurando, poiché i componenti di un circuito in serie trasportano la stessa corrente (si è parlato di connessioni in serie o in parallelo nel [Capitolo 2](#)).

Nei prossimi paragrafi vedremo come misurare la tensione, la corrente e la resistenza utilizzando un multimetro.

Misurazione della tensione

Per impiegare il multimetro come un *voltmetro*, ovvero per esaminare i differenziali di tensione fra un punto del circuito e la massa, il circuito deve necessariamente essere alimentato. Potete controllare la tensione praticamente in tutti i punti di un circuito, e non solo nel punto di connessione della batteria. Ecco come controllare le tensioni.

- 1. Impostate il multimetro come descritto nel paragrafo precedente, “Impostazione del multimetro”.**
- 2. Scegliete il tipo di tensione: AC (corrente alternata) o DC (corrente continua).**
- 3. Scegliete l’intervallo che vi offre la migliore sensibilità.**
- 4. Collegate il puntale nero del multimetro alla connessione a massa del circuito.**
- 5. Connettete il puntale rosso del multimetro al punto del circuito che intendete misurare.**

Questo mette il multimetro in parallelo con il differenziale di tensione che intendete misurare.

La [Figura 12.5](#) mostra un esempio d’uso di un multimetro per misurare la tensione in un paio di punti di un semplice circuito astabile 555 (descritto nel [Capitolo 7](#)), il quale produce una serie di impulsi di tensione che si alternano automaticamente fra il livello basso (0 V) e quello elevato (la tensione di alimentazione positiva). Il multimetro è impostato su corrente continua con un intervallo 0-20 V. Nell’immagine superiore, il multimetro misura la tensione che alimenta l’intero circuito e dunque il multimetro legge 9 V. Nell’immagine inferiore, lo strumento misura la tensione all’uscita del circuito integrato timer 555. L’uscita del circuito integrato si alterna fra i

livelli alto e basso, e la lettura dello strumento si alterna fra 0 V e 9 V (la tensione di alimentazione positiva).



A seconda della resistenza e dei condensatori impiegati nel circuito del timer 555 rappresentato nella [Figura 12.5](#), l'uscita può cambiare così rapidamente che il multimetro potrebbe non essere in grado di indicare i cambiamenti di tensione (il funzionamento del circuito è spiegato nel [Capitolo 7](#)). Per controllare segnali che cambiano rapidamente, dovete impiegare una sonda logica (solo per i segnali digitali) oppure un oscilloscopio. Ulteriori informazioni su questi strumenti di test si trovano nel [Capitolo 13](#).

Misurazione della corrente

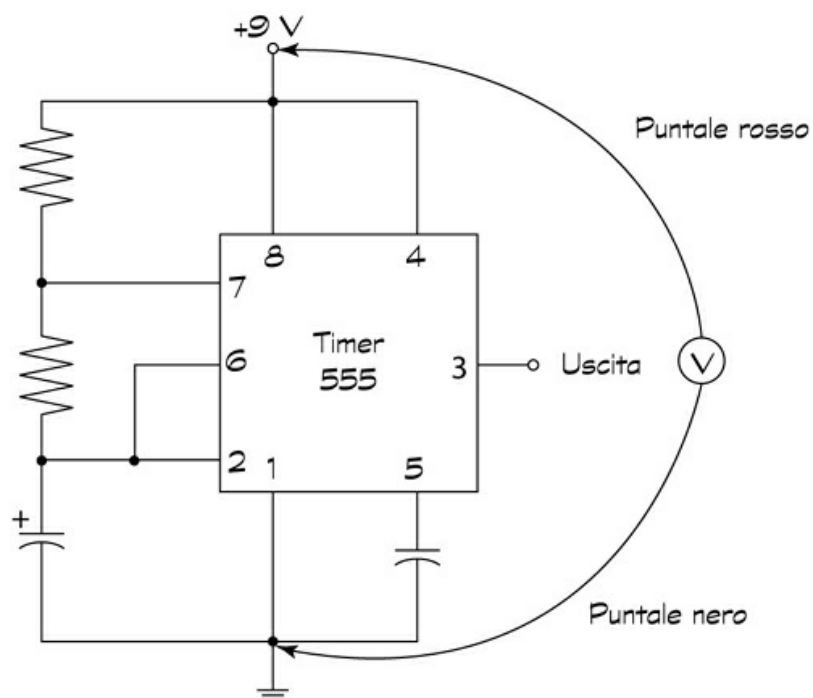
Per usare il multimetro come un *amperometro*, occorre connettere lo strumento in serie con il componente di cui si vuole misurare il passaggio della corrente, in modo che attraverso lo strumento passi esattamente la stessa corrente che si vuole misurare. Questa configurazione, rappresentata nella [Figura 12.6](#), è molto differente dalla configurazione di un voltmetro.

- 1. Impostate lo strumento come descritto nel paragrafo precedente “Impostazione del multimetro”.**
- 2. Impostate il tipo di corrente: AC (corrente alternata) o DC (corrente continua).**
- 3. Scegliete l'intervallo che offre la migliore sensibilità.**
- 4. Interrompete il circuito nel punto in cui volete misurare la corrente: collegate il puntale nero dello strumento al lato più negativo del circuito e il puntale rosso al lato più positivo.**

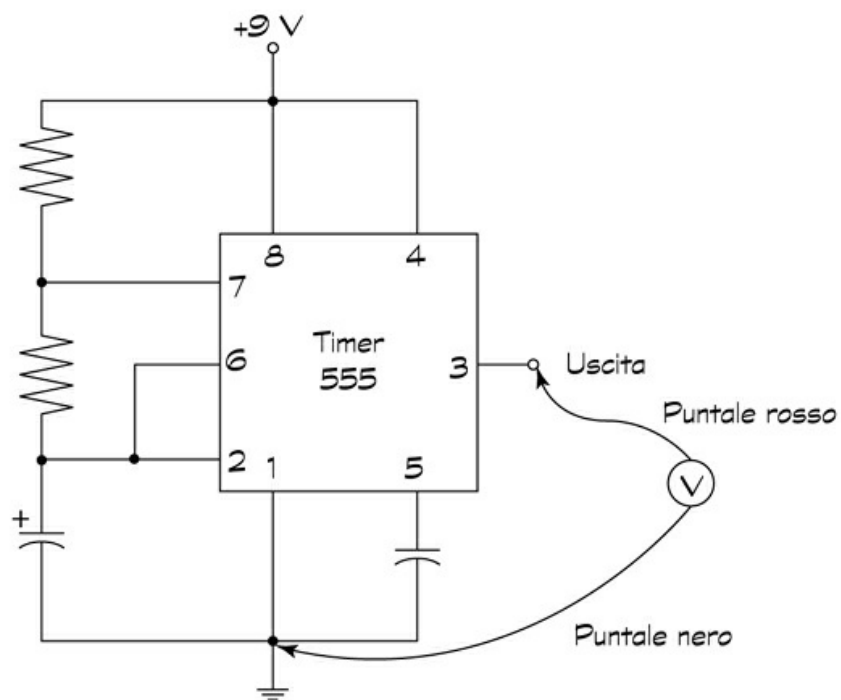
Questo pone lo strumento in serie con il componente di cui volete misurare il passaggio di corrente.



Ricordatevi che il circuito è alimentato. Se non ottenete alcuna lettura, provate a invertire i puntali del multimetro.



Controllo della tensione di alimentazione



Controllo della tensione di uscita

Figura 12.5 Misurazione di due diverse tensioni su un circuito che impiega un timer 555.

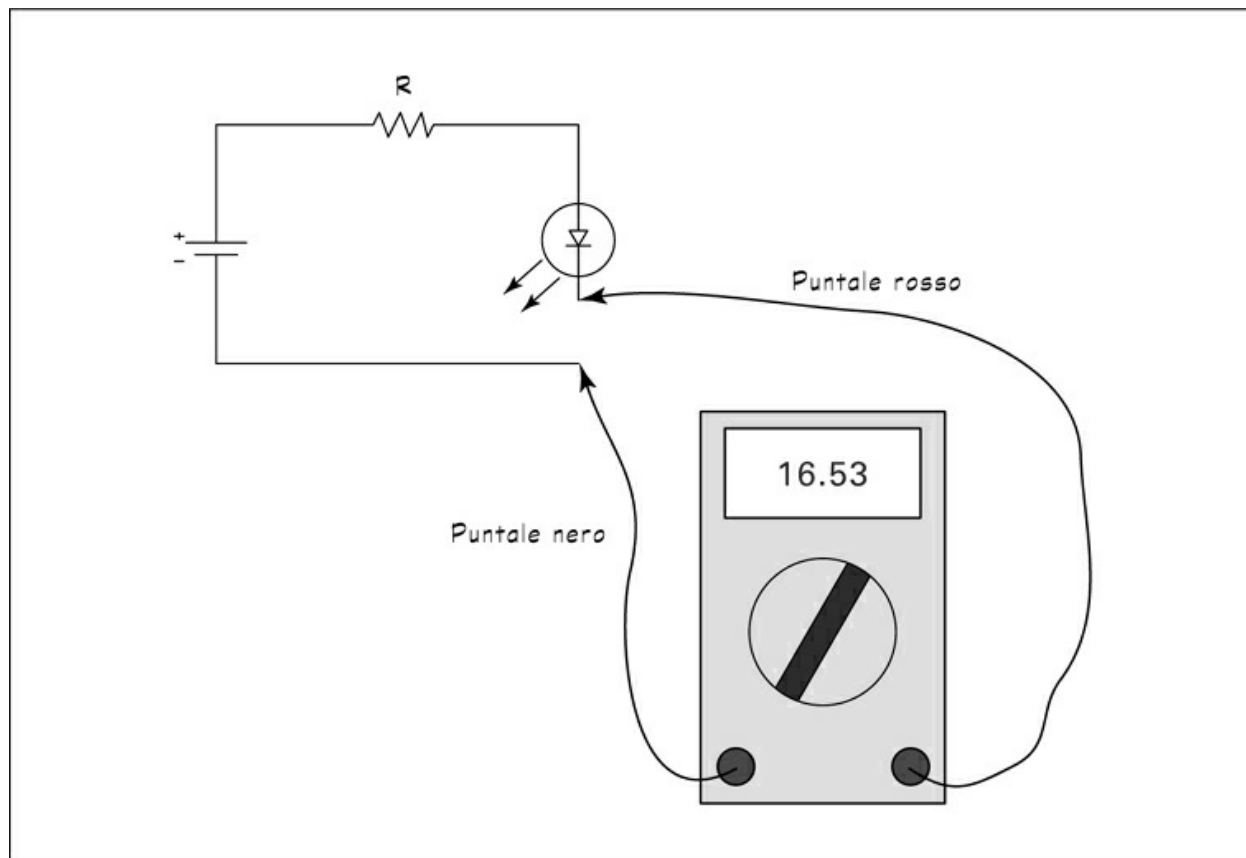


Figura 12.6 La misurazione della corrente prevede la connessione dello strumento in serie con il circuito o il componente.



Per misurare quanta corrente viene assorbita dall'intero circuito, ponete i puntali dello strumento in serie con la fonte di alimentazione positiva. Ma ricordate che molti strumenti digitali possono misurare corrente solo fino a 200 mA. Fate attenzione: non provate a misurare correnti superiori se il multimetro non lo consente.



Non lasciate mai il multimetro in posizione da amperometro dopo aver misurato la corrente: potreste danneggiarlo. Abituatevi a spegnere immediatamente il multimetro dopo aver misurato la corrente.

I fusibili non sono popcorn!

Molti strumenti analogici e digitali forniscono ingressi distinti (connettori per i puntali) per controllare la corrente, normalmente indicati con A (ampere) o mA (milliampere). Alcuni multimetri forniscono un ingresso aggiuntivo per il controllo di correnti più elevate, in genere fino a 10 ampere. Il multimetro rappresentato nella [Figura 12.3](#) ha due ingressi per il controllo della corrente, con indicazione mA e 10A.

Assicuratevi sempre di selezionare l'ingresso appropriato, prima misurare la corrente. Dimenticandolo potreste far saltare il fusibile (se siete fortunati) oppure danneggiare lo strumento.

Misurazione della resistenza

Potete eseguire vari test di resistenza utilizzando un multimetro impostato come un *ohmetro*. Naturalmente potete sottoporre a test le resistenze, per controllarne il valore oppure per vedere se sono danneggiate, ma potete anche esaminare la resistenza di condensatori, transistor, diodi, interruttori, cavi e altri componenti. Ma prima di misurare la resistenza, assicuratevi di calibrare l'ohmetro come descritto nel paragrafo precedente, "Impostazione del multimetro".



Se il vostro multimetro offre specifiche funzionalità di misurazione dei condensatori, diodi o transistor, utilizzate queste impostazioni specifiche piuttosto che i metodi descritti nei prossimi paragrafi. Ma se avete a disposizione un multimetro più semplice, senza queste funzionalità, i metodi che descriviamo potranno risultarvi molto utili.

Controllare le resistenze

Le *resistenze* sono componenti che limitano la corrente che attraversa un circuito (vedere il [Capitolo 3](#)). Talvolta occorre verificare che il valore nominale indicato sul corpo di una resistenza sia preciso; e a volte occorre controllare se una resistenza di cui dubitate, che magari è un po' deformata e bruciata, funziona ancora.

Per controllare una resistenza con un multimetro, utilizzate la seguente procedura.

- 1. Spegnete l'alimentazione prima di toccare il circuito e poi disconnettete la resistenza che volete sottoporre a test.**

- 2. Impostate il multimetro per la lettura degli ohm.**

Se non avete un multimetro dotato di scelta automatica della gamma di misurazione, impostate innanzitutto una gamma elevata e poi scendete in caso di necessità.

- 3. Posizionate i due puntali alle due estremità della resistenza.**



Non toccate con le dita i puntali metallici o i piedini della resistenza. In tal caso, aggiungereste la resistenza del vostro corpo e ciò produrrebbe una lettura imprecisa.

L'indicazione della resistenza dovrà ricadere nei margini di tolleranza del valore nominale indicato sulla resistenza. Per esempio, se controllate una resistenza con un valore nominale di 1 k Ω e una tolleranza del 10%, la lettura dovrà mostrare un'indicazione compresa fra 900 e 1100 Ω .

Una resistenza guasta può essere completamente aperta (nel qual caso leggereste un Ω infinito), o può essere in corto (nel qual caso leggereste una resistenza di 0 Ω).

Controllare i potenziometri

Come le resistenze, potete controllare un *potenziometro* che, in fin dei conti, è una resistenza variabile, utilizzando l'impostazione degli ohm di un multimetro (per informazioni sui potenziometri, consultate il [Capitolo 3](#)). Ecco come eseguire il test.

- 1. Spegnete l'alimentazione e poi rimuovete il potenziometro dal circuito.**
- 2. Posizionate i puntali su due dei contatti del potenziometro.**
A seconda di dove posizionate i puntali, potete aspettarvi i seguenti risultati.
 - Se i puntali sono applicati a un punto fisso (punto 1) e al punto mobile (punto 2) come rappresentato nella [Figura 12.7](#), ruotando la manopola del potenziometro in una direzione si aumenta la resistenza, mentre nella direzione opposta si riduce la resistenza.
 - Applicando il puntale al contatto mobile (punto 2) e all'altro contatto fisso (punto 3), troverete le stesse variazioni del punto precedente, ma invertite.
 - Se connettete i puntali alle due estremità fisse (punto 1 e punto 3), dovrete leggere la massima resistenza del potenziometro, indipendentemente dalla posizione della manopola.



Ruotando la manopola del potenziometro, prendete nota degli improvvisi sbalzi di resistenza, che possono indicare un guasto. In questo caso, sostituite il potenziometro guasto.

Controllo dei condensatori

Si utilizza un condensatore per conservare l'energia elettrica per un breve periodo (se ne è parlato nel [Capitolo 4](#)). Se il multimetro non offre una funzionalità specifica per il controllo dei condensatori, potete comunque utilizzare un ohmetro per decidere se è il caso di sostituire un condensatore. Ecco come eseguire il controllo.



1. Prima di controllare un condensatore, fate attenzione a scaricarlo, in modo da eliminare tutta l'energia elettrica che contiene.

I grossi condensatori possono conservare la carica per molto tempo, anche dopo aver tolto l'alimentazione.

Per scaricare un condensatore, basta mettere in corto i suoi terminali ([Figura 12.8](#)) attraverso una grossa resistenza (da 1 a 2 MΩ). La resistenza evita che il condensatore vada in corto, cosa che lo renderebbe inutilizzabile.

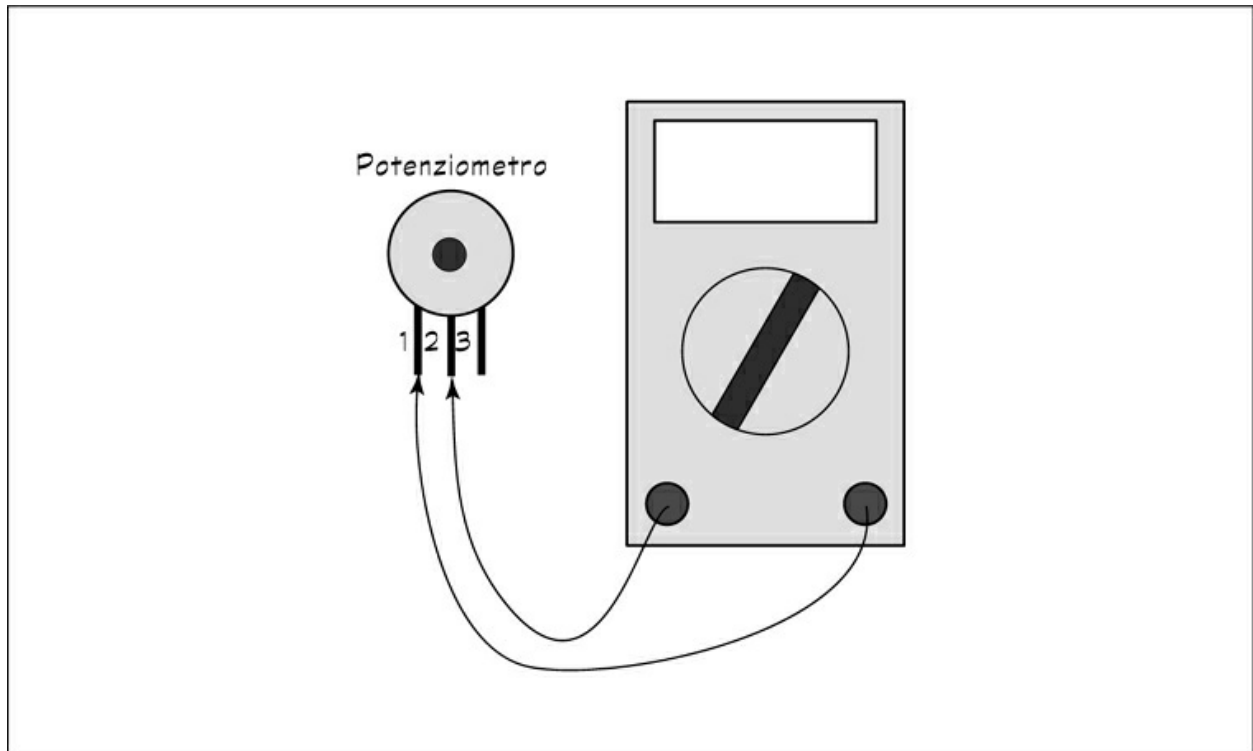


Figura 12.7 Connettete i puntali al primo contatto e al contatto centrale, al contatto centrale e al terzo e poi al primo e al terzo.

2. Dopo aver scaricato il condensatore e aver tolto la resistenza, impostate il multimetro sugli ohm e toccate con i puntali i piedini del condensatore.

I condensatori non polarizzati non distinguono il modo in cui si connettono i puntali, mentre se dovete controllare un condensatore polarizzato, connettete il puntale nero al terminale negativo del condensatore e il puntale rosso al terminale positivo (per determinare la polarità dei condensatori, consultate il [Capitolo 4](#)).

3. Attende un paio di secondi e prendete nota della lettura.

Potete avere tre risultati:

- un condensatore “sano” mostra una lettura infinita quando si esegue questa operazione;
- una lettura pari a 0 significa che il condensatore è in corto

circuito;

- una lettura compresa fra 0 e infinito dice che il condensatore ha perso la sua capacità di trattenere una carica.



Questo test non dice se il condensatore è aperto, il che può verificarsi se il componente è strutturalmente danneggiato o se il suo *dielettrico* (materiale isolante) si è asciugato o rotto. Un condensatore aperto può presentare una lettura infinita, esattamente come un condensatore sano. Per eseguire un test conclusivo, utilizzate un multimetro dotato di una funzionalità specifica per il controllo dei condensatori.

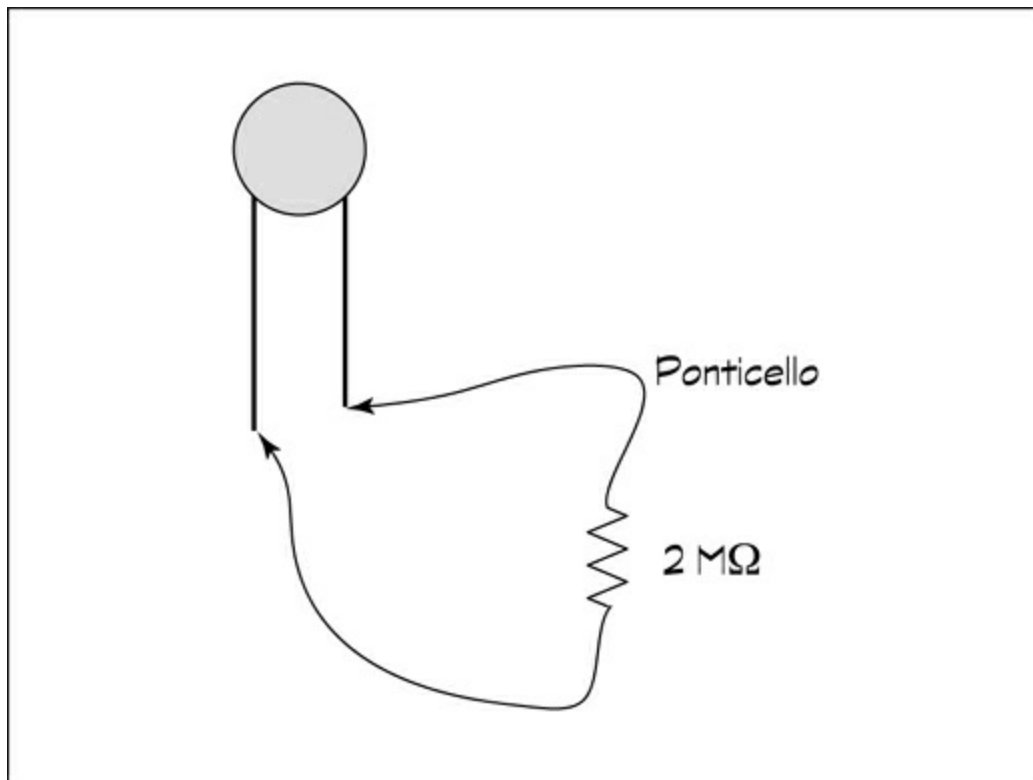


Figura 12.8 Acquistate o create un apposito ponticello per scaricare l'eccesso di carica da un condensatore.

Controllo dei diodi

Un *diodo* è un componente a semiconduttore che si comporta come una valvola monodirezionale per la corrente (per informazioni sui diodi, consultate il [Capitolo 6](#)). Se il multimetro non ha un'impostazione di controllo dei diodi, potete utilizzare le impostazioni per controllare la maggior parte dei tipi di diodi. Ecco come controllare un diodo.

- 1. Impostate lo strumento su un intervallo di resistenza basso.**
- 2. Connettete il puntale nero al catodo (terminale negativo, con la striscia) e il puntale rosso all'anodo (terminale positivo).**

Il multimetro dovrebbe indicare una bassa resistenza.

- 3. Invertite i puntali e dovrete leggere una resistenza infinita.**



Se non sapete come orientare un diodo che avete a disposizione, potete sempre utilizzare il multimetro per identificare l'anodo e il catodo. Eseguite i test di resistenza con i puntali connessi in un modo e poi nel modo opposto. Per il più basso dei due valori di resistenza misurati, il puntale rosso è connesso all'anodo e quello nero è connesso al catodo.

Controllo dei transistor

Un *transistor bipolare* è costituito fondamentalmente da due diodi posti insieme in un unico componente, come illustrato nella [Figura 12.9](#) (per i transistor PNP, i diodi sono invertiti). Se il multimetro non offre una funzionalità di controllo specifica per transistor o diodi, potete impostarlo sugli ohm per controllare la maggior parte dei transistor bipolari, nello stesso modo già utilizzato per i diodi: impostate lo strumento per un intervallo di bassa resistenza e controllate entrambi i diodi presenti nel transistor, uno dopo l'altro.

Per controllare un transistor NPN (come quello rappresentato nella [Figura](#)

12.9), utilizzate la seguente procedura.

- 1. Impostate lo strumento per un valore di bassa resistenza.**
- 2. Connettete il puntale nero al collettore del transistor e il puntale rosso alla base.**

Il multimetro dovrebbe indicare una bassa resistenza.

- 3. Invertite i puntali.**

Dovreste ottenere una lettura di resistenza infinita.

- 4. Connettete il puntale nero all'emettitore e il puntale rosso alla base.**

Lo strumento dovrebbe indicare una bassa resistenza.

- 5. Invertite i puntali.**

Lo strumento dovrebbe mostrare una resistenza infinita.

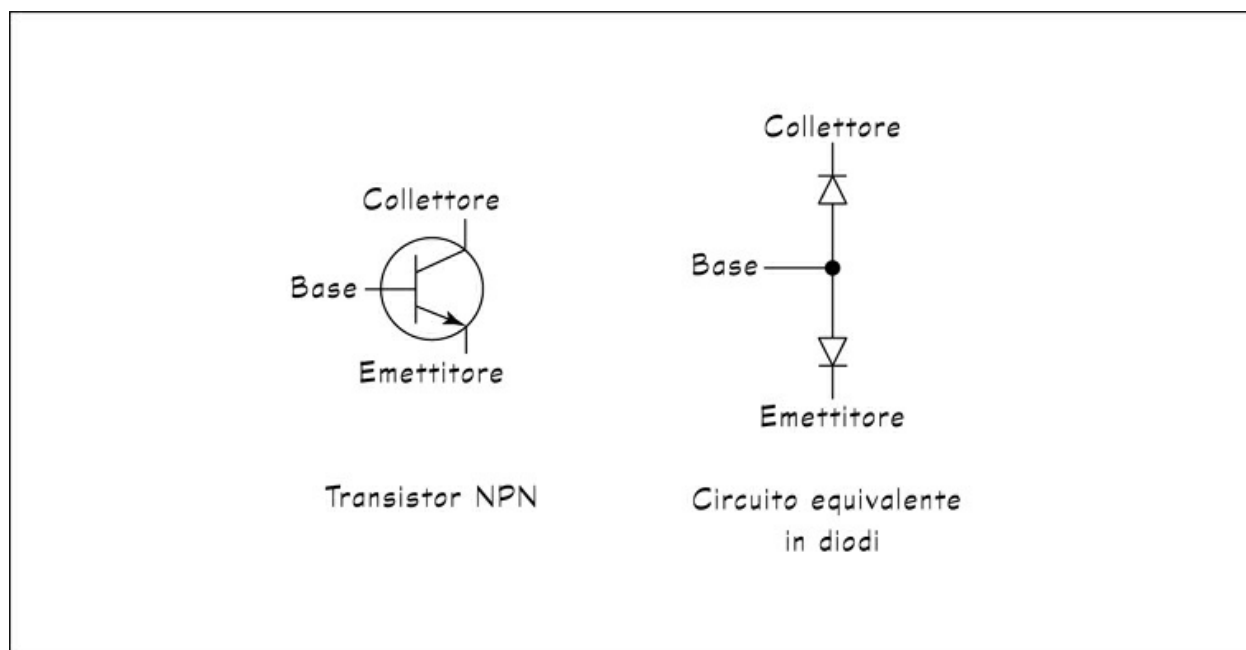


Figura 12.9 Un transistor bipolare è costituito da due diodi in un unico componente.



Per un transistor PNP, le letture saranno esattamente al contrario di quelle indicate per i transistor NPN.



Utilizzate questo test *solo* per i transistor bipolari. Un multimetro potrebbe danneggiare in modo permanente altri tipi di transistor, specialmente i FET (Field-Effect Transistor). Se non siete sicuri del tipo di transistor che avete, controllate su un datasheet prima di eseguire test. Potete trovarne il datasheet con una ricerca in Internet, indicando il codice di identificazione del componente (per esempio la ricerca può essere “2n3906 datasheet”).

Controllo di cavi e cavetti

Potete utilizzare il multimetro come un ohmetro per eseguire test di continuità sui cavetti. Potete farlo se temete che vi siano interruzioni nei cavetti oppure *cortocircuiti*, punti di continuità indesiderati tra due conduttori di uno stesso cavo.

Perfino i cavi resistono al flusso degli elettroni

Perché non ottenete *sempre* $0\ \Omega$ quando controllate un cavo, specialmente di una lunghezza non banale? Tutti i circuiti elettrici oppongono una certa resistenza al flusso della corrente; gli ohm misurano esattamente questa resistenza. Anche un piccolo spezzone di filo ha una certa resistenza, ma normalmente molto inferiore a $1\ \Omega$ e dunque questo non è un valore utile per controllare la continuità o i cortocircuiti.

Tuttavia, più lungo è il filo, maggiore sarà la resistenza che oppone,

specialmente se il filo è di piccola sezione. Normalmente, più grosso è il filo, minore sarà la sua resistenza alla lunga distanza. Anche se lo strumento non riesce a leggere esattamente 0 Ω , potete comunque presumere che vi sia una corretta continuità anche se rilevate una lettura bassa in termini di ohm.

Per controllare la continuità di un unico cavo, connettete un puntale del multimetro a un'estremità del cavo e impostate la manopola su valori bassi di ohm. Dovreste ottenere una lettura di 0 ohm o comunque di un valore molto basso. Una lettura superiore, anche di poco, indica la possibile rottura del cavo che apre il circuito.

Per controllare una situazione di corto circuito fra conduttori che non dovrebbero essere elettricamente connessi, potete impostare lo strumento per misurare gli ohm e poi connettere uno dei puntali a un'estremità del cavo e l'altro puntale all'estremità opposta. Se ottenete una lettura pari a 0 o un basso numero di ohm, avete individuato un corto circuito fra i due cavi. Una lettura più elevata significa normalmente che i cavi non sono in corto. Notate che potete ottenere una lettura diversa da ohm infiniti se i cavi sono connessi al circuito. Potete comunque essere certi che i cavi non sono in corto circuito se rilevate una lettura molto bassa o pari a 0.

Controllo degli interruttori

Gli interruttori meccanici possono sporcarsi e consumarsi e, a volte, anche rompersi, divenendo inaffidabili o completamente inutilizzabili. Il [Capitolo 8](#) descrive quattro combinazioni di interruttori: unipolari e bipolari, standard e a deviatore. A seconda dell'interruttore, vi possono essere zero, una o due posizioni "Off", così come vi possono essere una o due posizioni "On".

Potete utilizzare il multimetro impostato sugli ohm per controllare il funzionamento di tutti questi interruttori. Fate attenzione a verificare tutte le posizioni On/Off e i terminali dell'interruttore che state controllando ed eseguite i test su tutte le possibili combinazioni. Con i puntali connessi ai terminali di ogni possibile combinazione di ingresso/uscita in posizione "Off"

lo strumento dovrebbe indicare una lettura infinita di ohm; la posizione “On” dovrebbe invece dare una lettura di 0 ohm.



Potete controllare gli interruttori inserendoli in un circuito. Se l'interruttore è connesso a un circuito, lo strumento potrebbe non mostrare ohm infiniti anche se portate l'interruttore in posizione “Off”. Se, invece, ottenete una lettura di un valore diverso da 0 Ω , potete essere certi che l'interruttore funziona correttamente come un circuito aperto quando è in posizione “Off”.

Controllo dei fusibili

I fusibili sono progettati con lo scopo di proteggere i circuiti elettronici dai danni provocati da un eccesso di corrente e, soprattutto, per impedire che il circuito prenda fuoco a causa di un surriscaldamento. Un fusibile bruciato è un circuito aperto che non offre più alcuna protezione e deve essere sostituito. Per controllare l'efficienza di un fusibile, impostate il multimetro sugli ohm e toccate con i puntali le estremità del fusibile. Se lo strumento indica un livello di ohm infinito, il fusibile è bruciato.

Altri test con un multimetro

Molti multimetri digitali includono varie funzionalità aggiuntive che sono concepite per controllare specifici componenti, come i condensatori, i diodi e i transistor. Questi test forniscono risultati più definitivi rispetto alla misurazione di resistenza di cui abbiamo parlato in precedenza in questo capitolo.

Se il multimetro offre una funzionalità di controllo dei condensatori, ne mostrerà il valore di capacità. Questa funzionalità può essere comoda, poiché non tutti i condensatori seguono uno schema standard di identificazione. Leggete il manuale del multimetro per conoscere esattamente la procedura da impiegare, poiché le specifiche variano da modello a modello. Fate anche attenzione a osservare la polarità corretta quando connettete un condensatore

ai punti di test del multimetro.

Se il multimetro offre una funzionalità di controllo dei diodi, potete controllare un diodo connettendo al puntale rosso l'anodo (terminale positivo) del diodo e al puntale nero il catodo (terminale negativo). Dovreste rilevare una lettura piuttosto bassa, ma non 0 (per esempio 0,5). Poi invertite i puntali e dovreste ottenere una lettura fuori scala. Se ottenete due letture 0 o due letture fuori scala, molto probabilmente il diodo è guasto (ovvero è in corto oppure aperto).



Potete utilizzare la funzionalità di controllo dei diodi per verificare anche i transistor a giunzione bipolare, trattandoli come due diodi distinti, come illustrato nella [Figura 12.9](#).

Se il multimetro è dotato di una funzionalità di controllo dei transistor, seguite la procedura descritta nel manuale, che varia da modello a modello.

Uso del multimetro per controllare il circuito

Uno dei grandi vantaggi di un multimetro è il fatto che può aiutare ad analizzare i problemi dei circuiti. Utilizzando i vari test, potete verificare il funzionamento dei singoli componenti e confermare che le tensioni e le correnti siano corrette. Inevitabilmente, presto o tardi, vi capiterà un circuito che non funziona a dovere, ma il multimetro vi aiuterà a individuare i problemi qualora non riusciste a risolverli controllando fisicamente tutte le connessioni.

Per controllare il funzionamento di un circuito, dovreste innanzitutto contrassegnare lo schema del circuito con i valori dei componenti, i livelli di tensione stimati nei vari punti del circuito e i livelli di corrente previsti in ogni ramificazione del circuito. Spesso il processo di contrassegnare lo schema svela eventuali errori matematici. Poi utilizzate il multimetro per

verificare il tutto.

Ecco un rapido elenco di elementi che dovrete controllare nel circuito.

- ✓ Tensioni di alimentazione.
- ✓ Funzionalità dei singoli componenti e valori forniti (togliendoli dal circuito).
- ✓ Continuità dei cablaggi.
- ✓ Livelli di tensione nei vari punti del circuito.
- ✓ Livelli di corrente attraverso le varie parti del circuito (senza superare le capacità di corrente del multimetro).

Procedendo passo dopo passo, potete verificare i vari componenti e le varie parti del circuito e restringere l'elenco dei sospetti fino a individuare la causa del problema o ammettere di aver bisogno di un aiuto professionale, da parte di un amico più esperto di voi.

Capitolo 13

Sonde logiche e oscilloscopi

In questo capitolo

Controllo dei circuiti digitali con una sonda logica.

Cavalcare le onde dei segnali, con un oscilloscopio.

Quando c'è bisogno di un oscilloscopio.

Impostare l'oscilloscopio in modo da visualizzare i segnali dei circuiti.

Utilizzare un oscilloscopio per misurare la frequenza di un segnale.

Il [Capitolo 12](#) descrive l'uso di un multimetro per controllare ogni genere di aspetto dei circuiti elettronici. Il multimetro è lo strumento più importante del vostro armamentario, ma non pensate che sia l'unico strumento che potete utilizzare per controllare i componenti elettronici. Se la vostra passione è davvero seria nel campo dell'elettronica, sarete interessati a conoscere anche altri strumenti di test.

Questo capitolo introduce altri due strumenti, la sonda logica e l'oscilloscopio, che, come vedremo, possono diventare strumenti di diagnosi davvero efficaci. Nessuno di questi due strumenti è “obbligatorio”, specialmente all'inizio, ma quando comincerete a occuparvi di progetti più seri o avanzati, considerate se è il caso di aggiungere questi due strumenti alla vostra dotazione.

Sondare le profondità della logica

Una *sonda logica*, come quella rappresentata nella [Figura 13.1](#), è uno strumento piuttosto economico, progettato per controllare il funzionamento dei circuiti digitali, che gestiscono due soli livelli di tensione:

- ✓ **basso** (0 V, all'incirca), che indica il livello logico 0 (zero);
- ✓ **alto** (12 V o meno, ma normalmente 5 V), che indica il livello logico 1 (1).

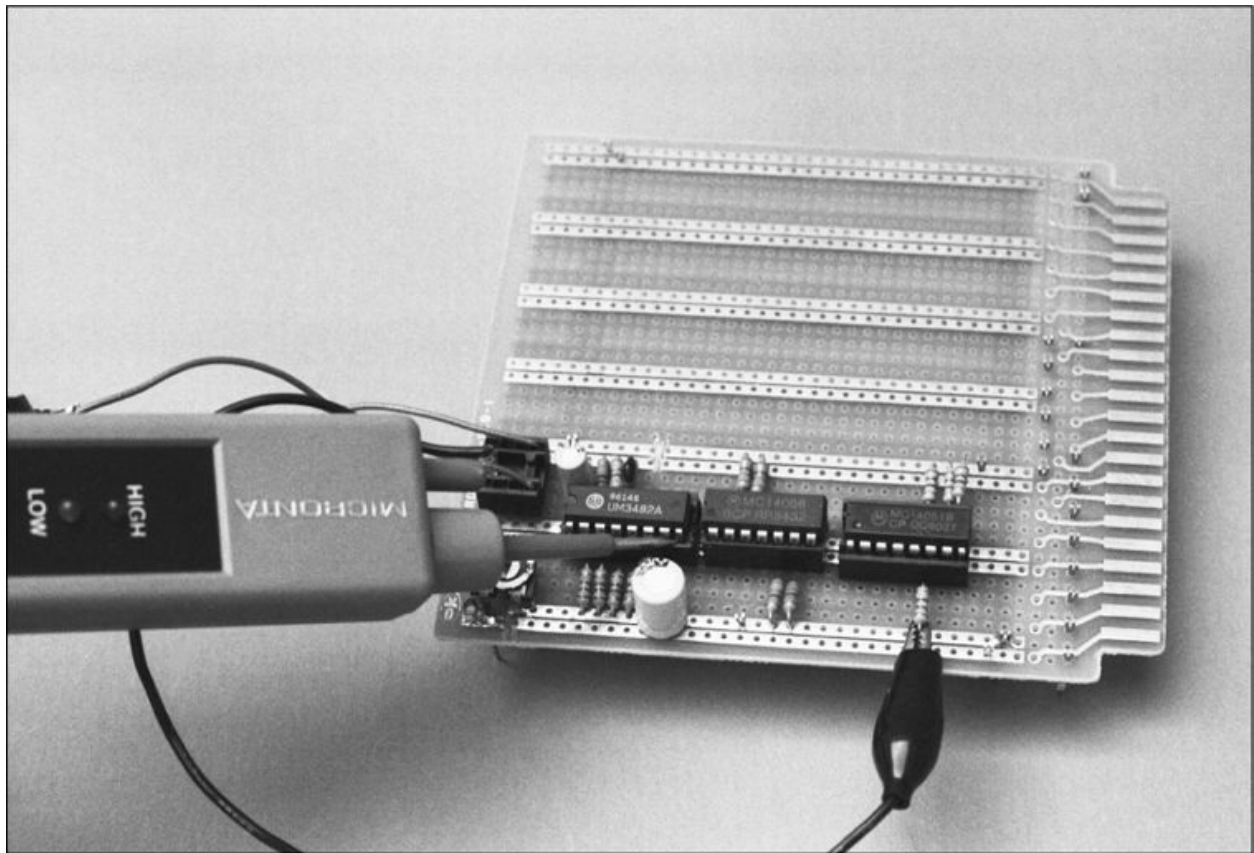


Figura 13.1 La sonda logica è utile per controllare il funzionamento dei circuiti digitali.

Per ulteriori informazioni sulla logica digitale, consultate il [Capitolo 7](#). La sonda logica controlla semplicemente se il segnale è alto o basso e accende un LED differente a seconda del segnale rilevato. Un terzo LED lampeggia quando la sonda logica rileva un *impulso*, ovvero una rapida alternanza di un segnale fra i livelli alto e basso. La maggior parte delle sonde logiche

comprende anche la possibilità di emettere un tono, che può essere alto o basso e vi consentirà di tenere sempre gli occhi sul circuito.



Naturalmente, potete sempre utilizzare il vostro multimetro per controllare anche i circuiti digitali (vi basterà tradurre i valori di tensione dei rispettivi stati logici), ma vi è un grande vantaggio a utilizzare al suo posto una sonda logica. Se il circuito è guasto e non vi è alcun segnale nel punto di test, il multimetro potrebbe dare una lettura di 0 V, che potreste interpretare come un segnale basso (0 logico). Se invece applicate una sonda logica a un circuito guasto e non vi è alcun segnale, non si accenderà nessuna delle spie della sonda, la quale non emetterà alcun suono. Questo, al limite, può indicare che la sonda è connessa in modo errato.

Le sonde logiche ricevono alimentazione dal circuito sottoposto a test. La maggior parte delle sonde può funzionare con una tensione minima di circa 3 V e una tensione massima di non più di 15 V (a volte di più, a volte di meno). Controllate sul manuale l'esatto intervallo di tensioni che la sonda logica può sopportare e assicuratevi che la tensione fornita dal circuito rientri nella gamma accettabile dalla sonda logica. Tensioni superiori possono danneggiare la sonda logica.



Fate particolare attenzione alla sicurezza quando utilizzate una sonda logica. Si tratta di un tester attivo, progettato per operare su circuiti alimentati. Tenete le dita lontane dal metallo della sonda e ai puntali di test. Fate particolare attenzione se state controllando un circuito (per esempio un player DVD guasto) che utilizza anche corrente alternata ad alta tensione e, per eseguire il test, dovete esporre i componenti alimentati. Considerate sempre che potreste esporvi ad alte tensioni pericolose quando aprite il coperchio di un apparecchio alimentato dalla rete domestica; per precauzione, coprite con

una plastica isolante le parti sottoposte ad alta tensione, per evitare scosse accidentali.

Una sonda logica ha quattro contatti, come potete vedere nella [Figura 13.2](#), tre dei quali sono dotati di morsetti a coccodrillo, mentre il quarto è la sonda vera e propria. Per utilizzare la sonda, occorre eseguire le seguenti quattro connessioni.

- 1. Applicate il morsetto nero alla massa del circuito.**
- 2. Applicate il morsetto rosso alla tensione di alimentazione del circuito.**

Fate attenzione che questa fonte di alimentazione non superi la tensione massima (normalmente circa 15 V) sopportata dalla sonda logica, o correte il rischio di danneggiarla.
- 3. Applicate il secondo morsetto nero (massa) alla massa del circuito.**

Questa seconda massa è importante; se non connettete adeguatamente la sonda logica alla massa del circuito, fornirà risultati errati o non funzionerà affatto.
- 4. Poggiate la punta della sonda sulla parte del circuito che dovete controllare.**



Per verificare di aver connesso correttamente la sonda logica, potete toccare con il puntale la fonte di alimentazione del circuito. La sonda dovrebbe indicare un valore alto. Poi toccate con il puntale la massa del circuito; la sonda dovrebbe indicare un valore basso. Se uno o entrambi questi test non funzionano, esaminate le connessioni della sonda al circuito e correggetele.

Dopo avere eseguito le connessioni, gli indicatori luminosi presenti sulla sonda si accenderanno e, in molti modelli, verrà emesso un segnale acustico, per confermare il funzionamento della sonda.

- ✓ **Un indicatore basso** (e anche un tono basso) dice che il punto di test ha un valore logico basso (all'incirca 0 V).
- ✓ **Un indicatore alto** (e anche un tono alto) dice che il punto di test ha un valore logico alto (normalmente circa 5 V).
- ✓ **L'accensione in rapida successione degli indicatori basso e alto** dice che il segnale logico è pulsante (cambia rapidamente da un valore all'altro). La maggior parte delle sonde offre un indicatore distinto che dice quando il circuito sta pulsando; alcune sonde producono anche una tonalità intermittente.
- ✓ **Nessun indicatore** dice che il punto di test non offre un segnale che possa essere valutato come alto, basso o pulsante.

Perché non tutti i circuiti amano le sonde logiche?

La maggior parte degli apparecchi di test, compresi i multimetri e gli oscilloscopi, sottraggono pochissima corrente al circuito sottoposto a test. I loro produttori hanno realizzato questi strumenti in modo che non influenzino la lettura. Ovviamente, non è bene controllare un circuito con uno strumento di test che alteri il comportamento del circuito stesso. Ciò renderà impossibile ottenere un risultato affidabile.

Le sonde logiche non solo traggono alimentazione dal circuito, ma possono anche scaricare completamente la linea di segnale che state controllando. Il carico aggiuntivo costituito dalla sonda logica può far sì che alcuni dei segnali più deboli scendano di tensione a tal punto da impedire una lettura accurata.

Anche se la situazione non si verifica troppo spesso, è un buon esempio di come sia necessario conoscere per bene il circuito che si sta sottoponendo a test: sondando un territorio sconosciuto, si possono ottenere risultati imprevedibili.

Leggete con cura il manuale d'istruzioni fornito con la sonda logica e, soprattutto, le note, gli avvertimenti, i dettagli e i suggerimenti operativi. Anche se molte sonde logiche si somigliano, esistono piccole differenze che influenzano i tipi di circuiti con cui ogni sonda logica va più "d'accordo".



Oltre ai segnali di uscita basso e alto, alcuni circuiti logici integrati hanno anche un terzo stato, chiamato *Hi-Z* o *alta impedenza*. In poche parole, questo terzo stato consente di connettere più uscite direttamente insieme, di cui una sola è attiva (o abilitata). Le uscite rimanenti vengono impostate allo stato *Hi-Z*, che le rende sostanzialmente invisibili all'uscita attivata. Il circuito attiva una sola uscita (alta o bassa che sia) per volta. Le altre uscite vengono messe "a dormire" nello stato *Hi-Z* e attivate solo in caso di necessità.

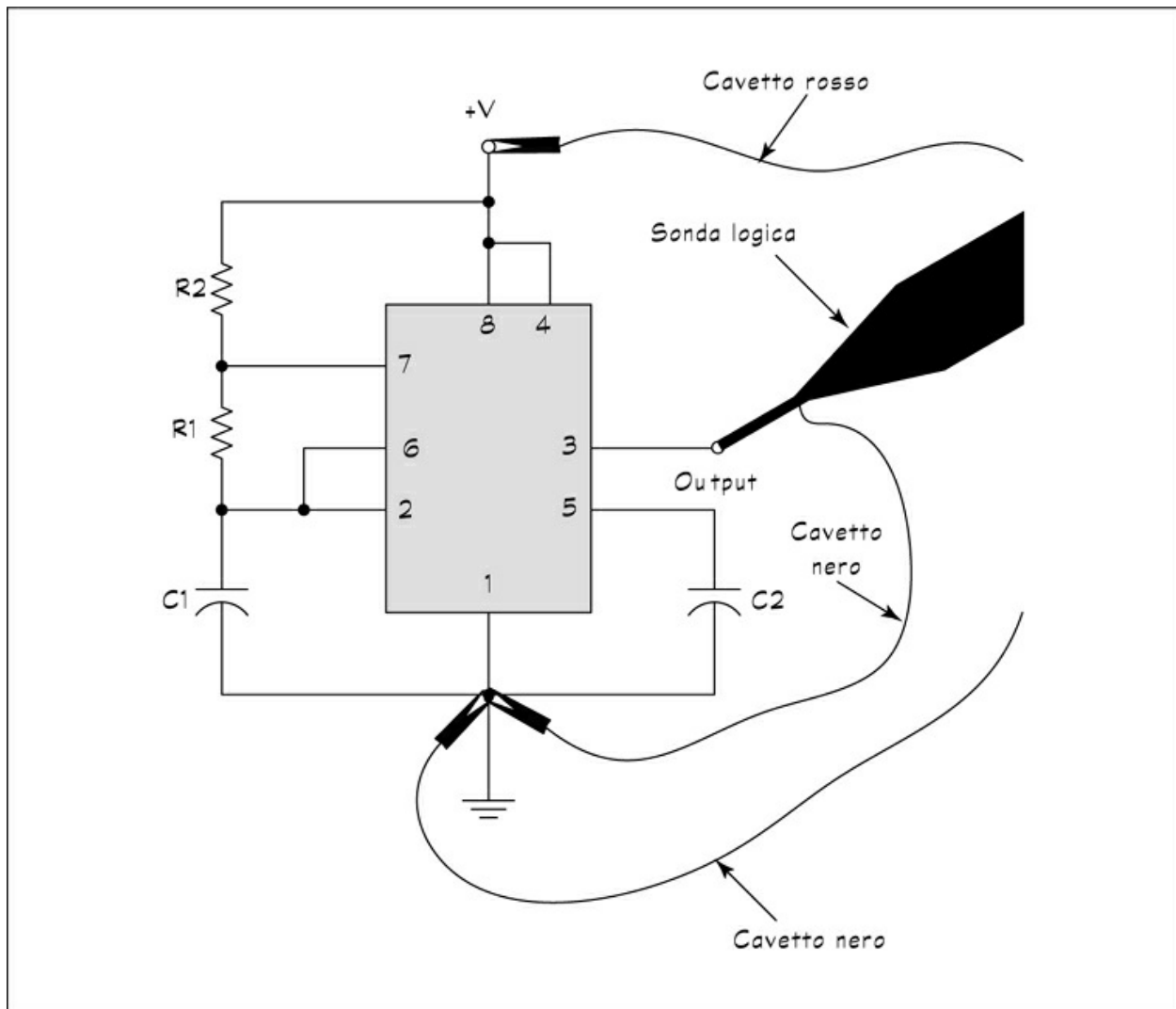


Figura 13.2 La sonda logica richiede quattro connessioni al circuito.

Osservare i segnali con un oscilloscopio

Per un normale appassionato di elettronica, un oscilloscopio è uno strumento comodo, ma non strettamente necessario. Un *oscilloscopio* è un apparecchio piuttosto costoso e mostra il modo in cui la tensione varia nel corso del tempo, rappresentandola come una *traccia* su un tubo catodico o un altro tipo di display.

I professionisti possono investire anche un paio di stipendi per l'acquisto di

un oscilloscopio di gamma alta come quello rappresentato nella [Figura 13.3](#), ma per un paio di centinaia di euro potete acquistare un oscilloscopio a batterie dotato di display a cristalli liquidi. Non avrete tutte le funzionalità più avanzate dei migliori strumenti, ma potrete comunque osservare le variazioni dei segnali nel corso del tempo, una cosa che un multimetro non può fare. In alternativa potete spendere alcune centinaia di euro per un oscilloscopio basato su PC, che utilizza il computer per visualizzare e memorizzare i segnali elettrici misurati. La maggior parte degli oscilloscopi basati su PC è costituita da un piccolo modulo esterno che si connette al computer attraverso una porta USB, parallela o seriale.



Si possono trovare ottime occasioni cercando l'oscilloscopio su eBay, anche se si corre qualche rischio. Si possono trovare ottime offerte anche tra i 100 e 200 euro.

La tensione ha i suoi “alti” e “bassi”

Gli oscilloscopi offrono una rappresentazione visuale di un segnale elettrico. L'asse verticale indica la tensione (chiamata *ampiezza*) e l'asse orizzontale rappresenta il tempo, un po' come i grafici che producevano le equazioni che abbiamo studiato un po' tutti a scuola. Gli oscilloscopi producono un segnale che va sempre da sinistra a destra, e che rappresenta l'evoluzione temporale del segnale.

Il segnale osservato sul display di un oscilloscopio è una *forma d'onda*. Alcune forme d'onda sono semplici, altre sono complesse (abbiamo introdotto il concetto di forme d'onda nel [Capitolo 2](#)). La [Figura 13.4](#) mostra le quattro forme d'onda più comuni che si incontrano in elettronica.

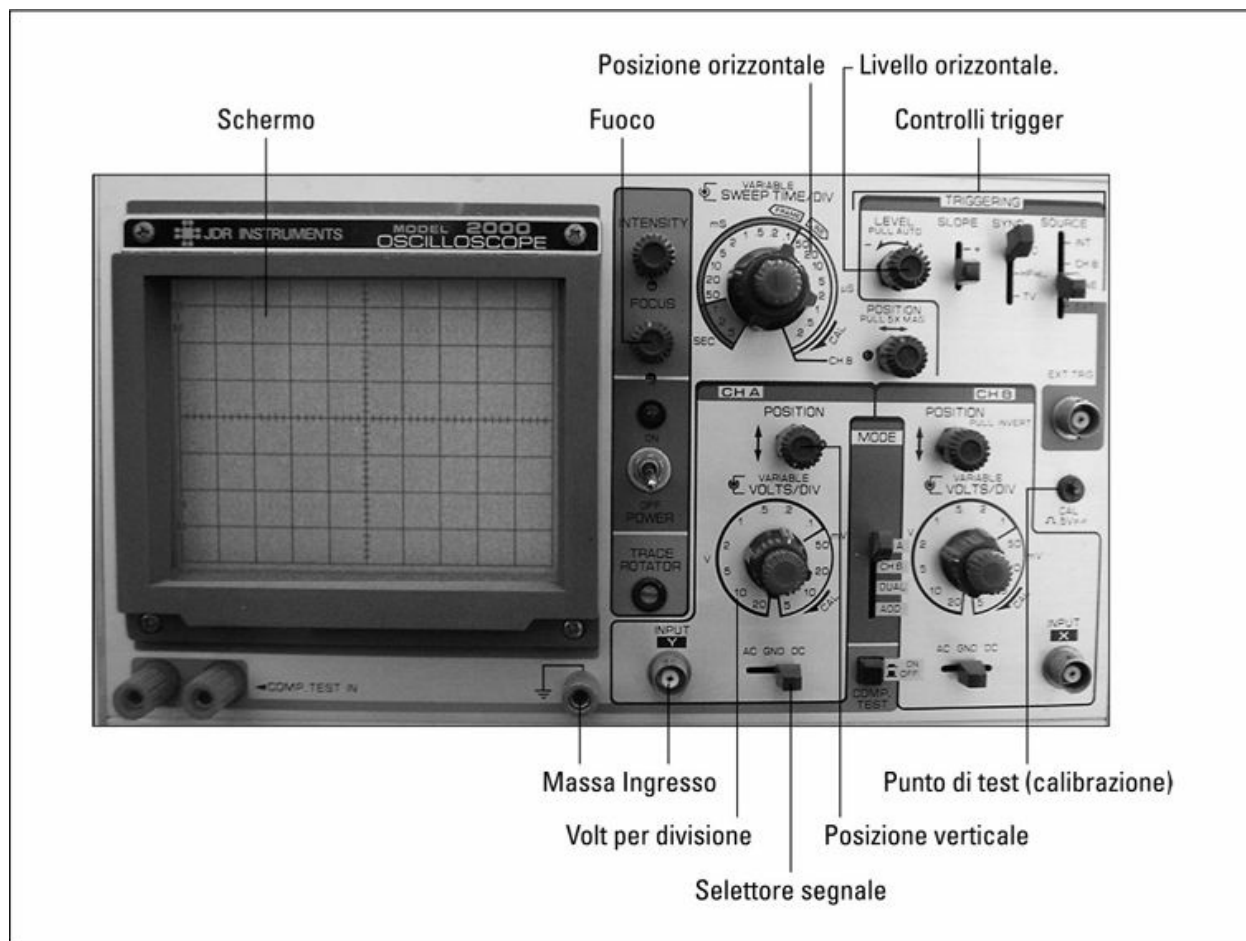
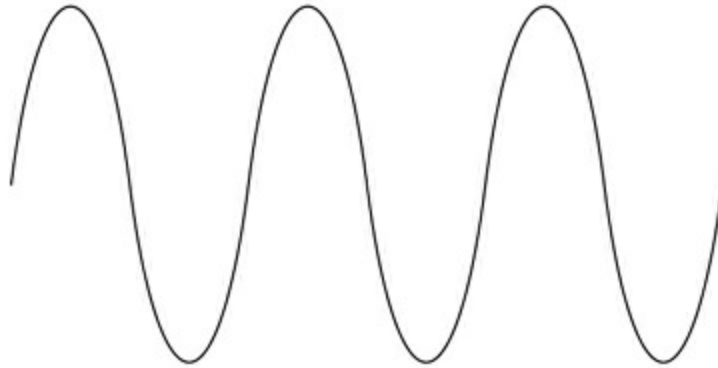


Figura 13.3 Un tipico oscilloscopio di fascia alta, con l'indicazione dei controlli più importanti.

- ✓ **Forma d'onda in corrente continua (DC):** una linea dritta e piatta, come la prima linea rappresentata nella [Figura 13.4](#).
- ✓ **Forma d'onda in corrente alternata (AC):** una forma d'onda ondulata. La maggior parte delle forme d'onda in corrente alternata ha un andamento sinusoidale (per informazioni, consultate il [Capitolo 2](#)), ma esistono anche onde triangolari, a denti di sega e di altre forme.

Forma d'onda di corrente continua



Forma d'onda di corrente alternata



Forma d'onda digitale



Forma d'onda a impulso

- ✓ **Forma d'onda digitale:** un segnale in corrente continua che alterna gli stati 0 V (basso, ovvero lo stato logico 0) e una tensione predeterminata (alta, ovvero lo stato logico 1). La circuitazione digitale interpreta la temporizzazione e la spaziatura dei segnali basso e alto (abbiamo parlato di segnali digitali nel [Capitolo 7](#)).
- ✓ **Forma d'onda a impulso:** questa forma d'onda mostra un improvviso cambiamento tra gli stati basso e alto del segnale. La maggior parte delle forme d'onda a impulso ha una natura digitale e, normalmente, impulsi di questo tipo hanno a che fare con il tempo, come la pistola che dà avvio a una gara. Il timer 555 descritto nel [Capitolo 7](#) può essere configurato per operare come un *one-shot*, producendo un unico impulso che attiva altre parti del circuito, le quali genereranno altri segnali.

La [Figura 13.5](#) mostra l'aspetto di una forma d'onda di corrente alternata sul display di un oscilloscopio. Il display ha una griglia che consente di misurare il tempo lungo l'asse X (in orizzontale) e la tensione lungo l'asse Y (in verticale). Utilizzando i controlli del pannello frontale, selezionate la scala di tensione (per esempio 5 V per divisione) e il *tempo* (per esempio 10 ms/divisione, dove ms sono millisecondi, ovvero millesimi di secondo). Regolando queste impostazioni vedrete cambiare proporzionalmente la rappresentazione della tensione sul display. Potete leggere il livello di tensione in un determinato istante determinando la posizione della tensione sulla griglia e moltiplicandola per la scala che avete selezionato.

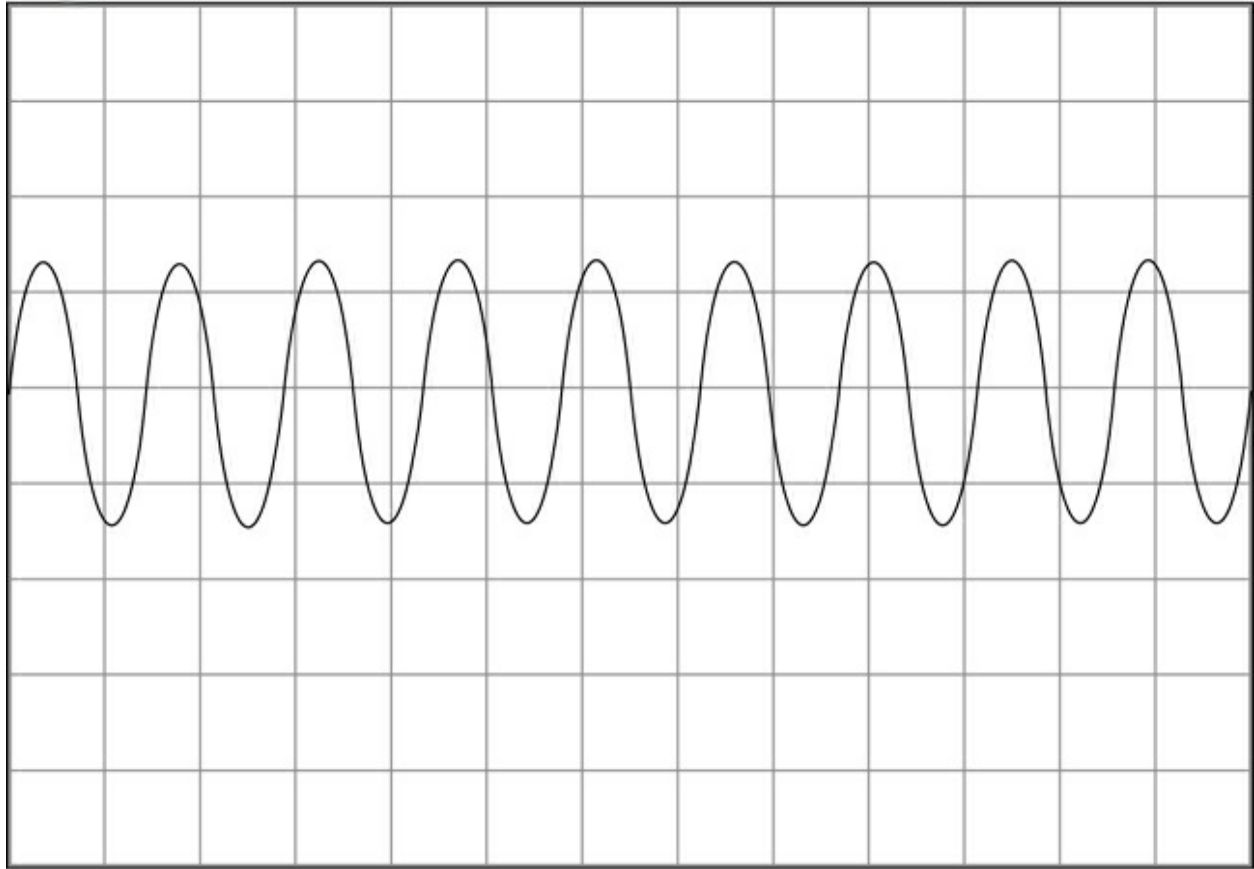


Figura 13.5 L'oscilloscopio rappresenta graficamente le variazioni di un segnale elettrico.

La posizione verticale di una forma d'onda in corrente continua (ampiezza) indica la tensione della corrente continua. Per segnali in corrente alternata, l'oscilloscopio consente di determinare i livelli di tensione e la frequenza (in numero di cicli al secondo). Contando il numero di divisioni orizzontali occupate da un ciclo completo del segnale e moltiplicandolo per la scala temporale (per esempio, 10 ms/divisione), ottenete il *periodo*, T , del segnale (il tempo necessario per il completamento di un ciclo). La frequenza, f , è il reciproco del periodo. La formula che lega f a T è la seguente: $f = 1 / T$. Per ulteriori dettagli, consultate il paragrafo “Controllare la frequenza di un circuito in corrente alternata”, verso la fine di questo capitolo.

L'ampiezza di banda e la risoluzione di un

oscilloscopio

Una delle specifiche più importanti per gli oscilloscopi è l'ampiezza di banda. L'ampiezza di banda, misurata in megahertz (MHz) e il segnale di frequenza più elevato che è possibile controllare con affidabilità tramite l'oscilloscopio. L'ampiezza di banda media di un oscilloscopio di basso costo rientra in una gamma dei 20-35 MHz, adatta per la maggior parte delle esigenze, tranne le più complesse. Le attività di controllo e riparazione di computer e apparecchi radio ad altissima frequenza possono richiedere ampiezze di banda superiori a 100 MHz, disponibili solo su oscilloscopi molto più costosi. Gli oscilloscopi basati su PC tendono a offrire un'ampiezza di banda più bassa, normalmente di circa 5-10 MHz, utile per molti compiti, dal controllo di circuiti hobbistici a quello di apparecchi audio.

La maggior parte degli oscilloscopi offre una *risoluzione* (precisione) di 0,5 μ s (microsecondi, ovvero milionesimi di secondo) o anche più rapida. Potete regolare il tempo in modo da controllare eventi che si verificano in un periodo più lungo, normalmente nell'arco di mezzo secondo o anche di un secondo. Notate che lo schermo può visualizzare anche eventi che si svolgono in un tempo più rapido a 0,5 μ s, ma si tratta di segnali così piccoli che sul display avranno l'aspetto di un baffetto o di un picco di tensione.

La sensibilità di un oscilloscopio indica la tensione lungo l'asse Y per divisione. La sensibilità a bassa tensione della maggior parte degli oscilloscopi di prezzo medio è pari a circa 5 mV (millivolt, millesimi di volt). Potete ruotare una manopola per impostare la sensibilità desiderata. Quando impostate la manopola a 5 millivolt, ogni divisione della griglia dello strumento rappresenterà una differenza di 5 mV. Potranno comparirvi anche livelli di tensione inferiori a 5 millivolt, ma fatterete a misurarli. La maggior parte degli oscilloscopi mostra livelli di tensione molto piccoli (nella gamma dei microvolt) come lievi ondulazioni.

Alcune funzionalità avanzate che dovrete

conoscere

Gli oscilloscopi sono migliorati enormemente nel corso degli anni, e oggi offrono sempre nuove funzionalità e opzioni. Anche se le seguenti funzionalità non sono strettamente necessarie per le attività standard di test, le troverete comode, una volta che avrete acquisito più esperienza.

✓ **Zoom:** nell'analisi di una piccola porzione di un segnale lungo e complesso, questa funzionalità è utile poiché consente di ingrandire quella porzione del segnale cui siamo interessati. Una funzionalità ideale quando si ha a che fare con segnali televisivi.

✓ **Memorizzazione digitale:** questa funzionalità registra i segnali nella memoria di un computer, da cui potranno essere successivamente estratti. Una volta in memoria, potete espandere il segnale e analizzare le specifiche porzioni; anche in questo caso si tratta di una funzionalità utile in ambito televisivo. La memorizzazione digitale consente anche di confrontare segnali misurati in momenti diversi.

Come potete immaginare, queste opzioni fanno lievitare il prezzo dell'oscilloscopio. Cercate di valutare i costi aggiuntivi con l'effettiva utilità di queste funzionalità.

Quando usare un oscilloscopio?

Quando dovete controllare dei livelli di tensione, spesso potete utilizzare, indifferentemente, il multimetro o l'oscilloscopio. La scelta dello strumento da utilizzare è vostra, anche se per misurazioni di routine, il multimetro può essere più semplice. In generale, potete scegliere di utilizzare un oscilloscopio per le seguenti attività.

✓ **Determinare visivamente se una corrente alternata o un segnale**

digitale hanno i tempi corretti. Per esempio, spesso vi è la necessità di eseguire questo test per verificare il funzionamento di apparecchi radio e televisivi. Il manuale di servizio e gli schemi di questi apparecchi mostrano talvolta la forma d'onda prevista in vari punti del circuito e dunque basta confrontare il disegno con quanto indicato dal display dell'oscilloscopio. Molto comodo!

- ✓ **Controllo di segnali pulsanti che cambiano troppo rapidamente per le capacità di una sonda logica.** Generalmente, si tratta di segnali che cambiano più velocemente di 5 milioni di volte al secondo (5 MHz).
- ✓ **Controllo visuale delle relazioni esistenti fra due segnali.** Occorre impiegare un oscilloscopio a doppia traccia, ovvero con due canali di ingresso. Potete aver bisogno di questo test quando operate su alcuni circuiti digitali. Spesso un determinato segnale fa sì che il circuito generi un secondo segnale. La possibilità di vedere insieme i due segnali aiuta a determinare se il circuito sta funzionando a dovere.
- ✓ **Controllo delle tensioni.** Se avete a portata di mano l'oscilloscopio, nulla impedisce di usarlo; ma per controllare le tensioni, è meglio utilizzare un multimetro.

Invece di ricorrere all'oscilloscopio per ogni test, fareste meglio a sfruttare il multimetro per le seguenti misurazioni.

- ✓ Controllo delle resistenze in un circuito.
- ✓ Controllo se un cavo o un'altra parte di un circuito è in corto circuito (resistenza pari a 0 Ω) o è aperto (resistenza infinita).
- ✓ Misurazione della corrente.
- ✓ Controllo delle tensioni e di vari componenti, come i condensatori e i transistor.

Come usare un oscilloscopio

Un oscilloscopio è un apparecchio piuttosto complesso. Per comprendere appieno il suo utilizzo, leggete il suo manuale di istruzioni o un libro dedicato a questo argomento. Questa parte del capitolo ha il solo scopo di offrire una rapida panoramica, giusto per dare gli strumenti per iniziare.

Configurazione di base e test iniziali

Prima di utilizzare un oscilloscopio per eseguire veri e propri test, posizionate i suoi controlli a un livello normale o “neutro”. Poi potrete calibrare l’oscilloscopio, utilizzando il suo punto di test interno, per verificare che funzioni correttamente.

Durante la lettura di questi passi, per identificare i vari pulsanti e le varie manopole presenti nell’oscilloscopio, fate riferimento alla [Figura 13.3](#). Il vostro oscilloscopio potrebbe avere un aspetto differente; controlli e manopole potrebbero avere nomi differenti. Ecco i passi da seguire per approntare un oscilloscopio.

1. Accendere l’oscilloscopio.

Se si tratta di un oscilloscopio a tubo catodico, dategli il tempo di scaldarsi. Al termine, nello schermo comparirà un punto o una linea.

2. Impostate la manopola Sweep Time/Division a 1 ms.

Questa impostazione è un buon valore intermedio per la calibrazione iniziale.

3. Portate la manopola Volts/Division a 0.5 V.

Anche questo è un buon valore intermedio per le attività di calibrazione, quando occorre verificare il funzionamento di circuiti a bassa tensione in corrente continua.

4. Impostate il controllo Trigger Level nella posizione automatica (o al centro, se lo strumento non riporta la posizione automatica). Selezionate AC Sync e Internal Sweep.

5. Selezionate l’impostazione Auto per i controlli Horizontal Position

e Vertical Position.

Se l'oscilloscopio non ha la posizione Auto, portate le manopole nel punto centrale.

6. Connettete una sonda di test all'ingresso.

Se la sonda ha più canali di ingresso, utilizzate il primo canale.

7. Selezionate Gnd (Ground) per Signal Clamp, se l'oscilloscopio ha questo controllo.

In alcuni strumenti, questo controllo si chiama Signal Coupling.

8. Connettete il morsetto di terra della sonda di test nel punto specificato dell'oscilloscopio ([Figura 13.6](#)).

Se l'oscilloscopio non ha una connessione di terra, applicate il morsetto a qualsiasi punto metallico esposto, per esempio la testa di una vite.

9. Se l'oscilloscopio ha un commutatore Signal Clamp, connettete il centro della sonda di test al punto di test per la calibrazione.

Se l'oscilloscopio non ha l'interruttore Signal Clamp, connettete il centro della sonda di test al punto di terra.

10. Regolate la manopola Vertical Position finché il tratto non si ferma sulla prima divisione dello schermo ([Figura 13.7](#)).

11. Regolate la manopola Horizontal Position finché il tratto è più o meno centrato sullo schermo.

Non vi preoccupate di utilizzare impostazioni esatte.

12. Se l'oscilloscopio ha un interruttore Signal Clamp, impostatelo su DC (corrente continua). Se non ha tale interruttore, portate la sonda di test dalla sua connessione a terra al punto di test per la calibrazione.



Figura 13.6 Connessione della massa della sonda alla connessione di terra dell'oscilloscopio.

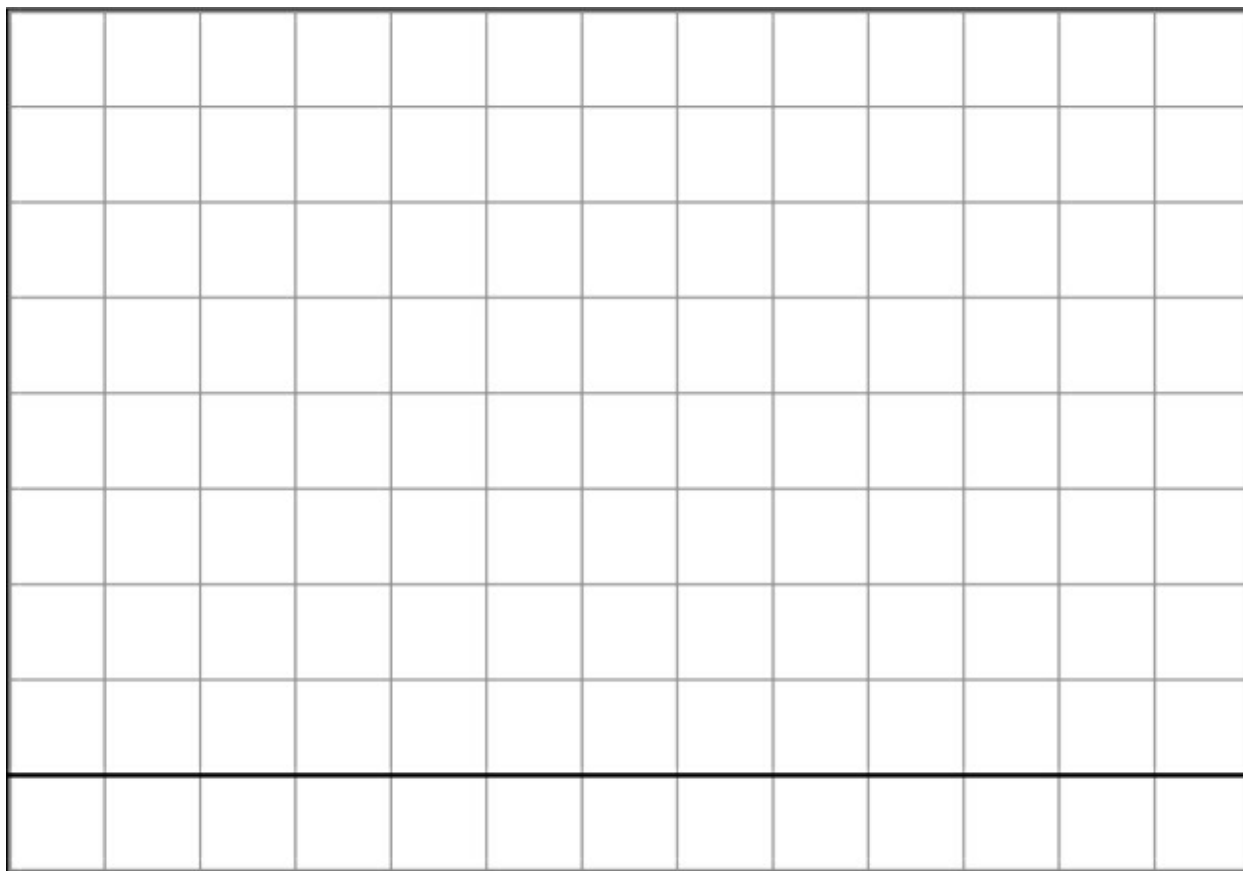


Figura 13.7 Regolate la manopola per la posizione verticale in modo che il tratto si
situi nella parte inferiore della griglia.

Molti oscilloscopi usano un segnale di test che ha l'aspetto di una forma d'onda quadra a frequenza relativamente bassa (una forma d'onda digitale che varia uniformemente tra le tensioni alta e bassa). Consultate il manuale dell'oscilloscopio per scoprire quale tensione e frequenza produce l'oscilloscopio impiegando il circuito di calibrazione.

Per esempio, supponete che il segnale sia da 0,5 V picco-picco (indicato come 0.5 V p-p) a 1000 Hertz. Se impostate la manopola Volts/Division a 0.5 V e il segnale di test ha un'ampiezza di 0,5 V, la forma d'onda rientra in una suddivisione dello schermo.



Riducendo l'impostazione Volts/Division si può rendere più ampia la forma d'onda. Eseguite questa correzione quando avete bisogno di maggiore precisione. Per esempio, se impostate la manopola Volts/Division a 0.1 V, un segnale di test da 0,5 V occuperà cinque divisioni.

Visualizzazione e misurazione dei segnali

Dopo aver configurato e collaudato l'oscilloscopio, sarete pronti per utilizzarlo per visualizzare ciò che accade nei circuiti.



Non utilizzate un oscilloscopio per controllare la tensione in corrente continua della presa di corrente domestica, a meno di prendere particolari precauzioni. Il manuale fornito con lo strumento mostrerà come procedere. Questo libro presuppone che utilizzate l'oscilloscopio solo per controllare circuiti a bassa tensione in corrente continua e segnali a bassa tensione in corrente alternata, come quelli di un microfono. Se connettete l'oscilloscopio direttamente ai 220 V in corrente alternata della presa da parete, correte il rischio di danneggiare lo strumento e, soprattutto, voi stessi.

Ecco un breve riepilogo dei passi che potete svolgere per misurare dei segnali di tensione con un oscilloscopio.

- 1. Connettete un puntale di test all'ingresso dell'oscilloscopio.**

NOTA: alcuni oscilloscopi offrono vari ingressi, o canali; questi passi suppongono che per il momento vi limitiate a un solo ingresso.

- 2. Regolate il controllo Volts/Division per impostare l'ampiezza o la gamma di tensione.**

Per esempio, se la tensione che state controllando è compresa tra 0 e 5 V, utilizzate 1 V per divisione. Con tale impostazione, ogni volt corrisponderà sul display a una suddivisione.

3. Regolate il controllo Sweep Time/Division per impostare l'intervallo di tempo del segnale.

Il *time slice* è la durata della parte del segnale che deve essere rappresentata sullo strumento. Un frammento breve mostrerà solo una breve porzione del segnale, mentre un frammento più ampio ne mostrerà di più. Potete sperimentare con il controllo Sweep Time/Division finché il segnale non avrà l'aspetto desiderato.

Se state controllando un segnale a bassa tensione in corrente alternata o un segnale digitale pulsante, impostate il controllo in modo da poter vedere adeguatamente il ciclo del segnale. Se state controllando un segnale in corrente continua fisso, questo controllo è meno importante, poiché il segnale non cambierà (non molto) nel corso del tempo. Scegliete impostazioni intermedie, per esempio 1 ms per divisione, per garantire letture coerenti.

4. Selezionate il tipo di segnale (AC o DC) e il canale d'ingresso.

Molti oscilloscopi (come quello rappresentato nella [Figura 13.3](#)) offrono due canali di ingresso, A e B, per consentire di misurare e confrontare simultaneamente due segnali. Se avete un oscilloscopio a un solo canale, ovviamente non avrete alcun selettore del canale di ingresso.

5. Regolate la manopola Vertical Position per impostare sull'oscilloscopio il livello di riferimento 0 V.

Se vi aspettate di vedere tensioni positive e negative, impostate la posizione verticale al centro dello schermo (quinta divisione verticale); se vi aspettate di vedere solo tensioni positive, impostate la posizione verticale in fondo allo schermo (prima suddivisione verticale). La posizione verticale impostata in questo passo (senza alcun segnale applicato all'oscilloscopio) specifica il livello di riferimento 0 V sul display dello strumento.

- 6. Se oscilloscopio ha un interruttore Trigger (come nella maggior parte dei casi), impostatelo su Auto.**
- 7. Quando avete configurato correttamente l'oscilloscopio, connettete la sonda di test al segnale che volete controllare.**

Connettete la terra dell'oscilloscopio alla massa del circuito.
Connettete la sonda al punto del circuito che volete controllare (osservate, per esempio, la [Figura 13.8](#)).

- 8. Leggete la forma d'onda visualizzata sullo schermo.**

Se l'oscilloscopio non ha una funzione di lettura diretta che mostra anche in forma numerica le tensioni rilevate, dovrete correlare ciò che vedete sullo schermo con le impostazioni dell'oscilloscopio.

Per leggere un livello di tensione, dovrete determinare la posizione verticale di un punto nella forma d'onda rispetto a 0 V, come impostato nel passo 5, e poi moltiplicarlo per la scala di tensione (Volts/Division) che avete scelto.

Supponiamo, per esempio, che abbiate impostato la posizione di riferimento 0 V al centro dello schermo (quinta divisione verticale) e la scala di tensione a 2 V per suddivisione. Un punto sulla forma d'onda visualizzata si trova a 3,2 divisioni sopra il centro dello schermo e dunque rappresenterà 6,4 V (3,2 divisioni X 2 V per divisione). Un punto che si trova a 1,5 suddivisioni sotto la linea centrale dello schermo rappresenta una tensione di -3,0 V (-1,5 suddivisioni X 2 V per suddivisione).



Se avete un oscilloscopio a doppia traccia, potete visualizzare contemporaneamente due segnali. Gli oscilloscopi a due tracce hanno due set di puntali, uno per il canale A e l'altro per il canale B. Potete regolare indipendentemente le due tracce in modo da visualizzare i segnali uno sopra l'altro oppure sovrapposti. Supponiamo, per esempio, di voler controllare il

guadagno di un circuito amplificatore. Connettete i cavi del canale A all'ingresso dell'amplificatore e i cavi del canale B all'uscita dell'amplificatore. Allineando le tracce in modo che siano una sopra l'altra, potete confrontare con facilità i segnali e calcolare il guadagno. Questa funzionalità può essere molto utile nell'analisi dei circuiti.

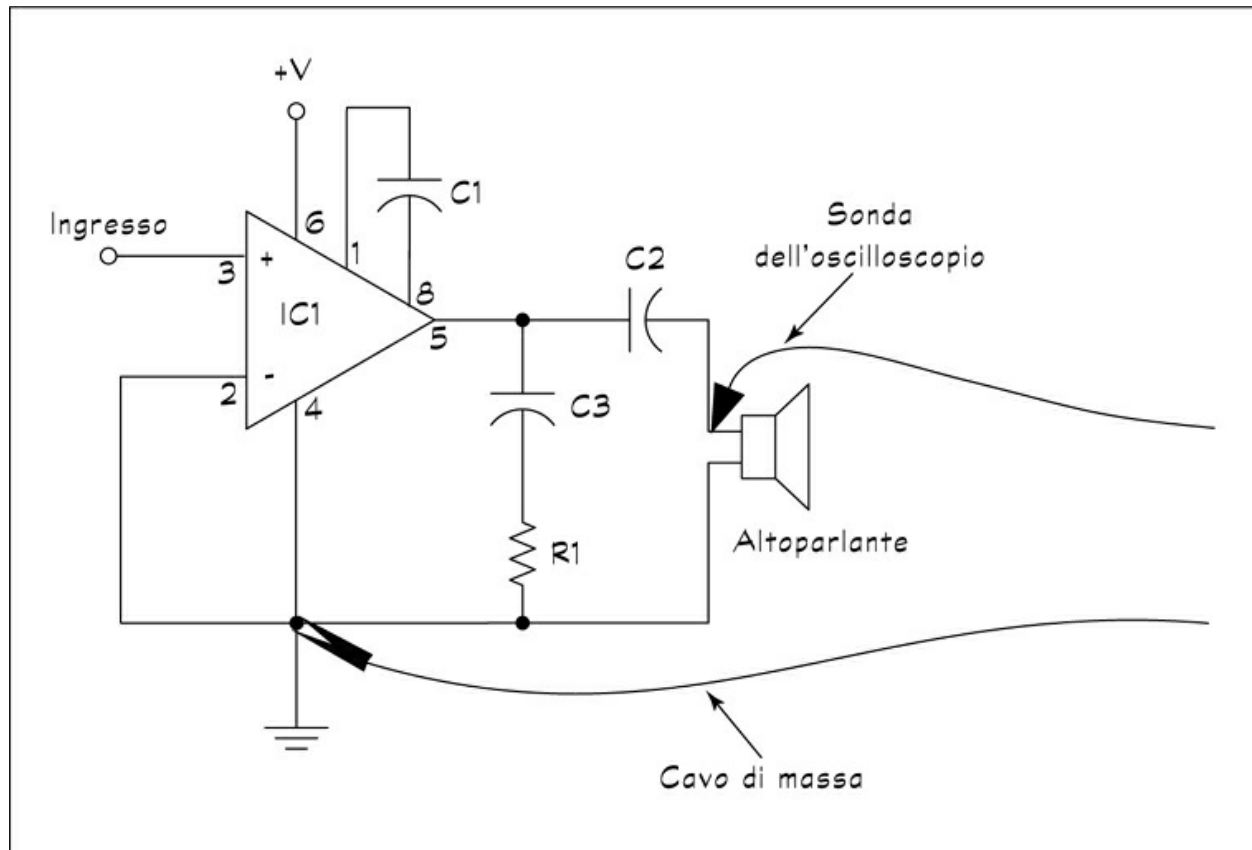


Figura 13.8 Toccate con la punta dell'oscilloscopio il circuito e il punto del circuito che volete sottoporre a test.

Facciamo qualche test!

Con quanto avete letto finora, dovrete avere almeno una vaga idea del funzionamento di un oscilloscopio, di cosa fa e di come usarlo per visualizzare un segnale. Nei prossimi paragrafi vedremo come eseguire un paio di rapidi test. Questi test mostrano come usare un oscilloscopio per alcune semplici misure. Dopo aver eseguito questi test, comincerete a capire

davvero come funziona lo strumento.

C'è ancora carica nella batteria?

Un test rudimentale vi aiuterà a familiarizzare con la misurazione della tensione delle batterie con un oscilloscopio. Una batteria produce una tensione fissa in corrente continua e dunque l'impostazione Sweep dell'oscilloscopio è irrilevante in questo test. Volete solo sapere quale tensione viene visualizzata dallo strumento sullo schermo.

Per questa dimostrazione, aprite il cassetto della scrivania e tirate fuori una batteria da 9 V. Dopo aver eseguito la procedura descritta nel paragrafo “Configurazione di base e test iniziali”, in precedenza in questo capitolo, ecco come sottoporre a test la batteria.

- 1. Impostate la manopola Volts/Division su 2 V.**
- 2. Assicuratevi che la manopola Vertical Position porti il riferimento in fondo allo schermo (prima suddivisione verticale).**

In questo modo il livello di riferimento di 0 V si troverà in fondo allo schermo.
- 3. Connettete il morsetto di terra dello strumento al terminale negativo della batteria.**
- 4. Connettete il centro della sonda di test al terminale positivo della batteria.**

Se la batteria è completamente carica, la linea che comparirà sullo schermo dovrà cadere approssimativamente a metà strada fra la quarta e la quinta suddivisione verticale. Poiché avete impostato la manopola Volts/Division a 2 V, ciò indica che la batteria contiene 9 V (4,5 suddivisioni x 2 V per suddivisione). Se la linea sullo schermo si trova sotto la quarta suddivisione verticale, significa che la batteria è da buttare.

Sezionare una radio per visualizzare una forma d'onda audio

Gli oscilloscopi possono rappresentare visivamente forme d'onda in corrente alternata, come il segnale elettrico che dà voce a un altoparlante. Questo segnale audio è complesso, in quanto è costituito da frequenze che cambiano costantemente. Queste frequenze trasportano le canzoni, il parlato e i suoni di tutti gli strumenti musicali.

Per questo test, aprite il retro di una normale radio alimentata a batterie, in modo da esporre i due terminali cui è connesso l'altoparlante. Dopo aver eseguito la procedura descritta nel paragrafo “Configurazione di base e test iniziali”, in precedenza in questo capitolo, seguite questi passi per osservare il segnale che giunge all'altoparlante.

- 1. Regolate la manopola Vertical Position in modo che il riferimento sia situato esattamente al centro dello schermo (quinta suddivisione verticale).**

In questo modo, potrete vedere le variazioni di tensione sia sopra, sia sotto lo zero (0 V).

- 2. Impostate la manopola Volts/Division su 1 V.**
- 3. Impostate la manopola Sweep Time/Division a 0,1 millisecondi (0.1 ms).**
- 4. Connettete il morsetto di terra dell'oscilloscopio a uno dei terminali dell'altoparlante.**
- 5. Connettete il centro della sonda di test all'altro terminale dell'altoparlante.**
- 6. Accendete la radio e osservate il display.**
- 7. Se all'inizio non vedete nulla, riprovate riducendo l'impostazione Volts/Division.**

Ecco alcune cose da osservare nell'esecuzione di questo test.

- ✓ **L'ampiezza della forma d'onda aumenta e si riduce in base al volume della radio.** Questo cambiamento si verifica perché il controllo del volume cambia la tensione del segnale applicata all'altoparlante.
- ✓ **Ruotando la manopola Sweep Time Per Division, potete vedere dettagli più fini del segnale.**



Se avete a disposizione un *generatore di funzioni* in grado di produrre una varietà di segnali (come vedremo nel [Capitolo 16](#)), potete utilizzare questa stessa tecnica per dare un'occhiata alle forme d'onda prodotte. Invece di un misto di linee frastagliate, troverete un'onda sinusoidale ben distinta e osserverete come il suo aspetto cambi variando la frequenza. Potete anche osservare altri tipi di forme d'onda, come l'onda quadra e l'onda triangolare.

Controllare la frequenza di un circuito in corrente alternata

Potete determinare la frequenza di un segnale in corrente alternata e visualizzare la corrente a 50 Hertz della presa di corrente domestica. Dotatevi, però, della seguente precauzione prima di collegare qualsiasi cosa.



Anche se è tecnicamente *possibile* collegare la sonda di test di un oscilloscopio direttamente a una presa di corrente di rete, **NON FATELO!** Mai! Pensateci bene! Facendolo vi esporreste a gravi rischi.

Al contrario, potete controllare indirettamente la frequenza di alimentazione della rete in modo indiretto e sicuro utilizzando un fototransistor.

Sì, per questo test avete bisogno di un *fototransistor* (un transistor sensibile alla luce, come descritto nel [Capitolo 8](#), e una resistenza da 10 k Ω (per informazioni sulle resistenze, consultate il [Capitolo 3](#)). Connettete il fototransistor e la resistenza a una batteria da 9 V, secondo lo schema rappresentato nella [Figura 13.9](#). Poi prendete una lampadina a incandescenza e sarete pronti!

Dopo aver eseguito la procedura di configurazione e test descritta nel paragrafo “Configurazione di base e test iniziali” in precedenza in questo stesso capitolo, svolgete il test con i seguenti passi.

1. **Regolate la manopola Vertical Position per posizionare il riferimento al centro dello schermo (quinta suddivisione verticale).**
2. **Impostate la manopola Volts/Division a 1 V.**
3. **Impostate la manovra Sweep Time/Division a 10 ms.**
4. **Connettete il morsetto di terra dell'oscilloscopio al terminale negativo della batteria.**

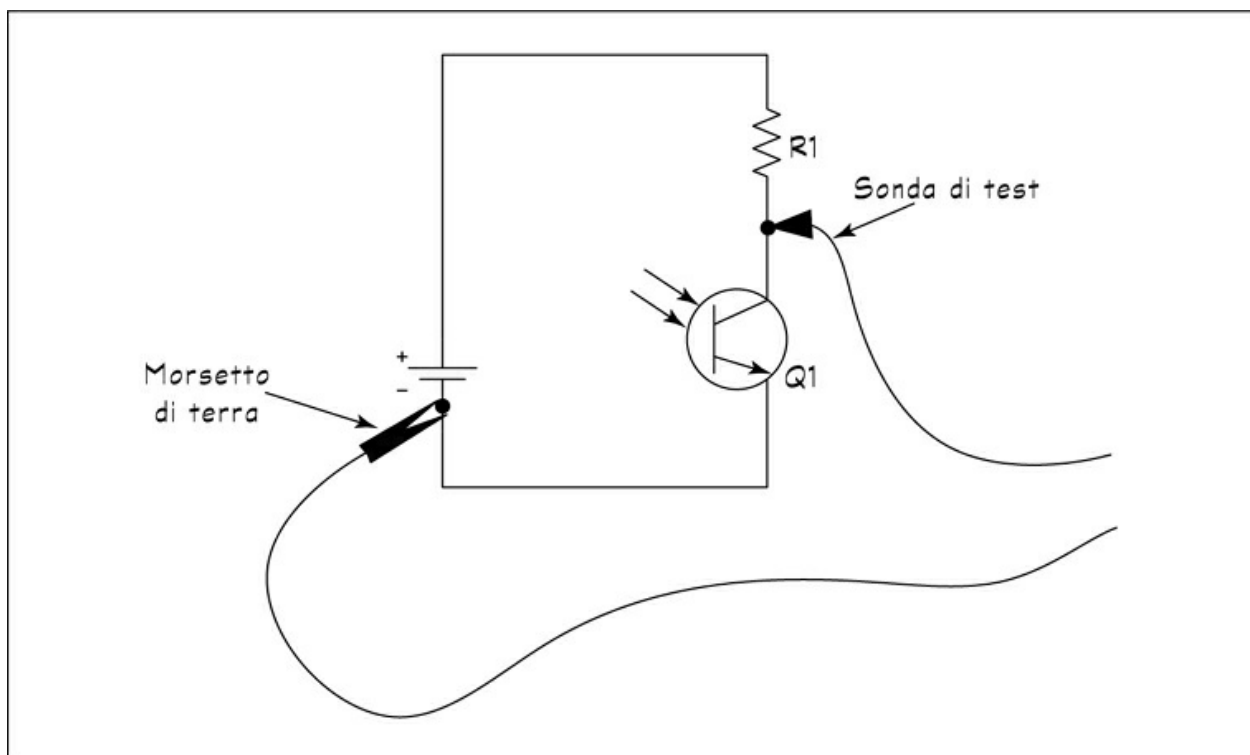


Figura 13.9 Un semplice circuito per controllare la frequenza della corrente alternata di casa.

- 5. Connettete il centro della sonda di test al punto in cui avete connesso fra loro il fototransistor e la resistenza.**
- 6. Accendete la luce e notate la forma d'onda prodotta.**

Per ottenere migliori risultati, non puntate direttamente il fototransistor verso la lampada. Piuttosto, orientate il sensore o la luce finché non vedrete comparire un'onda sinusoidale. Se la lampada è troppo vicina al fototransistor, quest'ultimo potrebbe saturarsi (andare in sovraccarico) e non vedrete alcun cambiamento di segnale. Regolate la manopola Volts/ Division fino a ottenere una buona lettura.

Il fototransistor è in grado di rilevare rapidi cambiamenti di luminosità, che si trasformano negli alti e bassi del segnale sul display dell'oscilloscopio, il quale reagisce molto più rapidamente rispetto ai vostri occhi. Per quanto proviate, non sarete in grado di osservare direttamente la lampada mentre diventa più luminosa e più scura quando la corrente aumenta e diminuisce; ciò è dovuto al fenomeno di *persistenza della visione* (grazie al quale il cervello riempie i “vuoti” nella visione). Ma grazie alla magia dell'elettronica, potete “vedere” la luce pulsare!



Per questo test dovete necessariamente utilizzare una lampadina a incandescenza. Le lampade a basso consumo (fluorescenti) e a LED comprendono circuiti elettronici che hanno lo scopo di stabilizzare la corrente che attraversa l'elemento radiante mentre la tensione della corrente si alterna su valori alti e bassi.

Il grafico che compare sul display dell'oscilloscopio rappresenta la corrente alternata che pulsa attraverso la lampada a incandescenza. Un fototransistor è abbastanza selettivo da registrare ogni accensione e spegnimento della luce

che si verifica quando la corrente alternata diviene positiva o negativa e dunque il tracciato che compare cambia due volte più spesso rispetto alla corrente domestica che attraversa la lampadina. Pertanto la frequenza della forma d'onda sull'oscilloscopio sarà doppia rispetto alla frequenza della corrente alternata domestica; approssimativamente si collocherà attorno ai 100 Hz.

Dimenticatevi, per il momento, che conoscete già la frequenza della forma d'onda. Per determinare la frequenza leggendo l'oscilloscopio, calcolate innanzitutto il periodo della forma d'onda (il tempo impiegato per completare un intero ciclo di “su e giù”) e poi convertitelo in frequenza per renderlo reciproco. Per farlo, potete misurare la distanza da cresta a cresta della forma d'onda. In questo caso, potrà trovarsi a circa il 75% di una suddivisione. Ora potete moltiplicare questa distanza per il valore Sweep Time/Division che avete impostato (10 ms ovvero 0,01 s) per ottenere il periodo, nel seguente modo:

Periodo (in secondi) = 0,75 divisioni X 0,01 secondi / divisione = 0,0075 secondi.

Quindi prendete il reciproco del periodo per ottenere la frequenza:

Frequenza (in hertz) = $1/\text{periodo (in secondi)}$

$$= 1/0,0075$$

$$= 100 \text{ Hz}$$

Ricordando che la frequenza della forma d'onda sul display dell'oscilloscopio è doppia rispetto alla frequenza della corrente domestica che pulsa attraverso la lampada, basta dividere 100 Hz per 2 per ottenere una stima della frequenza della corrente domestica: 50 Hz.



Un oscilloscopio consente di calcolare un'approssimazione della frequenza di

un segnale. Se avete bisogno di qualcosa di più preciso, dovrete procurarvi uno strumento chiamato *frequenzimetro*. Questo apparecchio usa una lettura digitale per visualizzare la frequenza del segnale, con una precisione molto superiore. Per informazioni sui frequenzimetri, consultate il [Capitolo 16](#).

Parte III

Dalla teoria alla pratica

The 5th Wave

By Rich Tennant

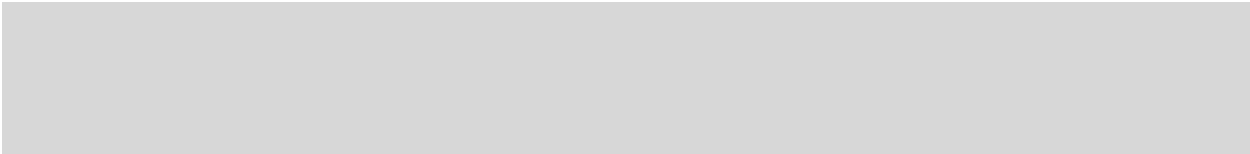


“Cara, ho aggiustato il citofono.
Devi solo ricordarti di rispondere alle pale da soffitto
quando suonano al campanello.”

In questa parte...

Conoscere per filo e per segno il modo in cui i componenti elettronici controllano la corrente elettrica è utile, ma vedere fisicamente in azione tutto questo è pura “libidine elettronica”. In questa parte, imparerete ad approntare semplici circuiti elettronici, per mettere finalmente in pratica i principi presentati. Vedremo come si usa in pratica il multimetro (con un pizzico di matematica) per verificare che i componenti elettronici mantengano davvero le promesse. Accenderemo anche qualche LED, per mostrare dove e quando la corrente elettrica attraversa i circuiti.

Vedremo anche come realizzare alcuni divertenti progetti elettronici, che potete assemblare in una mezzoretta, senza spendere praticamente nulla. Con sensori, luci e buzzer, potete mettere in pratica le nozioni di elettronica, per creare una serie di circuiti pratici e anche divertenti. Partendo da questi progetti potrete trarre tante idee creative per realizzare altri circuiti, per impressionare amici e parenti.



Capitolo 14

“Eppur s’accende!”: i primi circuiti

In questo capitolo

La Legge di Ohm in pratica: semplici circuiti resistivi.

Il “respiro” di un condensatore: gli alti e i bassi della tensione.

Vedere la luce con i LED (Luce Elettronica Divertente).

Usare un diodo Zener.

Dirigere e amplificare la corrente con i transistor.

Ragionare in modo logico con le porte NAND.

Forse vi sarete chiesti se tutta la discussione teorica dei Capitoli da 1 a 6 si sarebbe mai trasformata in qualcosa di concreto, nel laboratorio elettronico che avete appena approntato. Siamo sicuri che le resistenze “resistono”? Quando un condensatore si carica, per quanto tempo conserverà l’energia elettrica, finché non gli darete poi la possibilità di scaricarsi? Davvero i semiconduttori conducono solo quando decidiamo noi? E davvero le porte logiche dicono sempre la verità?

Se siete interessati a vedere in azione i principi dell’elettronica, questo è il capitolo giusto.

Realizzeremo alcuni semplici circuiti che soddisferanno la vostra curiosità elettronica, mettendo all’opera i vari componenti che abbiamo illustrato finora e le leggi che li governano. Potete assemblare ognuno di questi circuiti in meno di dieci minuti e assistere in prima persona al modo in cui uno o più

componenti “addomesticano” la corrente elettrica. Utilizzando come guida il vostro multimetro (con alcuni indizi visuali rappresentati da alcuni LED collocati in modo strategico), scoprirete che cosa accade in un circuito.

Pronti per esplorare?

Per prepararvi a realizzare i circuiti presentati in questo capitolo, assicuratevi di avere a disposizione tutto l’occorrente. Come minimo, avete bisogno dei seguenti “ingredienti” per realizzare ed esplorare i circuiti trattati in questo capitolo.

- ✓ **Una breadboard.** Avrete bisogno di almeno una breadboard per realizzare, aggiornare, rielaborare e ricostruire i circuiti di cui parleremo. Se necessario, ripassate le tecniche per la realizzazione di circuiti su breadboard, trattate nel [Capitolo 11](#), per sapere quali fori sono connessi a quali altri fori, prima di iniziare a disporre i componenti a casaccio.
- ✓ **Batterie.** Tutti i circuiti di questo capitolo impiegano una o due batterie da 9 V. Vale la pena di averne a disposizione anche altre, qualora abbiate bisogno di un circuito che deve essere alimentato per molto tempo. Per facilitare la realizzazione di un circuito, acquistate due clip per batterie da 9 V, che vi consentiranno di connettere e disconnettere con facilità le batterie dai circuiti, eliminando la necessità di impiegare un interruttore (normalmente non sarà necessario eseguire operazioni di saldatura, ma se la clip per batterie è senza cavetti e dovete saldarli, consultate il [Capitolo 11](#)).
- ✓ **Multimetro.** Se state leggendo questo capitolo, è molto probabile che vogliate provare a realizzare davvero alcuni circuiti. Un multimetro vi consentirà di misurare la tensione, la resistenza e la corrente mentre osservate ciò che accade agli elettroni che girano per i vostri circuiti. Per informazioni sui multimetri, consultate il [Capitolo 12](#).
- ✓ **Calcolatrice.** Se non avete voglia di fare a mente i calcoli matematici necessari, tenete a portata di mano una calcolatrice.



Scegliete attentamente le unità di misura. Convertite i valori in ohm, ampere e volt prima di calcolare qualsiasi cosa.

Giusto per semplificare un po' la "lista della spesa", ecco un elenco di tutti i componenti elettronici necessari per realizzare i circuiti che esamineremo nel corso di questo capitolo.

- ✓ **Resistenze:** con un'eccezione, appositamente indicata, si tratta di resistenze da 1/4 o 1/8 W, con una tolleranza del 10% (o anche del 20%). Avrete bisogno delle seguenti resistenze fisse: una da 220 Ω , una da 330 Ω , due da 470 Ω 1/2 W, due da 1 k Ω , due da 10 k Ω e una da 100 k Ω .
- ✓ **Potenzimetri:** uno ciascuno dei seguenti tipi: 10 k Ω , 100 k Ω e 1 M Ω . Per preparare ciascun potenziometro da utilizzare nella breadboard, saldate ai suoi tre terminali degli spezzoni di filo di circa dieci centimetri. Ricordate che il terminale centrale è connesso al contatto mobile interno del potenziometro e gli altri due terminali sono fissi.
- ✓ **Condensatore:** un condensatore elettrolitico da 470 μ F operante come minimo a 25 V.
- ✓ **Transistor:** due transistor bipolari NPN standard, per esempio 2N3904 o BC548.
- ✓ **LED:** due LED standard da cinque millimetri di qualsiasi colore (anche dello stesso colore).
- ✓ **Diodi:** Un diodo Zener 1N4731 4,3V 1W.
- ✓ **Circuiti integrati:** un circuito integrato 4011 (quad 2-input NAND gate).

Per il primo circuito, descriveremo tutto il processo di realizzazione su breadboard. Per i circuiti successivi, mostreremo solo lo schema e lasceremo

a voi la realizzazione. Mentre realizzate ciascun circuito, utilizzate una linea lungo la parte superiore della breadboard per le connessioni al lato positivo dell'alimentazione e una linea nella parte inferiore per le connessioni a massa (il lato negativo dell'alimentazione), come vedremo nel primo circuito che realizzeremo.

Vedere per credere: la Legge di Ohm funziona davvero!

Il [Capitolo 3](#) tratta uno dei principi più importanti dell'elettronica: la Legge di Ohm. La caduta di tensione, V , attraverso un componente che oppone una resistenza fissa, R , è uguale al prodotto fra la corrente, I , che attraversa il componente e il valore della resistenza (R). La Legge di Ohm governa tutti i componenti elettronici dotati di resistenza. Si può riassumere con la seguente equazione:

$$V = I \times R$$

Potete anche disporre i termini di tale equazione in modo differente, per ottenere altre due equazioni che, in realtà, dicono sempre la stessa cosa, ma in due modi diversi:

$$I = \frac{V}{R}$$

e

$$R = \frac{V}{I}$$

Potete applicare la Legge di Ohm a ogni circuito, dai semplici circuiti in serie ai più complessi circuiti in serie/parallelo. In questo paragrafo metteremo alla prova la Legge di Ohm, per assicurarci che funzioni (e certo che funziona!) e per fare i primi passi nel campo dell'analisi dei circuiti.



Mentre esplorate questi circuiti, tenete in considerazione un'altra regola importante (la Legge della tensione di Kirchhoff) che vale per ogni circuito: *gli incrementi e le cadute di tensione attraverso un circuito hanno sempre somma zero*. Nei circuiti alimentati in corrente continua, come quelli di cui stiamo parlando, un altro modo per dire la stessa cosa è che le cadute di tensione che si verificano attraverso tutti i componenti di un circuito sono equivalenti alla tensione di origine. Per ripassare questi concetti, consultate il [Capitolo 2](#).

Analisi di un circuito in serie

La [Figura 14.1](#) mostra un semplice circuito in serie costituito da una batteria da 9 V, una resistenza (R_1) da 470 Ω e un potenziometro, una resistenza variabile (R_2), da 10 k Ω . Abbiamo anche indicato le cadute di tensione attraverso R_1 e R_2 . Per questo circuito, potete connettere il contatto centrale (mobile) e uno dei contatti esterni (fisso) del potenziometro insieme, come è pratica comune quando si usa un potenziometro come una resistenza variabile a due terminali. In questo modo, R_2 è la resistenza combinata da un terminale fisso all'altro terminale fisso del potenziometro. Ruotando il potenziometro, potete variare la resistenza di R_2 fra 0 (zero) Ω e 10 k Ω .

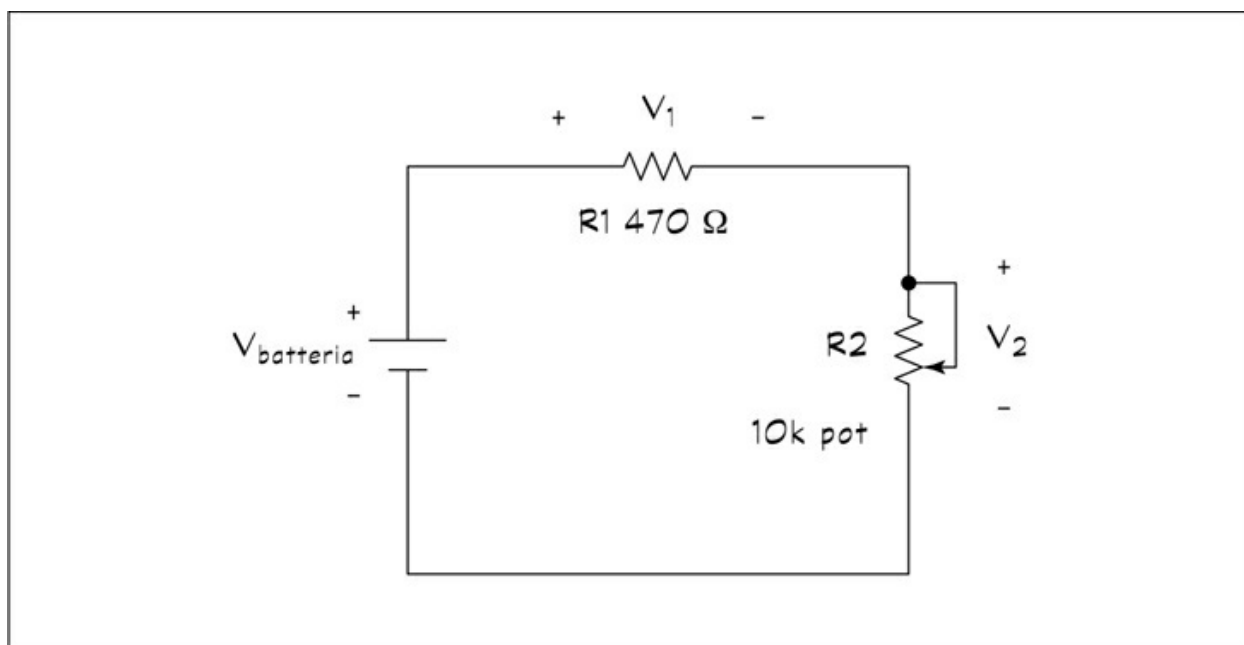


Figura 14.1 Con un semplice circuito in serie, potete mettere alla prova la Legge di Ohm.

Prima di inserire un potenziometro in un circuito, utilizzate il multimetro (impostato in ohm) per misurarne la resistenza (dal contatto centrale al contatto fisso, che non è connesso a quello mobile). Ruotate il potenziometro completamente in una direzione, in modo che il multimetro riporti l'indicazione 0 (zero) Ω .

Realizzazione di un semplice circuito in serie

Fate riferimento alla [Figura 14.2](#) per realizzare il circuito sulla breadboard. Costruite il circuito un passo alla volta, connettendo per ultima la batteria.

- 1. Per prima inserite la resistenza fissa R1.** Inserite un terminale (qualsiasi) in un foro nella linea superiore della breadboard e l'altro terminale in un foro nella sezione centrale della breadboard.
- 2. Poi inserite il potenziometro R2.** Inserite il contatto fisso (quello che non è connesso al mobile) in un foro della sezione centrale, nella stessa colonna in cui si trova il contatto della resistenza R1 e connettete gli altri due contatti ad altrettanti fori lungo la linea inferiore.

3. **Infine aggiungete la batteria.** Inserite il contatto del terminale negativo in un foro lungo la linea inferiore e poi connettete il cavo del terminale positivo in un foro lungo la linea superiore, per completare il circuito.

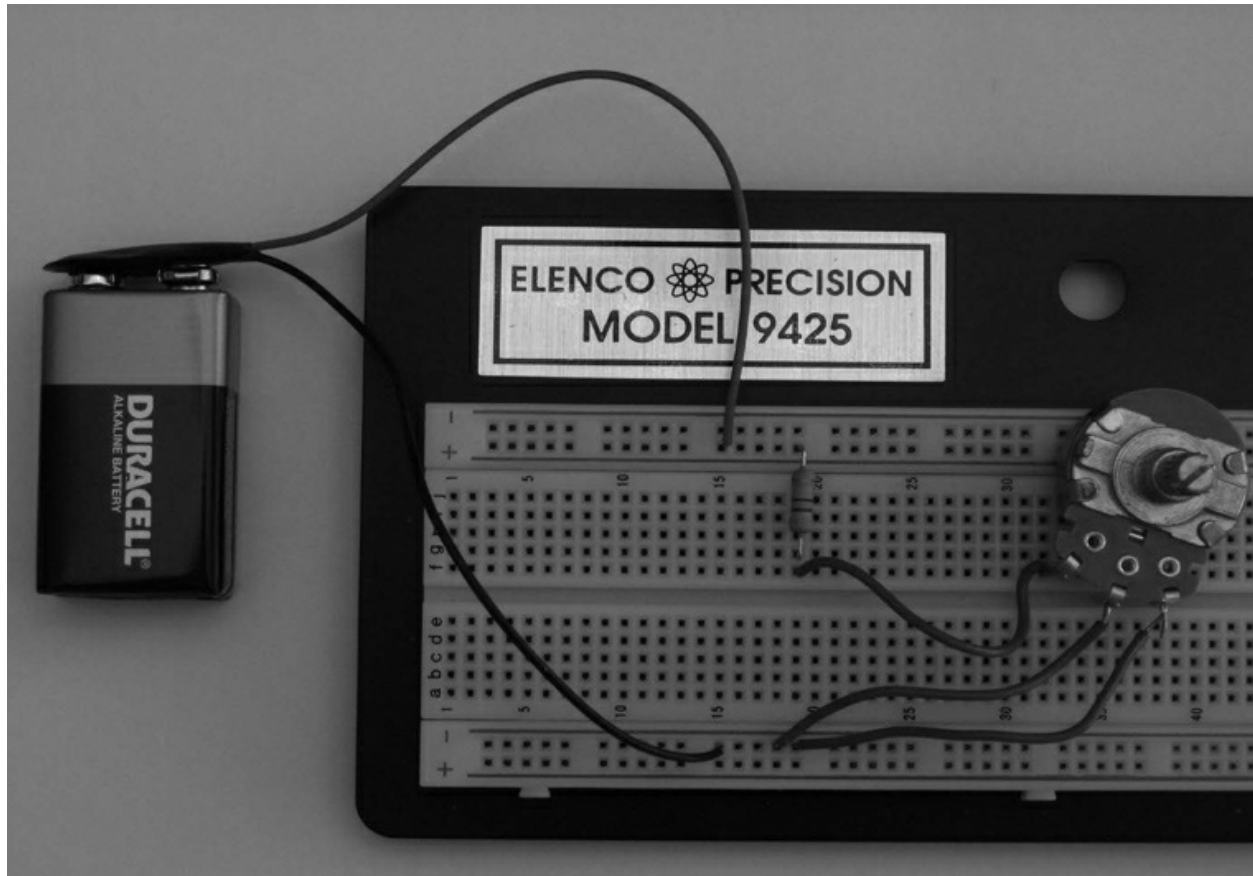


Figura 14.2 Realizzazione di un semplice circuito in serie su una breadboard.

Ora è tempo di controllare il funzionamento del circuito con un multimetro.

Dare tensione a un circuito

Innanzitutto potete leggere alcune tensioni. Impostate il multimetro in modo che operi in corrente continua con misurazioni fino a 10 V e svolgete le seguenti operazioni.

1. **Iniziate con un semplice test per determinare l'esatta tensione della**

batteria: toccate con il puntale nero del voltmetro il terminale negativo della batteria e con il puntale rosso il terminale positivo della batteria.

Potete farlo inserendo delicatamente la punta di ciascun puntale in un foro della breadboard che è connesso al punto in cui intendete misurare il circuito.

Dovreste rilevare una lettura di circa 9 volt (per una batteria nuova). Prendete nota di questo valore.

- 2. Controllate la tensione che attraversa il potenziometro R2. Per farlo, collocate il puntale nero del voltmetro nel punto in cui R2 è connessa al terminale negativo della batteria e il puntale rosso nel punto in cui sono connesse le resistenze R1 e R2.**

Quale lettura ottenete? Quale vi aspettate di ottenere, e perché? (Suggerimento: il potenziometro è ruotato completamente verso 0 Ohm.)

- 3. Controllate la tensione che attraversa R1. Orientate i puntali del voltmetro in modo da leggere una tensione positiva, collocando il puntale nero nel punto in cui R1 incontra R2 e il puntale rosso nel punto in cui la resistenza R1 è connessa alla batteria.**

Quale lettura ottenete, e perché? Se sommate le due tensioni che avete misurato, dovreste ottenere l'intera tensione della batteria, nel seguente modo:

$$V_1 + V_2 = V_{\text{batteria}}$$

Provate a regolare il potenziometro in vari modi e misurate di nuovo V_1 e V_2 . La loro somma è sempre V_{batteria} ?

Tutto sulla Legge di Ohm

Per mettere alla prova la Legge di Ohm, riportate a zero il potenziometro e pensate a quale corrente vi aspettate di vedere nel circuito in serie con il potenziometro ruotato completamente verso 0 Ohm. Poi, con i puntali disconnessi dal circuito, cambiate l'impostazione del multimetro in ampere in

corrente continua, e impostatelo sulla gamma dei 200 mA (potete anche portarlo sui 20 mA, ma è meglio partire da un intervallo più ampio e poi scendere a livelli inferiori, piuttosto che fare il contrario).



Ricordate che per misurare la corrente occorre porre il multimetro in serie con ciò di cui si intende misurare la corrente. Ma prima di lavorare sul circuito, disconnettete la batteria, semplicemente togliendo uno dei suoi cavi dalla breadboard. È bene abituarsi a togliere l'alimentazione prima di operare sui componenti di un circuito.

Per mettere alla prova la Legge di Ohm, procedete nel seguente modo.

- 1. Quando l'alimentazione è disconnessa, spostate in un'altra colonna della breadboard il connettore del potenziometro R2 che è connesso a R1.**

In questo modo avete aperto il circuito.

- 2. Connettete il puntale rosso del multimetro al lato aperto di R1 e il puntale nero al lato aperto di R2. Poi connettete la batteria al circuito.**

Dovreste ottenere una lettura di corrente. Se la lettura è minore di 20 mA, potete impostare sul multimetro un intervallo di 20 mA per ottenere una lettura più precisa. La corrente che leggete è quella che vi aspettavate? Siete convinti che la Legge di Ohm valga anche per il vostro circuito?

- 3. Con il multimetro ancora connesso fra R1 e R2, ruotate lentamente il potenziometro e osservate come cambia la corrente.**

Le letture procedono nella direzione corretta?

- 4. Ruotate il potenziometro completamente dal lato opposto.**

La lettura di corrente è quella che vi aspettavate? Ricordate che la

corrente che attraversa un circuito in serie è limitata da tutte le resistenze del circuito e che le resistenze in serie si sommano (ricordate anche che il multimetro stesso aggiunge al circuito una certa dose di resistenza, anche se minima).

5. **Ruotate il potenziometro finché la lettura non sarà di circa 10 mA e calcolate il valore della resistenza R2 che vi aspettereste.**
6. **Disconnettete la batteria e poi togliete il potenziometro dal circuito.**
7. **Portate il multimetro sulla misurazione degli ohm, con un intervallo di 2 kΩ. Poi misurate la resistenza fra i contatti del potenziometro.**

La resistenza è quella che vi aspettate?

Potete sperimentare a piacere, ruotando il potenziometro e misurando correnti e tensioni per verificare il funzionamento della Legge di Ohm. Noterete che le cadute di tensione attraverso R1 e R2 variano mentre cambia la resistenza del potenziometro e che la somma di queste tensioni equivale sempre alla tensione della batteria. Provate a compilare la seguente tabella dopo aver eseguito i test; aggiungete eventuali righe per altre impostazioni del potenziometro.

<i>R2</i>	<i>Corrente</i>	<i>V₂</i>	<i>V₁</i>
0 Ω			
	10 mA		
		5 V	
10 kΩ			

Ripartire la tensione

Utilizzando lo stesso circuito in serie rappresentato nella [Figura 14.1](#), potete anche verificare il concetto di partizione della tensione trattato nel [Capitolo 3](#). Supponete, per esempio, di dover fornire a un circuito 5 V, ma di avere a disposizione solo una fonte di alimentazione a 9 V. Potete ripartire la tensione della batteria tra due o più componenti resistivi, scegliendo le

resistenze in modo che una delle tensioni risultanti sia di 5 V.

Utilizzando la Legge di Ohm, sapete che la resistenza attraverso R2 è uguale alla corrente, I, che attraversa il circuito, moltiplicata per la resistenza R2. Sapete anche che la corrente, I, è uguale alla tensione della batteria divisa per la resistenza totale del circuito, che è R1 + R2. Da queste due equazioni, potete trarre un'espressione riguardante la tensione attraverso R2:

$$\begin{aligned} V_2 &= I \times R2 \\ &= \frac{V_{\text{batteria}}}{R1 + R2} \times R2 \\ &= \frac{R2}{R1 + R2} \times V_{\text{batteria}} \end{aligned}$$

Notate che l'espressione sul lato destro di questa equazione è ciò che ottenete quando moltiplicate un rapporto fra la resistenza e la tensione fornita. Dopo aver tolto il potenziometro dal circuito, ruotatelo su alcuni punti precisi e misuratene la resistenza. Data la resistenza, quale tensione ci si può aspettare attraverso il potenziometro? Inserite il potenziometro nel circuito, alimentatelo, e misurate la tensione attraverso il potenziometro. Si avvicina al valore stimato?

Utilizzate la seguente tabella per verificare il circuito partitore di tensione per un intervallo di valori R2. Cosa notate relativamente al valore di V₂, rispetto alla tensione della batteria quando R2 è molto maggiore di R1? Qual è il senso di ciò che accade?

R2	Stima di $V_2 = \frac{R2}{R1 + R2} \times V_{\text{batteria}}$	V ₂ misurato
50 Ω		
100 Ω		
470 Ω		
1 kΩ		
5 kΩ		
8 kΩ		
10 kΩ		

Ora, supponete di voler progettare un circuito partitore di tensione che produca 5 V attraverso R2. Per farlo, calcolate lo specifico valore di R2 che produrrà 5 V. Questo significa inserire 5 V per V_2 nell'equazione di divisione della funzione rappresentata in precedenza; in tal modo si determina il valore di R2 (notate che non avete bisogno di conoscere la corrente che attraversa il circuito per progettare il partitore di tensione). Dopo un po' di calcoli matematici (nei quali non entriamo, perché questo non è un libro di matematica) e supponendo che la batteria fornisca 9 V, si ottiene la seguente equazione per R2:

$$R2 = \frac{5}{4} \times R1 = 1,25 \times R1$$

Poiché R1 è uguale a 470 Ω (almeno in linea teorica), ci si dovrebbe aspettare di produrre 5 V attraverso R2 quando il potenziometro è impostato a circa 588 Ω (equivalente a $1,25 \times 470 \Omega$).

Ecco come verificare i calcoli.

- 1. Impostate il multimetro su una tensione in corrente continua nella gamma dei 10 V e misurate la tensione attraverso il potenziometro.**
- 2. Ruotate il potenziometro finché la lettura di tensione non è equivalente a 5 V.**
- 3. Rimuovete il potenziometro dal circuito e misuratene la resistenza.**

Il valore della resistenza dovrebbe essere prossimo a 588 Ω .

Potete verificare il concetto di partitore di tensione anche per conto vostro. Scegliete un valore di R2 e regolate il potenziometro su quel valore. Calcolate la tensione prevista attraverso R2 e poi misurate l'effettiva tensione con il potenziometro nel circuito.

Resistenze in parallelo

Volete vedere quali meraviglie accadono proprio sotto i vostri occhi? Preparete il circuito rappresentato nella [Figura 14.3](#) e misurate le singole

correnti, utilizzando la seguente procedura.

- 1. Impostate il multimetro per la misurazione della corrente (ampere) in corrente continua, con una gamma di 20 mA.**
- 2. Misurate la corrente di alimentazione I_1 nel seguente modo:**
 - A. interrompete il circuito fra la batteria e R1;
 - B. inserite il multimetro in serie fra la batteria e R1, il puntale rosso connesso al terminale positivo della batteria e il puntale nero connesso al lato libero della resistenza;
 - C. notate la corrente letta.
- 3. Togliete il multimetro e poi riconnettete la batteria e la resistenza.**
- 4. Misurate la corrente nel ramo I_2 nel seguente modo:**
 - A. togliete uno dei contatti della resistenza R2;
 - B. inserite il multimetro in serie con R2, utilizzando il corretto orientamento dei puntali;
 - C. notate la corrente letta.
- 5. Togliete il multimetro e riconnettete al circuito il piedino di R2.**
- 6. Misurate la corrente nel ramo I_3 nel seguente modo:**
 - A. togliete uno dei contatti della resistenza R3;
 - B. inserite il multimetro in serie con R3, utilizzando il corretto orientamento dei puntali;
 - C. notate la corrente letta.
- 7. Togliete il multimetro e spegnete. Poi riconnettete al circuito la resistenza R3.**

Se le forze della natura non sono cambiate (e se il multimetro non è ubriaco), le correnti che avete appena misurato dovrebbero obbedire alla formula $I_2 + I_3 = I_1$.

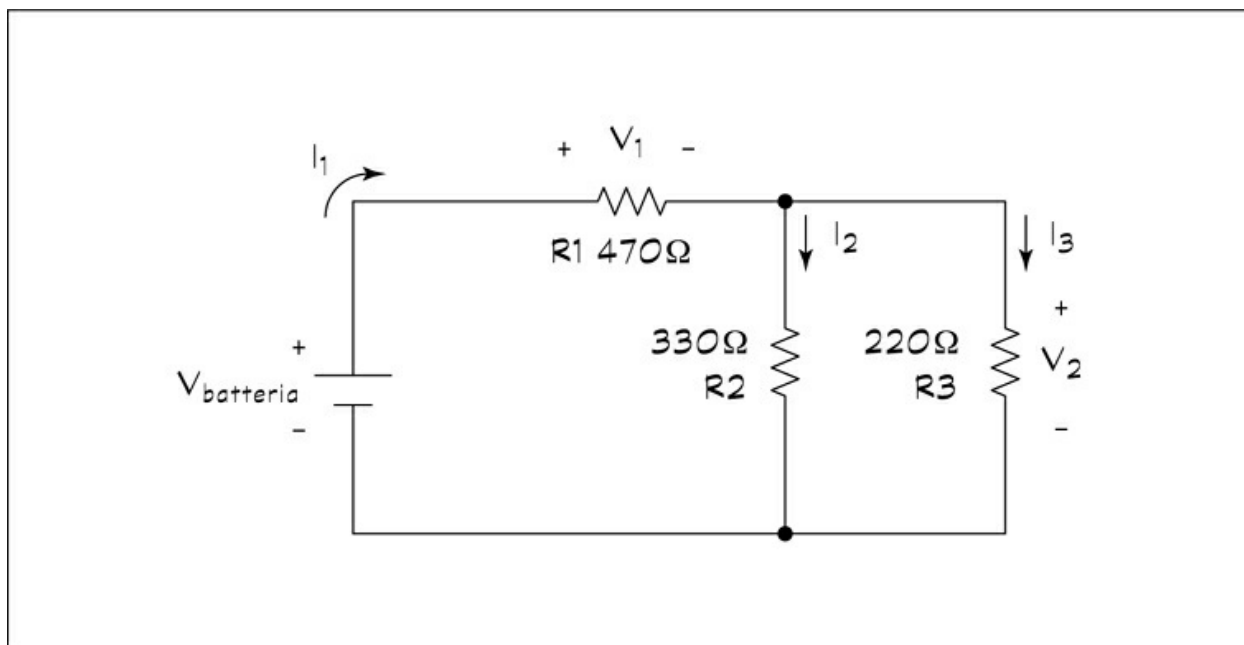


Figura 14.3 La corrente di alimentazione si ripartisce fra i due rami di questo circuito.

Potete utilizzare la matematica per calcolare queste correnti, applicando la Legge di Ohm e le regole per le resistenze in serie e in parallelo. Per calcolare la corrente totale fornita, I_1 , si determina la resistenza totale del circuito, R_{totale} , e si applica la Legge di Ohm utilizzando la tensione della batteria.



Nel [Capitolo 3](#) abbiamo visto come calcolare la resistenza equivalente, R_{totale} , di un circuito combinato in serie e in parallelo come quello rappresentato nella [Figura 14.3](#) nel seguente modo:

$$\begin{aligned} R_{totale} &= R1 + (R2 \parallel R3) \\ &= R1 + \frac{R2 \times R3}{R2 + R3} \end{aligned}$$

Applicando i valori delle resistenze scelte in questo caso, dovrete trovare che $R_{totale} = 602\Omega$.

Poi potete calcolare la corrente totale erogata, nel seguente modo:

$$I_1 = \frac{V_{\text{batteria}}}{602 \, \Omega}$$

Supponendo $V_{\text{batteria}} = 9 \, \text{V}$, ottenete:

$$I_1 = \frac{9 \, \text{V}}{602 \, \Omega} \approx 0,015 \, \text{A} = 15 \, \text{mA}$$

Ora che conoscete I_1 , potete calcolare la tensione V_1 attraverso la resistenza R_1 nel seguente modo:

$$V_1 = I_1 \times R_1 = 0,015 \, \text{A} \times 470 \, \Omega \approx 7 \, \text{V}$$

Se attraverso R_1 avviene una caduta di 7 V, allora V_2 , la tensione attraverso le resistenze in parallelo, deve essere di 2 V (9 - 7 V). Utilizzando V_2 e applicando la Legge di Ohm a ciascuna resistenza in parallelo, potete calcolare le correnti nei due rami:

$$I_2 = V_2 / R_2 = 2 \, \text{V} / 330 \, \Omega \approx 0,006 \, \text{A} = 6 \, \text{mA}$$

$$I_3 = V_2 / R_3 = 2 \, \text{V} / 220 \, \Omega \approx 0,009 \, \text{A} = 9 \, \text{mA}$$

Sorprendentemente, le correnti nei due rami sono equivalenti alla corrente di alimentazione.



Utilizzando il multimetro come un voltmetro, verificate i calcoli in termini di tensione. Poi, se volete divertirvi un altro po', togliete la resistenza fissa R_3 e sostituirla con un potenziometro da 10 k Ω . Variate la resistenza e osservate ciò che accade alle correnti e alle tensioni. Dopo aver eseguito tutti questi test, vi sentirete davvero esperti della Legge di Ohm.

Caricare e scaricare un condensatore

In questo esperimento osserveremo un condensatore mentre si carica, mantiene la propria carica e poi si scarica. Potete anche variare il tempo che impiega a caricarsi e scaricarsi. Date un'occhiata al [Capitolo 4](#) per scoprire il funzionamento dei condensatori e il modo in cui controllarne il comportamento.

Cariche che salgono e cariche che scendono

Il circuito rappresentato nella [Figura 14.4](#) è, in realtà, costituito da due circuiti in uno. L'interruttore/deviatore commuta le posizioni di “carica” e “scarica”, creando due diverse opzioni circuitali.

- ✓ **Circuito di carica:** quando l'interruttore è in posizione di carica, il circuito è costituito dalla batteria, dalla resistenza R_1 e dal condensatore, C . La resistenza R_2 risulta completamente disconnessa dal circuito.
- ✓ **Circuito di scarica:** quando l'interruttore è in posizione di scarica, il condensatore è connesso alla resistenza R_2 a formare un circuito completo. La batteria e la resistenza R_1 sono disconnesse dal circuito (sono su un circuito aperto).



Potete utilizzare anche un ponticello per realizzare l'interruttore. Collocate un'estremità del ponticello nella breadboard, in modo che sia connessa elettricamente al lato positivo del condensatore. Poi potete utilizzare l'altra estremità per connettere il condensatore a R_1 o a R_2 . Potete anche lasciare l'altra estremità del ponticello non connessa, come suggeriremo di fare più avanti. Vedrete il perché.

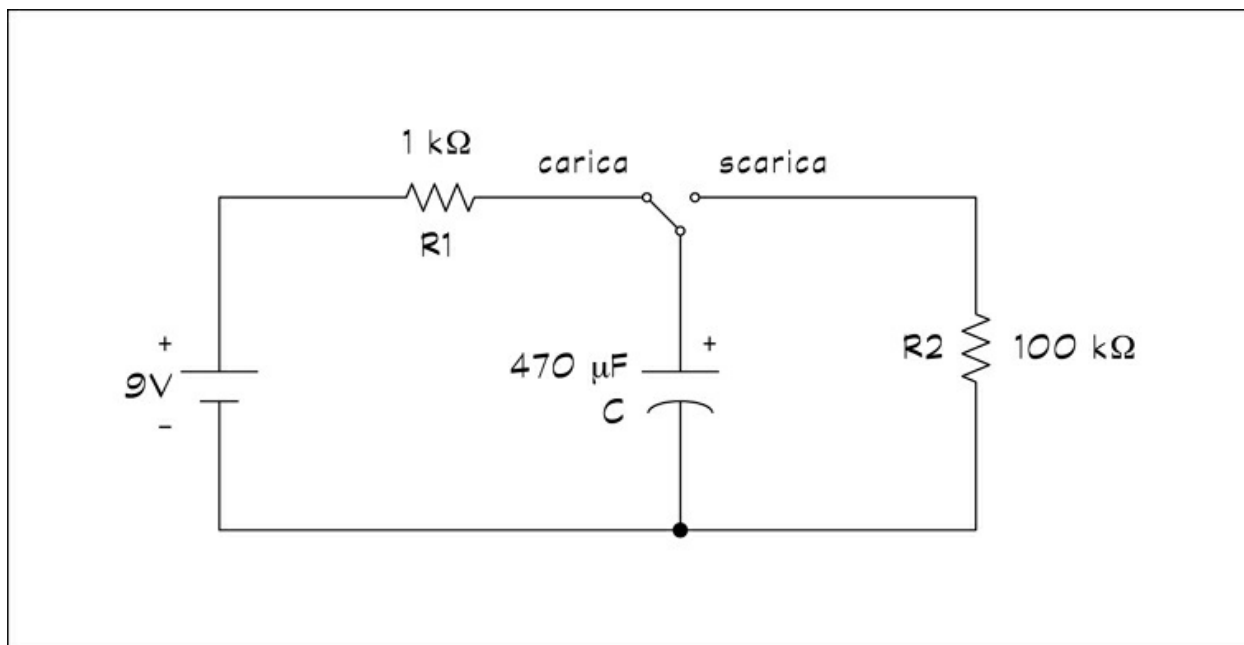


Figura 14.4 Portate l'interruttore di questo circuito nelle posizioni di carica e scarica del condensatore.

Predisponete il circuito utilizzando una batteria da 9 V, ma non connettete ancora l'estremità libera del ponticello/interruttore. Assicuratevi di orientare correttamente il condensatore elettrolitico, connettendo il polo negativo al terminale negativo della batteria (in caso contrario potrebbe anche esplodere, e non è bello!).

Per osservare questo condensatore mentre si carica, mantiene la carica e poi si scarica, utilizzate la seguente procedura.

- 1. Impostate il multimetro sui volt in corrente continua, con una gamma di 10 V e connettetelo fra il condensatore (puntale rosso connesso al polo positivo del condensatore, puntale nero connesso al polo negativo del condensatore).**
- 2. Caricate il condensatore: connettete il ponticello che funge da “interruttore” nella posizione “carica” (con R1) e osservate la tensione riportata dallo strumento.**

Dovreste vederla crescere fino a circa 9 V (ma non istantaneamente)

mentre il condensatore si carica attraverso la resistenza R1.
L'operazione di carica dovrebbe richiedere un paio di secondi.

3. Ponete il condensatore in stato di riposo: togliete un capo del ponticello e lasciatelo disconnesso. Osservate la lettura data dal voltmetro.

Dovrebbe continuare a indicare 9 V, all'incirca. La lettura dovrebbe anche calare piano piano: i condensatori sono fatti per perdere progressivamente la carica. Il condensatore a questo punto mantiene la propria carica (in pratica, trattiene l'energia elettrica) nonostante il fatto che la batteria è disconnessa.

4. Ora date al condensatore la possibilità di scaricarsi: connettete l'estremità libera del ponticello nella posizione "scarica" (connesso a R2) e osservate la lettura di tensione.

Dovrebbe iniziare a calare abbastanza lentamente, mentre il condensatore si scarica attraverso la resistenza R2 fino a 0 V. La cosa dovrebbe richiedere parecchi minuti.

Il [Capitolo 4](#) spiega che un condensatore in un semplice circuito RC raggiunge la piena carica dopo approssimativamente cinque volte la costante temporale RC, T. Questo è semplicemente il valore della resistenza (in ohm) moltiplicato per il valore della capacità (in farad). Dunque potete calcolare il tempo necessario per caricare e poi per scaricare il condensatore del circuito nel seguente modo.

$$\begin{aligned}\text{Tempo di carica} &= 5 \times R1 \times C \\ &= 5 \times 1,000 \, \Omega \times 0.000470 \, \text{F} \\ &= 2.35 \, \text{s} \\ \text{Tempo di scarica} &= 5 \times R2 \times C \\ &= 5 \times 100,000 \, \Omega \times 0.000470 \, \text{F} \\ &= 235 \, \text{s} \approx 3.9 \, \text{min}\end{aligned}$$

Queste formule coincidono con i risultati osservati? Ripetete l'esperimento di carica e scarica verificando che i calcoli siano corretti.

Variare la costante temporale RC

Inserendo un paio di potenziometri nel circuito di carica e scarica, si possono

osservare all'opera varie costanti temporali, che fanno sì che il condensatore si carichi e scarichi con tempi differenti. Ecco cosa occorre fare.

1. **Configurate il circuito rappresentato nella [Figura 14.5](#), lasciando l'interruttore aperto (un'estremità del ponticello disconnessa dalla scheda).**

Notate la resistenza da 1 kΩ in serie con il condensatore: ha lo scopo di proteggerlo, limitando comunque il flusso della corrente, indipendentemente dalla posizione del potenziometro.

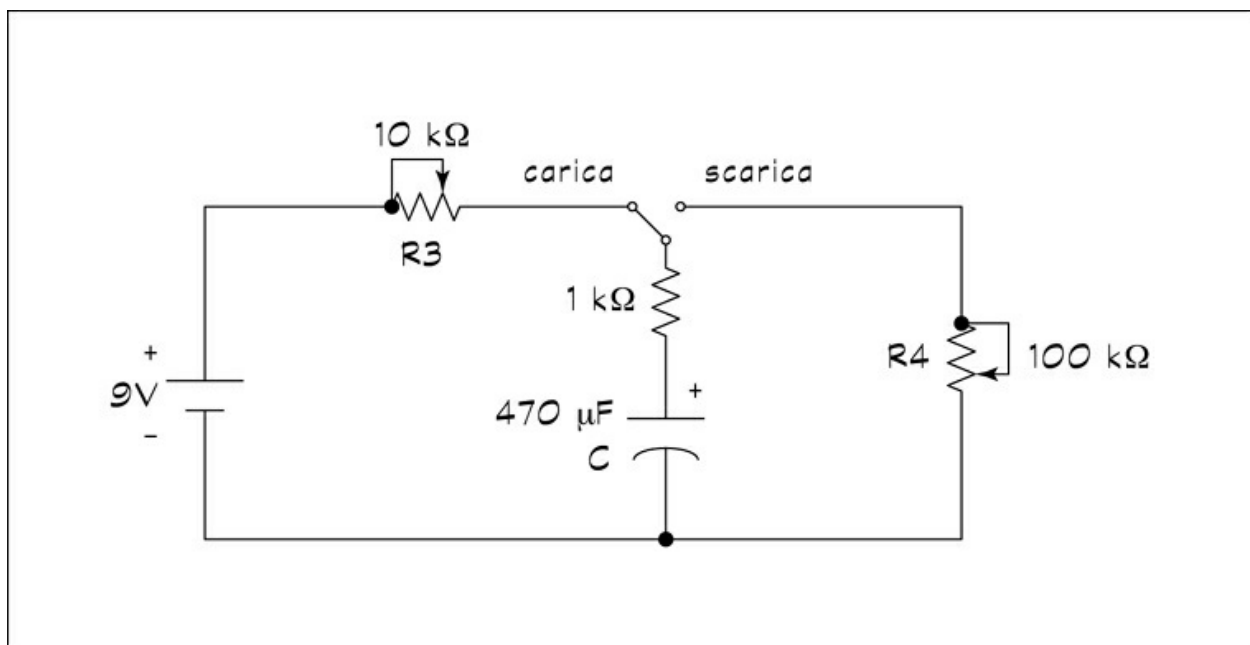


Figura 14.5 Regolate i potenziometri di questo circuito per variare i tempi di carica e scarica del condensatore.

La costante temporale RC del circuito di carica è determinata dalla resistenza totale nel circuito di carica moltiplicata per la capacità. La resistenza totale nel circuito di carica è la somma della resistenza fissa (1 kΩ) e della resistenza variabile, impostata tramite il potenziometro R1. Pertanto potete calcolare il tempo di carica del condensatore utilizzando la seguente equazione:

$$\text{Tempo di carica} = 5 \times (R3 + 1000) \times C$$

Impostando R3 su 0 Ω , la resistenza totale sarà semplicemente 1.000 Ω e dovrete aspettarvi che il condensatore si carichi in circa 2,35 secondi, esattamente come ha fatto nel paragrafo precedente (“Cariche che salgono e cariche che scendono”).

2. Portate il ponticello nella posizione di carica e osservate la lettura del voltmetro.

La costante temporale RC del circuito di scarica è determinata dalla resistenza totale del circuito di scarica moltiplicata per la capacità. La resistenza totale nel circuito di scarica è la somma della resistenza fissa (1 k Ω) e della resistenza variabile del potenziometro R4. Pertanto potete calcolare il tempo di scarica del condensatore utilizzando la seguente equazione:

$$\text{Tempo di scarica} = 5 \times (R4 + 1.000) \times C$$

Impostando R4 alla massima resistenza, 100 k Ω , dovrete attendervi un tempo di scarica di circa 237 secondi (circa 4 minuti), all'incirca lo stesso tempo osservato in “Cariche che salgono e cariche che scendono”).

3. Portate il ponticello in posizione di scarica e osservate la lettura del voltmetro.

4. Dopo che il condensatore si è scaricato, rimuovete il ponticello.

5. Regolate R3 al suo valore massimo, 10 k Ω .

6. Portate l'interruttore in posizione di carica e osservate l'indicazione sullo strumento.

Avete notato quanto tempo è necessario per caricare il condensatore? Inizialmente sembra caricarsi rapidamente, ma poi la velocità di carica rallenta un po'.



Nel [Capitolo 4](#), potete vedere la forma d'onda tensione/tempo di un

condensatore in carica/scarica. Tale forma d'onda mostra che, inizialmente, un condensatore si carica rapidamente e poi la velocità di carica rallenta. La stessa cosa vale per la scarica: l'inizialmente il condensatore si scarica rapidamente e poi più lentamente.

7. Togliete il ponticello.

8. Impostate R4 su 0 Ω .

9. Portate l'interruttore nella posizione di scarica e osservate la lettura sullo strumento.

Il condensatore si scarica piuttosto rapidamente, all'incirca in due secondi e mezzo.

Provate a regolare i potenziometri in posizioni differenti e poi caricate e scaricate il condensatore. Se davvero volete divertirvi, prendete il timer dalla cucina e cercate di temporizzare i cicli di carica/scarica. Poi togliete ciascun potenziometro, misurate la loro resistenza e calcolate 5 RC. I vostri calcoli coincidono, approssimativamente, con le osservazioni?

Cadute di tensione attraverso i diodi

I diodi, di cui abbiamo parlato nel [Capitolo 6](#), sono come valvole monodirezionali per la corrente elettrica. Applicando una piccola tensione dall'anodo al catodo, la corrente scorre in una direzione e la caduta di tensione attraverso il diodo rimane abbastanza costante, anche aumentando la corrente.

In questo paragrafo osserverete dal vivo alcuni dei modi in cui i diodi vengono impiegati nei circuiti elettronici. Potete utilizzare il multimetro per esplorare le cadute di tensione e le correnti nei circuiti dotati di diodi.

Accendere un LED

Per i LED rossi, gialli e verdi, una tensione di alimentazione di circa 2,0 V

apre la “valvola”, per così dire, consentendo alla corrente di passare e al LED di accendersi. I LED possono trasportare corrente fino a un massimo di circa 20 mA (controllate le caratteristiche dello specifico LED che avete scelto).

Il circuito rappresentato nella [Figura 14.6](#) ha lo scopo di dimostrare il funzionamento on/off di un LED e anche come, aumentando la corrente, aumenta anche la luce emessa dal diodo. Ecco come occorre procedere.

1. **Ruotate un potenziometro a 10 kΩ fino alla massima resistenza.**
2. **Approntate il circuito rappresentato nella [Figura 14.6](#), utilizzando un LED standard rosso, giallo o verde.**

Assicuratevi di orientare correttamente il LED, con il catodo (lato negativo) connesso al terminale negativo della batteria. In molti LED, il catodo è il piedino più corto.

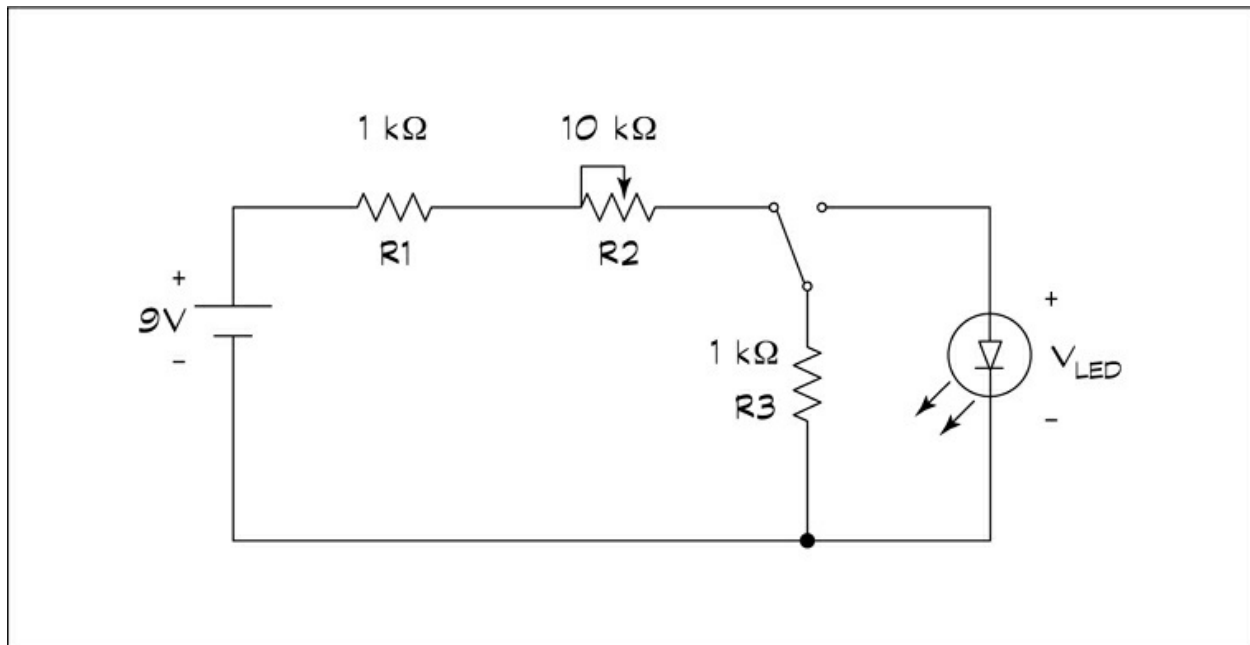


Figura 14.6 Utilizzate il seguente circuito per accendere e spegnere un LED e per variare l'intensità della luce emessa.

3. **Impostate il multimetro su volt in corrente continua, con una gamma di 10 V e collocate il puntale attraverso il LED.**

Il LED si accende? Quale tensione leggete? La tensione al LED dovrebbe essere meno di 1 V, che non è sufficiente per accenderlo.

- 4. Ruotate lentamente il potenziometro, sempre dando un'occhiata al LED. Quando il LED si accende, fermate la rotazione del potenziometro.**

Osservate la lettura allo strumento. La tensione al LED è prossima a 2,0 V?

- 5. Ora continuate a ruotare il potenziometro, sempre osservando il LED.**

Che cosa accade alla luce?

- 6. Ora ruotate il potenziometro completamente verso 0 Ω e osservate l'intensità della luce del LED. Notate anche la lettura della tensione sul multimetro.**

La tensione del LED cambia molto in relazione all'intensità di luce?



Per comprendere perché il LED è rimasto spento quando il potenziometro era impostato su 10 k Ω e poi si è acceso riducendo la resistenza del potenziometro, considerate il circuito che avreste rimuovendo il LED. Il circuito è un partitore di tensione e la tensione attraverso la resistenza R3 (che è la stessa tensione del LED) è data dal rapporto della resistenza moltiplicato per la tensione di alimentazione:

$$\begin{aligned} V_{LED} &= \frac{R3}{R1 + R2 + R3} \times 9 \text{ V} \\ &= \frac{1.000}{1.000 + R2 + 1.000} \times 9 \text{ V} \\ &= \frac{1.000}{2.000 + R2} \times 9 \text{ V} \end{aligned}$$

Se la resistenza del potenziometro è elevata (per esempio 10 k Ω), la tensione attraverso il LED è piuttosto bassa (circa 0,75 V). Quando la resistenza opposta dal potenziometro è sufficientemente bassa, la tensione attraverso il

LED cresce a sufficienza per accenderlo. V_{LED} salirà fino a circa 2,0 V, mentre R_2 scende fino a circa 2,5 k Ω (scrivete 2.500 per R_2 nell'equazione qui sopra e vedrete che cosa accade). Naturalmente, il vostro specifico LED può accendersi a una tensione leggermente differente, più o meno nella gamma degli 1,7-2,2 V. Se misurate la resistenza del potenziometro nel punto in cui il LED si accende, dovrete trovare un valore di resistenza più o meno di 2,5 k Ω .

Potete anche osservare la corrente che scorre attraverso il LED con i seguenti passi.

- 1. Interrompete il circuito fra il catodo (lato negativo) del LED e il terminale negativo della batteria.**
- 2. Inserite il multimetro in serie dove avete aperto il circuito e impostatelo per misurare ampere in corrente continua.**
- 3. Iniziate con il potenziometro ruotato tutto verso i 10 k Ω . Mentre ruotate il potenziometro, osservate la lettura di corrente. Notate la lettura nel momento in cui il LED si accende. Poi continuate a ruotare il potenziometro e a osservare la lettura.**

Dovreste vedere che la corrente aumenta a oltre 5 mA, mentre la luce si intensifica.



In generale, dovrete notare che il LED si accende quando la sua tensione si avvicina a 2,0 V, momento in cui inizia il passaggio di una piccola corrente. Aumentando la corrente attraverso il LED, la luce aumenta, ma la tensione rimane piuttosto costante.

Abbasso la tensione!

Quando a un diodo Zener viene applicata una sufficiente tensione inversa,

questo mantiene una netta caduta di tensione, anche se la corrente che lo attraversa aumenta fino a un determinato livello (per informazioni sui diodi Zener, consultate il [Capitolo 6](#)). Ecco come misurare la caduta di tensione.

1. **Configurate il semplice circuito partitore di tensione rappresentato nella [Figura 14.7](#), connettendo in serie due batterie da 9 V per creare la fonte di alimentazione in corrente continua da 18 V.**

Assicuratevi di utilizzare resistenze da 1 / 2 W per questo circuito.

2. **Misurate la tensione di alimentazione totale e poi misurate la tensione attraverso R2.**

Dovrebbe essere all'incirca la metà della tensione di alimentazione, ovvero 9 V.

3. **Misurate la tensione attraverso R1.**

Dovrebbe essere all'incirca 9 V. Le resistenze dividono la tensione in modo piuttosto equo.

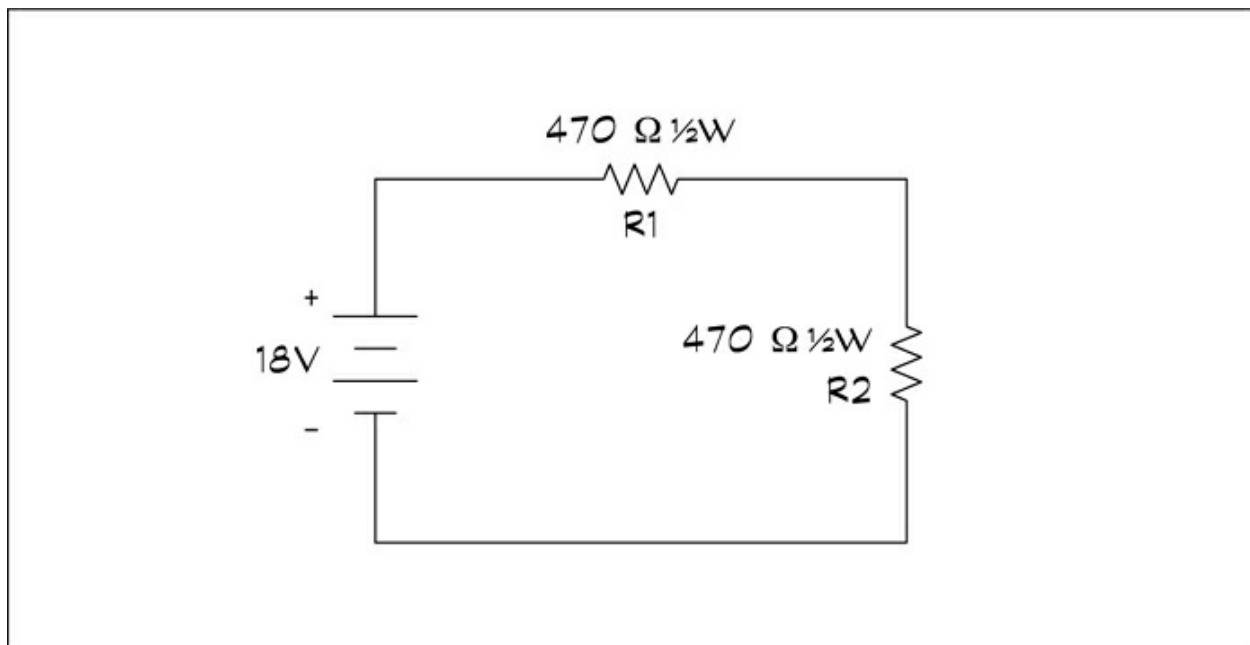


Figura 14.7 Questo semplice circuito partitore di tensione suddivide la tensione in modo uniforme fra le due resistenze.

4. Ora modificate il circuito come indicato nella **Figura 14.8**, collocando un diodo Zener 4,3 V 1 W (1N4731) in parallelo su R2, con l'anodo (il polo positivo) del diodo connesso al terminale negativo della batteria.
5. Misurate la tensione attraverso R2, che è la stessa che attraversa il diodo Zener.

È ancora 9 V? O è all'incirca 4,3 V? Tenete conto della tolleranza del diodo, la variabilità della tensione effettiva del componente, che può essere $\pm 10\%$ e dunque la tensione può variare fra 3,9 V e 4,7 V.

Il diodo Zener regola la tensione attraverso R2. Ma dove va a finire il resto della tensione di alimentazione?

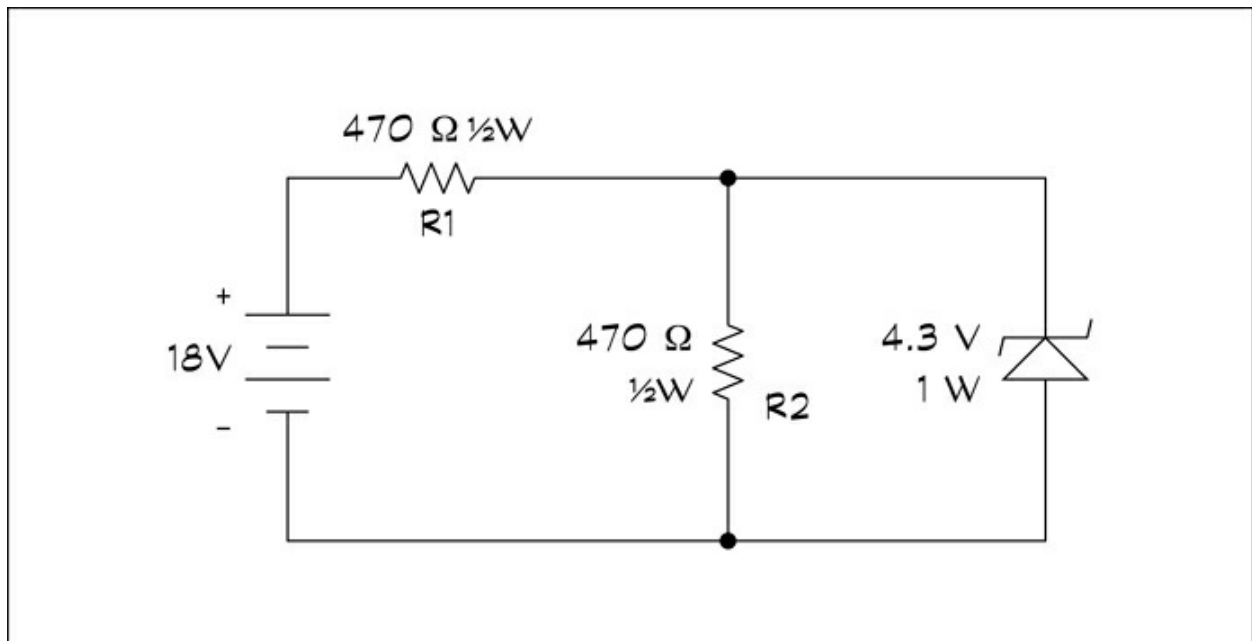


Figura 14.8 L'aggiunta di un diodo Zener regola la tensione che attraversa R2.

6. Misurate la tensione attraverso la resistenza R1.
È aumentata con l'aggiunta del diodo Zener? (dovrebbe indicare all'incirca 13,7 V).
7. Ora togliete l'alimentazione e sostituite la resistenza R2 con un

potenziometro da 10 k Ω (Figura 14.9).

8. Alimentate il circuito e misurate la tensione attraverso R2.
9. Variate il potenziometro fra 0 Ω e 10 k Ω e osservate la tensione riportata dallo strumento.

Notate che la tensione cresce nettamente da 0 V fino a raggiungere la tensione Zener e quindi rimane a quella tensione anche aumentando la resistenza R2? Il diodo Zener mantiene fissa la tensione di uscita, anche se il carico sul circuito (rappresentato dal potenziometro) varia.

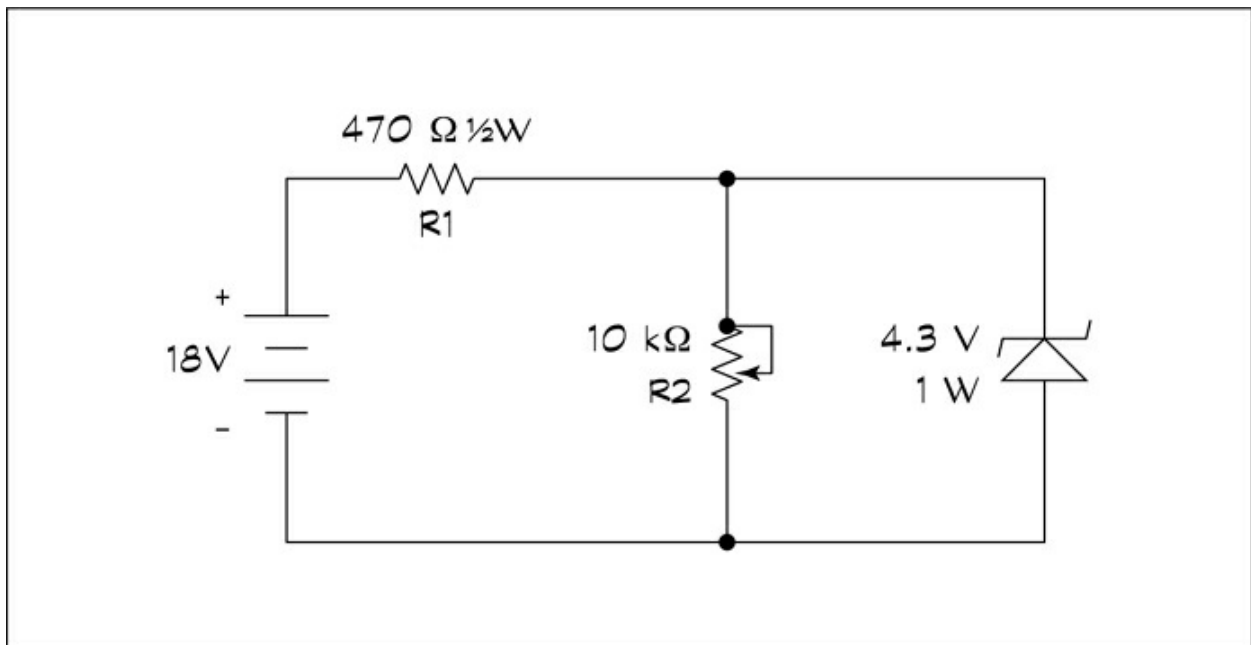


Figura 14.9 Anche se la resistenza del carico varia, il diodo Zener mantiene fissa la tensione di uscita.

Fare esperienza con i transistor

Nei prossimi paragrafi, vedremo come utilizzare un transistor per controllare la corrente in un circuito (posto all'uscita del transistor) utilizzando dei componenti elettronici di un altro circuito (posto all'ingresso del transistor). Questo è esattamente lo scopo dei transistor!

Amplificare la corrente

Potete realizzare il circuito rappresentato nella [Figura 14.10](#) per illustrare le capacità di amplificazione di un transistor. Ecco cosa dovete fare.

- 1. Realizzate il circuito utilizzando un transistor bipolare NPN con un 2N3904 o un BC548.**

Fate attenzione a connettere correttamente la base, il collettore e l'emettitore.

- 2. Ruotate il potenziometro a “zero” in modo che la resistenza sia di 1 MΩ.**

Probabilmente vedrete accendersi leggermente il LED 2, mentre il LED 1 sarà spento, anche se è attraversato da una piccola corrente.

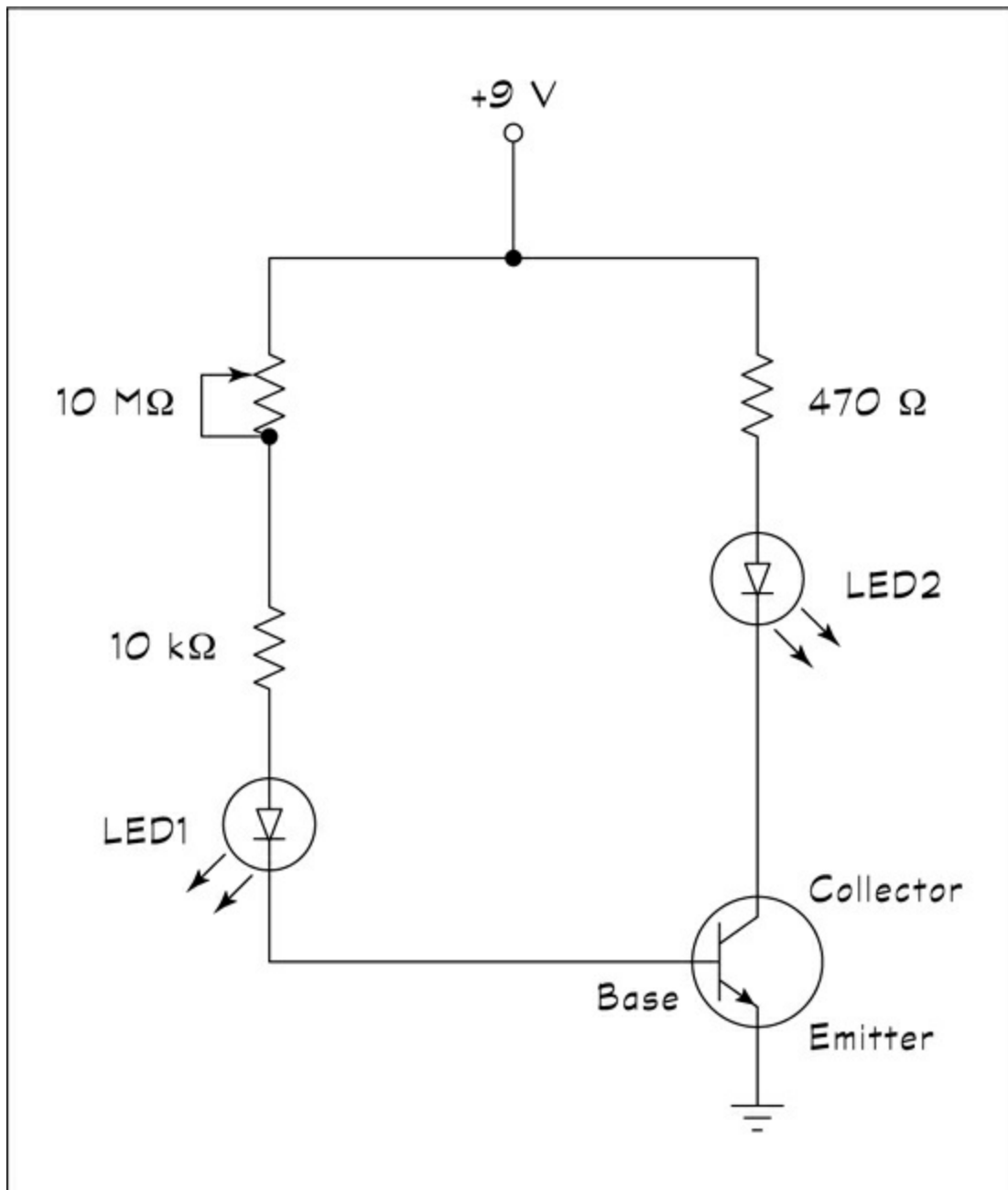


Figura 14.10 Una coppia di LED aiuta a visualizzare le capacità di amplificazione di un transistor.

Misurare correnti piccole piccole

La corrente alla base del transistor bipolare rappresentato nella [Figura](#)

14.10, che attraversa il LED1 è molto piccola, specialmente quando il potenziometro è regolato sulla massima resistenza. Potete misurare questa piccola corrente in vari modi.

- ✓ Potete prendere la misura direttamente, interrompendo il circuito a un lato del LED1, inserendo il multimetro e impostandolo su ampere in corrente continua. Tuttavia la corrente è così piccola che lo strumento potrebbe non riuscire nemmeno a registrarla.
- ✓ Potete misurare la corrente indirettamente, utilizzando la Legge di Ohm. La stessa corrente che attraversa il LED1 e arriva alla base del transistor attraversa anche due resistenze: la resistenza da 10 k Ω e il potenziometro. Potete misurare la caduta di tensione attraverso entrambe le resistenze e dividere la tensione misurata per la resistenza. La Legge di Ohm dice che la corrente che attraversa una resistenza è uguale alla tensione attraverso la resistenza, divisa per la resistenza.
- ✓ Se volete prendere una misura davvero precisa, togliete l'alimentazione al circuito, togliete la resistenza dal circuito e misuratene la resistenza esatta con multimetro. Quindi calcolate la corrente. Utilizzando questo metodo abbiamo misurato una corrente base di 6,1 μ A (ovvero 0,0000061 A).

3. Ora ruotate lentamente il potenziometro e osservate cosa accade ai LED.

Il LED2 dovrebbe diventare sempre più luminoso ruotando il potenziometro. A un certo punto, comincerà ad accendersi anche il LED1. Continuando a ruotare il potenziometro, entrambi i LED diventeranno più luminosi, ma il LED2 sarà sempre molto più luminoso del LED1.

Questo è il comportamento del transistor: la piccola corrente alla base, che attraversa il LED1, viene amplificata dal transistor, che fa sì che attraverso il LED2 passi una corrente molto superiore. Potete osservare una leggera

luminosità dal LED1 a causa della piccola corrente che lo attraversa e una forte luminosità dal LED2 causata dalla corrente del collettore, ben più forte. Potete misurare entrambe le correnti, se volete (consultate il riquadro “Misurare correnti piccole piccole” per un suggerimento sulla misurazione di piccole correnti alla base).

Con il potenziometro impostato a $1\text{ M}\Omega$, abbiamo misurato una corrente alla base di $6,1\text{ }\mu\text{A}$ (ovvero $0,0000061\text{ A}$) e una corrente dal collettore di $0,8\text{ mA}$. Dividendo la corrente al collettore per la corrente alla base, abbiamo scoperto che il guadagno di corrente del circuito del transistor è di un fattore 131. Con il potenziometro impostato a $0\text{ }\Omega$, abbiamo misurato una corrente alla base di $0,61\text{ mA}$ e una corrente al collettore di 14 mA , con un guadagno di corrente pari a circa 23. Davvero interessante!

Accensione!

Il circuito rappresentato nella [Figura 14.1](#) è un interruttore tattile. Utilizza una coppia di transistor NPN per amplificare una leggerissima corrente alla base quel tanto che basta per accendere il LED. Questa configurazione a due transistor bipolari, con i collettori connessi e l'emettitore di uno che diviene la base dell'altro, è chiamata *coppia Darlington*.

Per metterla alla prova, approntate il circuito, utilizzando qualsiasi transistor NPN di tipo generale (come un 2N3904 o un BC548). Chiudete il circuito poggiando il dito sopra il circuito aperto, rappresentato nella figura (non preoccupatevi, non può farvi alcun male). Il LED si accende? Quando chiudete il circuito, la pelle conduce una piccolissima corrente (di pochissimi microampere), che viene amplificata dalla coppia di transistor, fino ad accendere il LED. Un'esperienza toccante, vero?

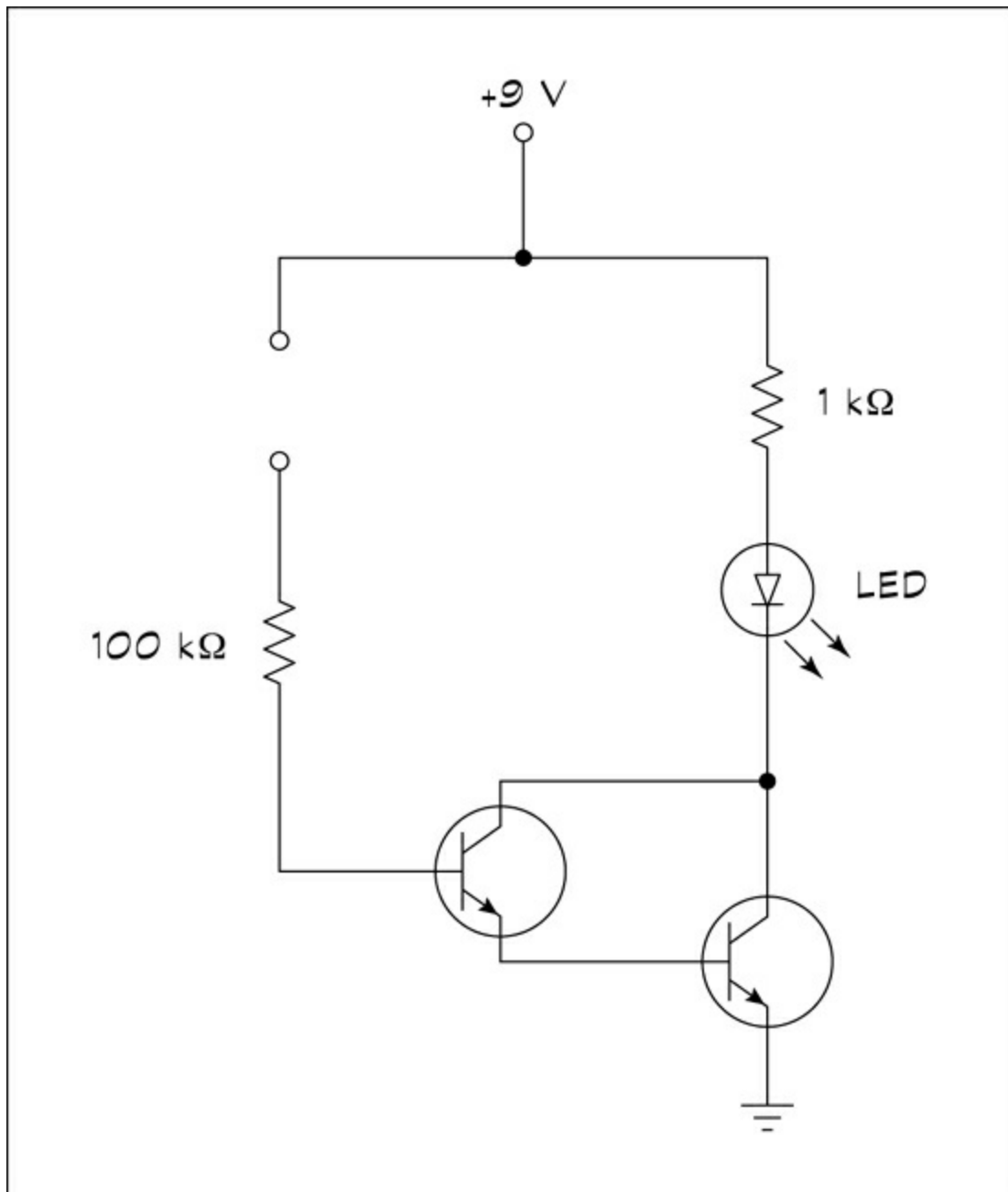


Figura 14.11 Una coppia Darlington può essere utilizzata per realizzare un interruttore tattile.

Usare la logica

I piccoli circuiti digitali chiamati *porte logiche* accettano in ingresso uno o

più bit (cifre digitali), e producono in uscita dei bit che dipendono dalla funzione che regola quella specifica porta (abbiamo parlato delle porte logiche nel [Capitolo 7](#)). Le porte logiche sono gli elementi costitutivi dei sistemi digitali più avanzati, come il microprocessore che fa funzionare il nostro computer.

All'interno di ogni porta logica vi è una manciata di componenti elettronici, collegati in modo da svolgere la funzione logica corretta. Le porte logiche sono normalmente ospitate da circuiti integrati, i quali offrono numerosi pin che possono essere ingressi, uscite e connessioni di alimentazione del circuito digitale che si trova al loro interno.

Nel prossimo paragrafo vedremo come eseguire le connessioni corrette a una porta logica NAND di un circuito integrato e vedremo i cambiamenti in uscita che si ottengono intervenendo sulle varie combinazioni di ingressi. Scoprirete poi come creare un altro tipo di porta logica, una porta OR, combinando in modo opportuno tre porte NAND.

Vedere la luce alla fine della porta NAND

Il circuito rappresentato nella [Figura 14.12](#) utilizza un LED per indicare lo stato, alto o basso, dell'uscita di due porte NAND a due ingressi. Approntate il circuito, utilizzando una delle quattro porte logiche NAND in un circuito integrato quad 2-input NAND 4011 (un chip CMOS che è sensibile all'elettricità statica e dunque prendete le precauzioni descritte nel [Capitolo 9](#) per evitare di danneggiarlo). Per gli interruttori, potete utilizzare semplici ponticelli, inserendo un'estremità nei fori della breadboard e spostando l'altra estremità in modo da chiudere o aprire l'interruttore.



L'uscita di una porta NAND ("NOT AND") è alta quando uno o entrambi gli ingressi sono bassi e bassa solo quando entrambi gli ingressi sono alti (il funzionamento delle porte logiche è descritto nel [Capitolo 7](#)). Con "alto" si

intende la tensione di alimentazione positiva (9 V) e con basso 0 V.

Quando si chiude un interruttore, si porta alto un ingresso, poiché si connette all'ingresso la tensione di alimentazione positiva. Quando si apre un interruttore, si porta tale ingresso basso, poiché è connesso a massa (0 V) tramite una resistenza.

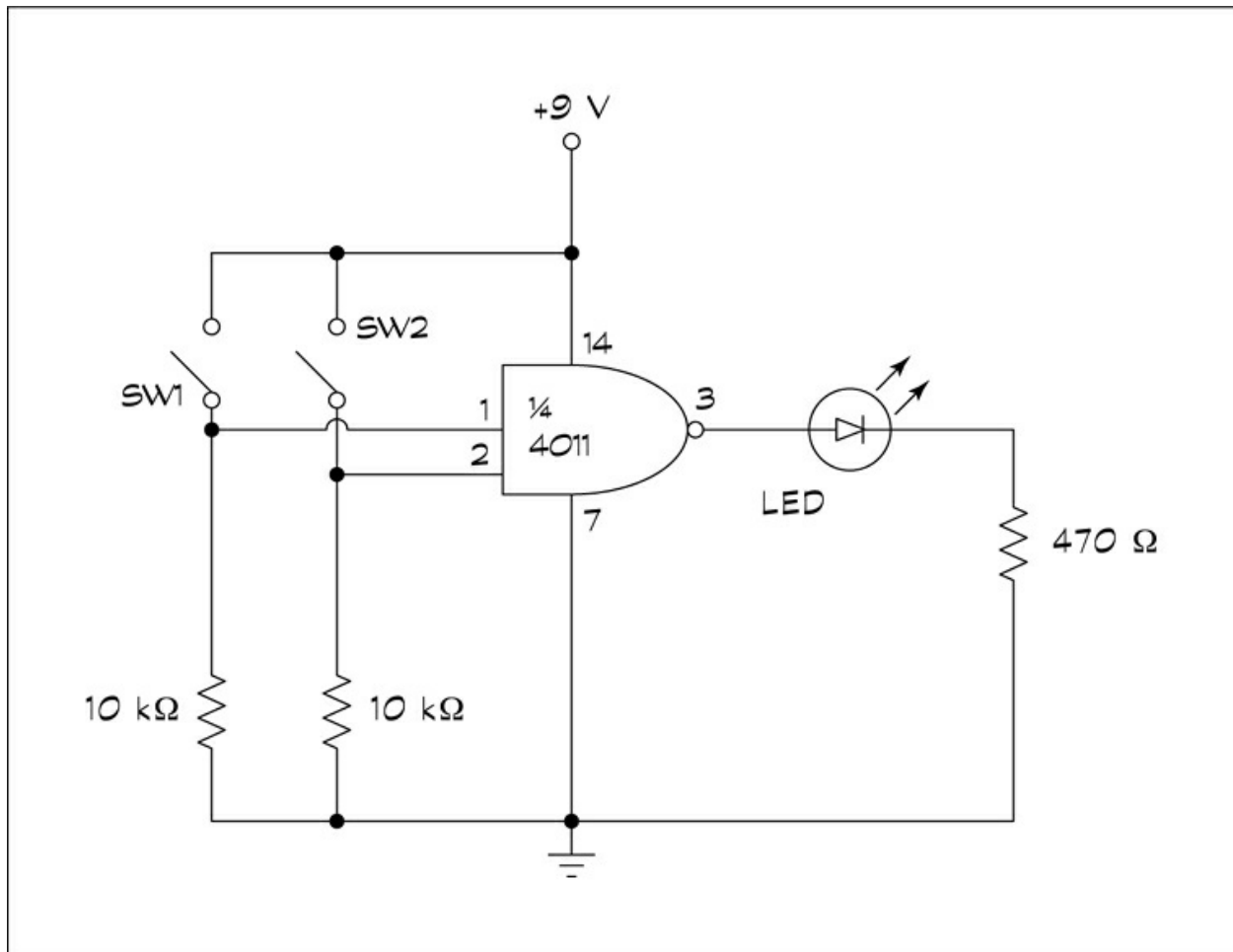


Figura 14.12 Utilizzate un LED per dimostrare l'uscita di una porta logica NAND.

Mettete alla prova la funzionalità di una porta NAND provando tutte le quattro combinazioni degli interruttori, aperti o chiusi, compilando poi la tabella sottostante (che sostanzialmente è una tabella delle verità).

Ingresso 1

Ingresso 2

Uscita (alta=LED on; bassa=LED

off)

Bassa (SW1 aperto)	Bassa (SW2 aperto)
Bassa (SW1 aperto)	Alta (SW2 chiuso)
Alta (SW1 chiuso)	Bassa (SW2 aperto)
Alta (SW1 chiuso)	Alta (SW2 chiuso)

Avete visto il LED accendersi quando entrambi gli interruttori erano aperti? Lo avete visto spegnersi quando entrambi erano chiusi? Dite la verità!

Trasformare tre porte NAND in una porta OR

Potete combinare più porte NAND per creare un'altra funzione logica. Nel circuito rappresentato nella [Figura 14.13](#), tre porte NAND vengono combinate a formare una porta OR. Gli ingressi della porta OR sono controllati dagli interruttori SW3 e SW4. L'uscita della porta OR è indicata dallo stato on/off di un LED.

Ognuna delle due porte NAND a sinistra funziona come una porta NOT (invertitore). Ogni porta NAND altera gli ingressi in modo che un ingresso basso produca un'uscita alta e un ingresso alto produca un'uscita bassa. La porta NAND a destra produce un'uscita alta quando uno o entrambi i suoi ingressi sono bassi, il che accade quando uno o entrambi gli interruttori (SW3 e SW4) sono chiusi. Il risultato è che se uno o entrambi gli interruttori sono chiusi, l'uscita del circuito è alta. Questo è esattamente il comportamento di una porta OR!

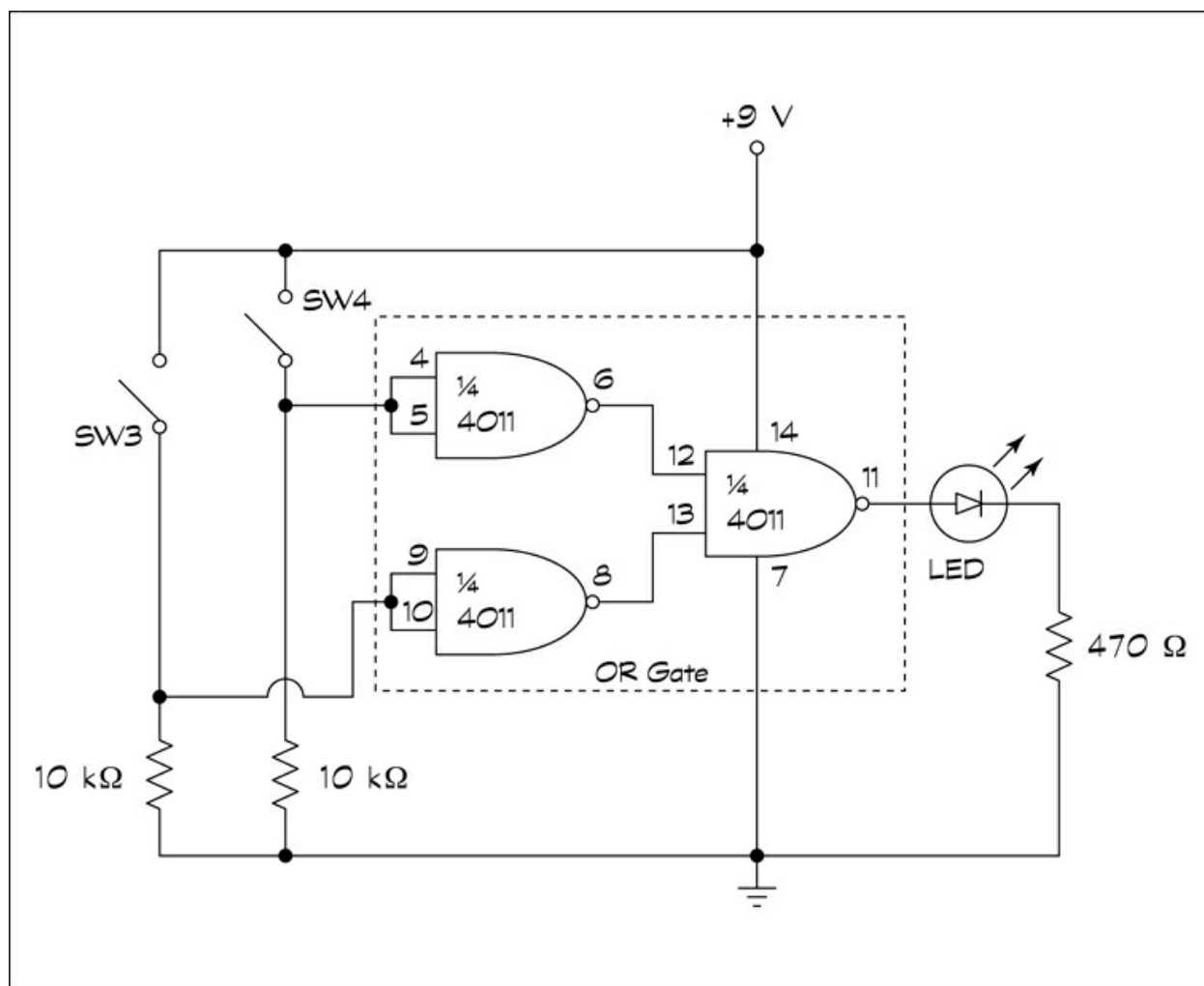


Figura 14.13 Tre porte NAND configurate per creare una porta OR.

Realizzate il circuito, facendo attenzione all'elettricità statica. Potete utilizzare le tre porte NAND rimanenti sul circuito integrato 4011 che avete usato per realizzare il circuito nella [Figura 14.12](#). Mettete alla prova le funzionalità aprendo e chiudendo gli interruttori. I LED dovrebbero accendersi quando almeno uno degli interruttori è chiuso.

Capitolo 15

Grandi progetti da una mezzoretta l'uno

In questo capitolo

Un lampeggiante personalizzato.

Una strizzatina piezoelettrica.

Vederci al buio con un sensore a infrarossi.

Creare un paio di suoni.

Trovare la strada con la bussola elettronica.

Un piccolo amplificatore audio.

Mettere in luce la presenza dell'acqua.

L'hobby dell'elettronica ripaga davvero solo dopo avere messo insieme qualche progetto. In questo capitolo inizieremo a giocare con alcuni gadget elettronici divertenti e istruttivi, che potete realizzare in una mezzoretta. Abbiamo scelto questi progetti perché sono, nel contempo, divertenti e semplici. Abbiamo anche cercato di ridurre al minimo il numero di componenti da utilizzare: il progetto più costoso non vi farà spendere più di una quindicina di euro.

Forniremo qualche dettaglio in più solo per il primo progetto, dunque consigliamo di partire da quello. A quel punto dovreste essere in grado di seguire gli schemi circuitali e realizzare i progetti rimanenti da soli. Per informazioni sugli schemi, consultate il [Capitolo 10](#), mentre per le basi della

realizzazione dei circuiti, tornate al [Capitolo 2](#). Se i progetti non sembrano funzionare come previsto (capita anche ai migliori), rileggete il [Capitolo 12](#), armati di multimetro, e trovate la soluzione.

Tutto il necessario

Potete realizzare tutti i progetti presentati in questo capitolo, tranne quello della bussola elettronica, su una comune breadboard, senza eseguire alcuna saldatura. Naturalmente, siete liberi di realizzare questi progetti anche su normali basette millefori da saldare, se volete renderli più permanenti. Abbiamo parlato della realizzazione di circuiti su breadboard nel [Capitolo 11](#). Se avete problemi a realizzare un circuito, ripassate tale capitolo.



Con un'unica eccezione (sempre il solito, “terribile”, progetto della bussola elettronica), potete trovare i componenti necessari per realizzare questi progetti presso qualsiasi rivenditore.

Dove non indicato diversamente, avrete bisogno di componenti con le seguenti caratteristiche.

- ✓ Tutte le resistenze devono essere da $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{8}$ W, con una tolleranza del 5 o 10%.
- ✓ Tutti i condensatori devono essere come minimo da 25 V.
Indicheremo anche il tipo di condensatore di cui avete bisogno (a disco, elettrolitico o al tantalio) nell'elenco dei componenti di ciascun progetto.



Se volete comprendere tutti i dettagli funzionali dei componenti elettronici impiegati in questi progetti, consultate i Capitoli da 3 a 4 e da 6 a 8. Nel [Capitolo 3](#) troverete informazioni sulle resistenze e nel [Capitolo 4](#) un piccolo trattato sui condensatori. Il [Capitolo 6](#) si occupa di diodi e transistor, mentre il [Capitolo 7](#) analizza due circuiti integrati impiegati in questi progetti. I cavetti, le fonti di alimentazione e altri componenti (per esempio i sensori, gli altoparlanti e i buzzer) sono trattati nel [Capitolo 8](#).

Luci lampeggianti

La vostra prima missione, se deciderete di accettarla, consiste nel realizzare un circuito contenente un diodo LED lampeggiante. Potrebbe sembrare tutto molto semplice (e, grazie al circuito integrato timer 555, lo è), ma metterlo in funzione significa realizzare un circuito completo, limitare la corrente nel circuito in modo da non bruciare il LED e configurare un timer per dare e togliere corrente al LED, in modo che lampeggi. Non è proprio “poca cosa” per un primo progetto.

La [Figura 15.1](#) mostra lo schema di questo progetto lampeggiante (se avete bisogno di un promemoria sulla lettura degli schemi elettronici, consultate il [Capitolo 10](#)). La figura mostra come connettere il circuito integrato timer 555 a un LED e quali altre parti sono necessarie per alimentare il circuito, limitare la corrente e controllare la frequenza di lampeggio. Prima di poter realizzare questo circuito, è però necessario analizzare esattamente perché funziona.

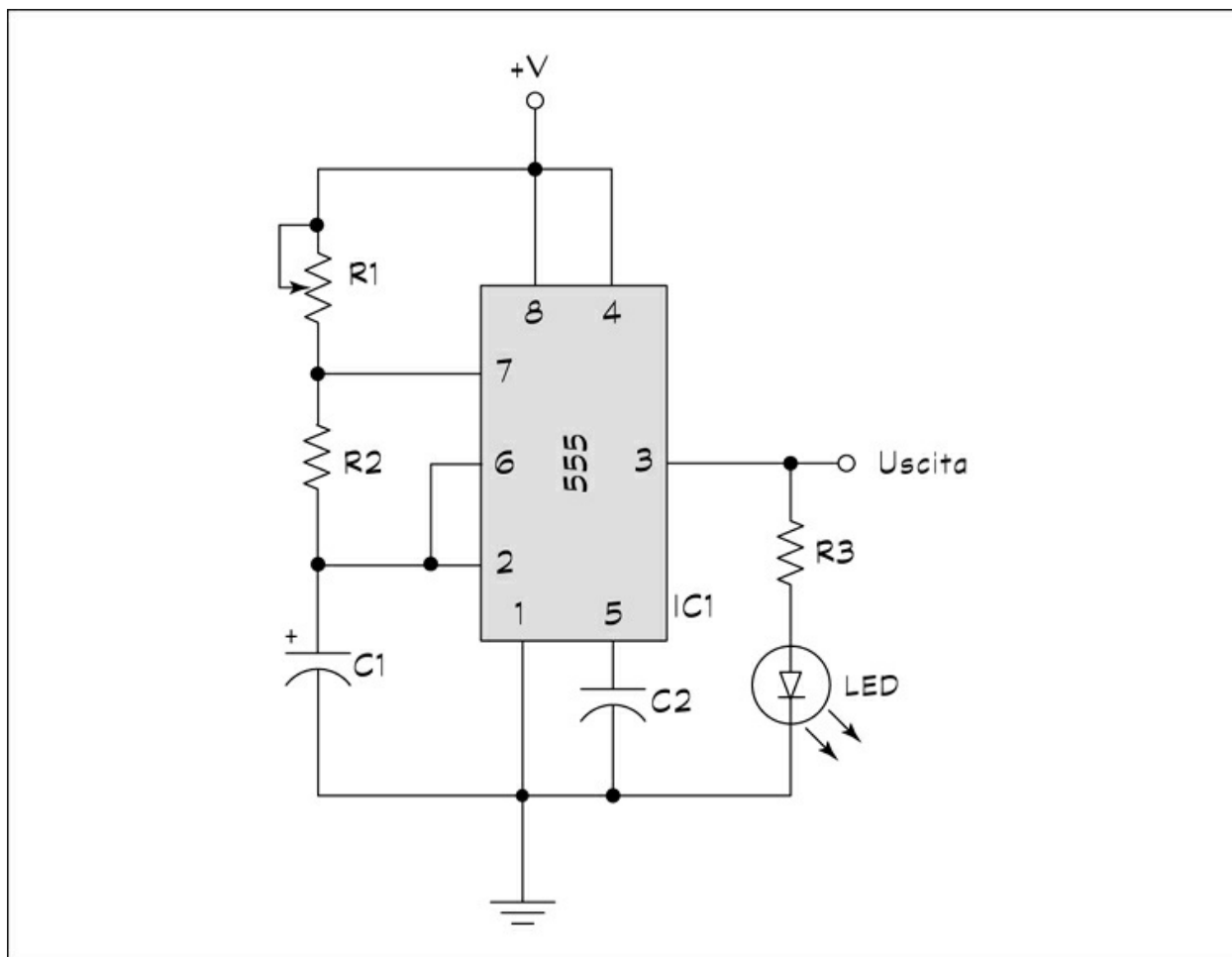


Figura 15.1 Lo schema del circuito a LED lampeggiante.

Osserviamo più da vicino il lampeggiatore con il 555

Il ruolo centrale di questo progetto (e anche di altri progetti di questo capitolo) è il circuito integrato timer 555. Potete utilizzare questo versatile componente in una grande varietà di modi, come descritto nel [Capitolo 7](#). Per questo progetto, il timer 555 è configurato come un *multivibratore astabile*, il quale genera una serie di impulsi on/off a intervalli regolari, un po' come un metronomo elettronico. L'uscita dell'integrato 555, al pin 3, verrà poi utilizzata per commutare la corrente destinata al LED.

Limitare la corrente che attraversa il LED

La resistenza R3 ha proprio lo scopo di evitare di “friggere” il LED. Questa piccola resistenza svolge l’importante ruolo di limitare la corrente che attraversa il LED. La tensione di uscita al pin 3 del timer 555 varia fra i 9 V (la fonte di alimentazione positiva) quando l’impulso è On e 0 (zero) V quando l’impulso è Off. Supponendo che la caduta di tensione attraverso il LED sia di circa 2,0 V (un valore tipico), si sa che quando l’impulso è On, la caduta di tensione attraverso la resistenza R3 è di circa 7 V. Si ottiene questo risultato prendendo i 9 V al pin 3 e sottraendo i 2 V che cadono attraverso il LED. Si può utilizzare la Legge di Ohm ([Capitolo 3](#)) per calcolare la corrente che attraversa R3, che è la stessa che attraversa il LED, nel seguente modo:

$$\text{corrente} = \text{tensione} / \text{resistenza} = 7 \text{ V} / 330 \, \Omega \approx 0,021 \text{ A} = 21 \text{ mA}$$

Questa è la corrente che il LED può gestire con sicurezza!

Controllare la temporizzazione dell’impulso

Come descritto nel [Capitolo 7](#), sia l’ampiezza sia l’intervallo On/Off dell’impulso generato dal timer 555 sono controllati da un paio di resistenze (R1 e R2) e da un condensatore (C1). Questo progetto utilizza un potenziometro per variare R1, in modo da cambiare la frequenza di lampeggio.



Per analizzare e comprendere appieno questo circuito, ripassate le equazioni di temporizzazione presentate nel [Capitolo 7](#), inserite i valori utilizzati per R1 (dopo aver misurato con il multimetro la resistenza variabile del potenziometro), di R2 e di C1; osservate poi se la luce lampeggia, più o meno, alla frequenza fornita dal calcolo.



Questo circuito è comodo anche per eseguire il test di un apparecchio.

Connettete l'uscita del 555 (il piedino 3 del chip) a qualche altro progetto e utilizzate questo circuito come fonte del segnale. Potete vedere come questo funzioni in vari altri progetti di questo capitolo, basati sul chip 555.

Realizzazione del circuito lampeggiante

È facile realizzare il circuito lampeggiante a LED. Utilizzate la [Figura 15.2](#) come guida. Notate che le connessioni al lato positivo dell'alimentazione sono nella parte superiore della breadboard e le connessioni di massa (il lato negativo dell'alimentazione) sono nella parte inferiore della breadboard.



Abbiamo lasciato un po' di spazio fra i componenti per aiutare a vedere dove devono essere collocati. In genere è più pratico lasciare un po' di "agio" ai componenti, invece di ammassarli tutti.

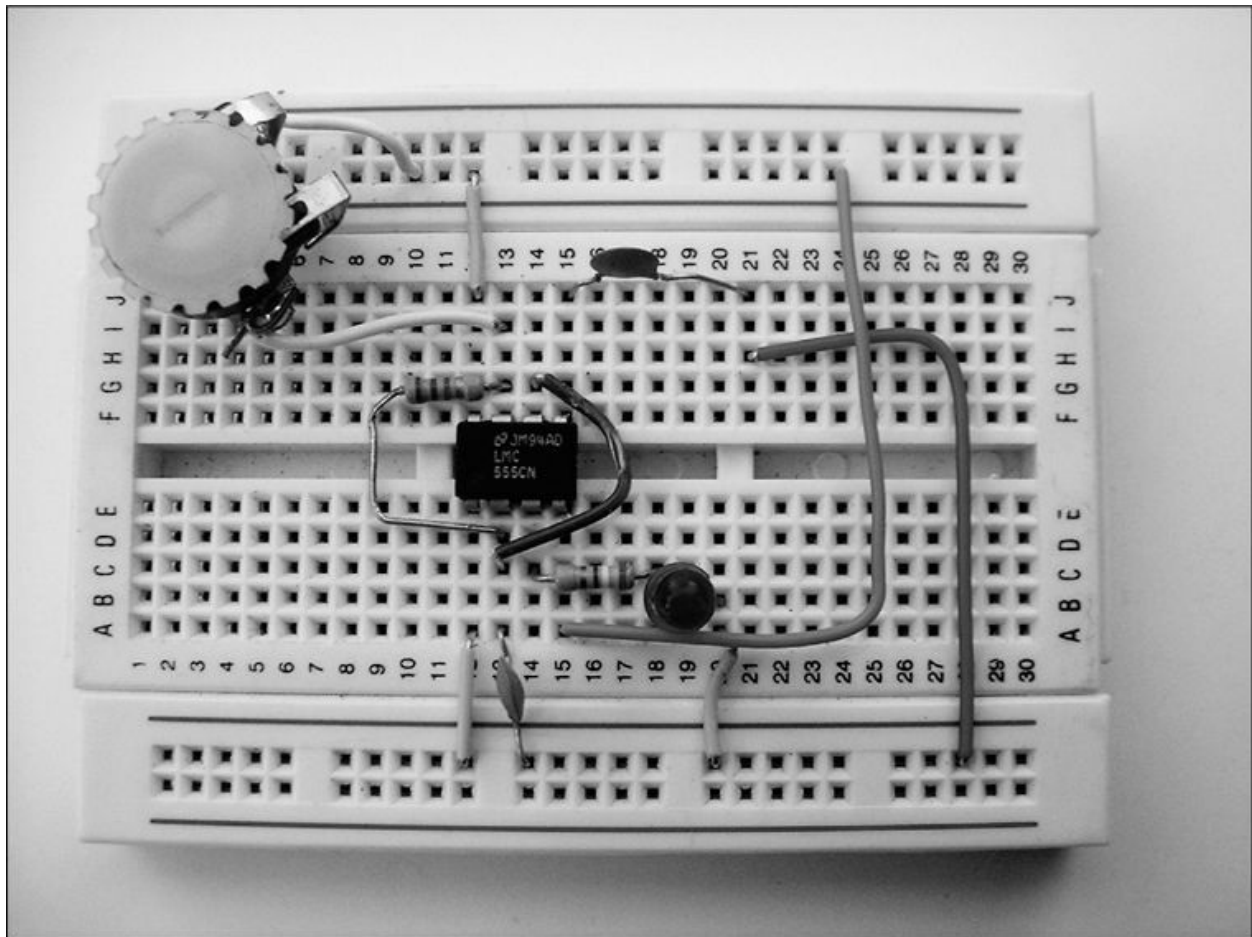


Figura 15.2 Un lampeggiatore a LED con i componenti montati su una piccola breadboard.

I componenti del lampeggiatore a LED

Ecco l'elenco dei componenti necessari per realizzare questo circuito.

- ✓ **Una batteria da 9 V** (una clip opzionale).
- ✓ **IC1:** circuito integrato timer LM 555.
- ✓ **R1:** un potenziometro da 1 M Ω .
- ✓ **R2:** Una resistenza da 471 k Ω .
- ✓ **R3:** una resistenza da 330 Ohm.
- ✓ **C1:** un condensatore polarizzato al tantalio da 1 μ F.

- ✓ **C2:** un condensatore a disco (non polarizzato) da 0,1 μF .
- ✓ **LED:** diodo LED di qualsiasi colore.

I passi per la realizzazione del lampeggiatore a LED

Ecco le operazioni da svolgere per realizzare il circuito lampeggiante a LED.

- 1. Innanzitutto mettete da parte tutti i componenti necessari per realizzare il progetto. Per farlo, utilizzate l'elenco che trovate qui sopra.**

Non c'è niente di peggio che iniziare un progetto e doversi fermare a metà solo perché manca quel singolo componente!

- 2. Collocate il chip del timer 555 al centro della breadboard.**

È pratica comune inserire un circuito integrato in modo che stia a cavallo della riga vuota centrale della breadboard, con il *riferimento* (una piccola tacca o un avvallamento su un lato del chip) rivolto verso sinistra.

- 3. Inserite le due resistenze fisse, R2 e R3, nella breadboard, seguendo lo schema rappresentato nella [Figura 15.2](#).**

Come abbiamo detto nel [Capitolo 7](#), i pin di un circuito integrato sono numerati in senso antiorario, partendo dal riferimento. Dunque, se avete collocato il timer 555 con il riferimento rivolto a sinistra, le connessioni saranno quelle rappresentate nella [Figura 15.3](#).

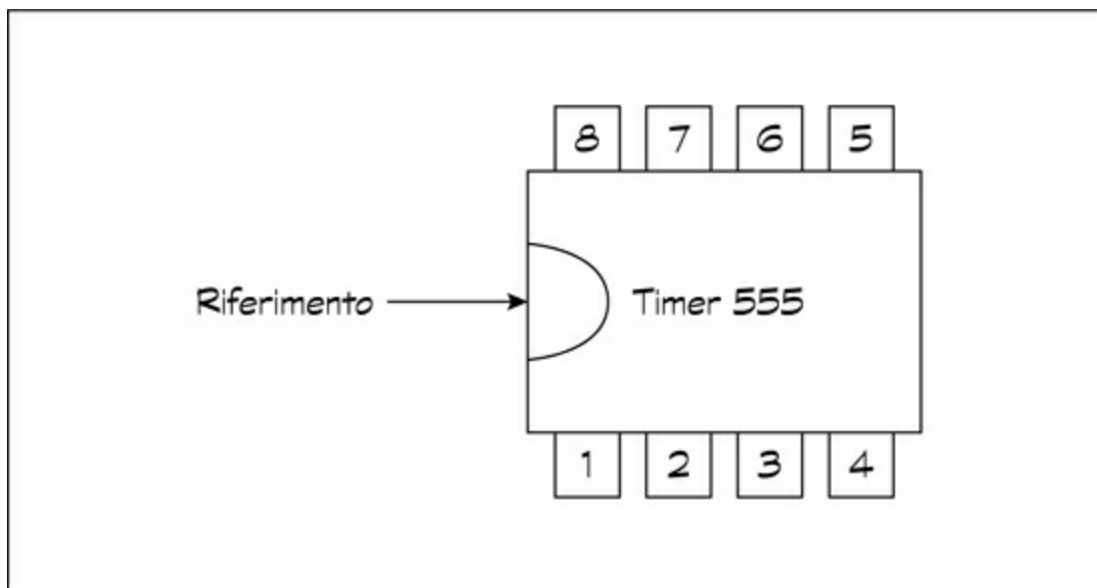


Figura 15.3 I piedini del timer 555.

- 4. Inserite i due condensatori, C1 e C2, seguendo lo schema e la breadboard di esempio rappresentati nella [Figura 15.2](#).**

Assicuratevi di orientare correttamente il condensatore polarizzato, con il lato negativo connesso a massa.

- 5. Saldate dei cavi al potenziometro R1, per connetterlo alla breadboard.**

Utilizzate un cavetto sottile e solido. Il colore non importa. Notate che il potenziometro ha tre contatti. Uno (a un'estremità) va connesso al pin 7 del 555; gli altri due (all'estremità opposta e al centro) sono uniti e connessi al lato positivo dell'alimentazione.



- 6. Connettete il LED come indicato nello schema e nella foto.**

Rispettate l'orientamento corretto quando inserite il LED. Connettete a massa il catodo (il lato negativo, con il piedino più corto) del LED. Controllate la descrizione del LED per assicurarvi che questo sia

l'orientamento corretto. Se inserirete il LED al contrario, non accadrà nulla di male, ma il LED non si accenderà. Dovrete togliere il LED, ruotarlo e reinserirlo.

7. Utilizzate dei ponticelli, preferibilmente pretagliati e adatti per l'utilizzo in una breadboard, per eseguire le connessioni rimanenti.

Utilizzate la breadboard di esempio, rappresentata nella [Figura 15.2](#), come guida per connettere i ponticelli.

8. Prima di dare alimentazione, controllate bene il vostro lavoro. Verificate tutte le connessioni e confrontate tutti i cablaggi con lo schema.

9. Infine collegate la batteria da 9 V all'alimentazione positiva e alla connessione di massa della breadboard.

Tutto sarà più facile se utilizzerete una clip per batterie da 9 V, che contiene già i cavi adeguatamente spelati. Potete voler saldare dei cavetti all'estremità dei contatti della clip; questo facilita l'inserimento dei cavetti nella breadboard. Ricordate che il cavetto rosso della clip della batteria è il terminale positivo e il cavetto nero è quello negativo, da connettere a massa.

Controllare il funzionamento

Quando date alimentazione al circuito, il LED dovrebbe lampeggiare. Ruotate la manopola di R1 per cambiare la frequenza di lampeggio. Se il circuito non funziona, disconnettete la batteria da 9 V e controllate nuovamente le connessioni.

Ecco alcuni errori che è facile commettere.

- ✓ **Circuito integrato 555 capovolto:** questo può danneggiare il chip; se è quello che è successo, potreste dovervi procurare un altro 555.
- ✓ **LED invertito:** estraetelo e giratelo.
- ✓ **Connessioni di ponticelli e componenti non inseriti a fondo nei fori**

della breadboard: verificate che ciascun cavo entri per bene nei fori della breadboard e che non vi siano connessioni lente.

- ✓ **Valore errato dei componenti:** un elemento da verificare sempre.
- ✓ **Batteria esausta:** usatene una nuova.
- ✓ **Errate connessioni nel circuito:** chiedete a un amico di aiutarvi a controllare le connessioni. Un altro paio di occhi può aiutarvi a individuare errori che potreste non aver notato.

Potete utilizzare un multimetro per controllare le tensioni, le correnti e le resistenze del circuito. Come descritto nel [Capitolo 12](#), tali test possono aiutarvi a identificare la causa dei problemi nel circuito. Il multimetro può dirvi se la batteria è carica, se il diodo funziona ancora e molto, molto altro ancora.



Se state realizzando un circuito di nuovo tipo, è buona pratica realizzarlo innanzitutto su una breadboard, senza saldature. Questo perché spesso occorre manipolare vari elementi del circuito per farlo funzionare bene. Quando il circuito è funzionante e vi soddisfa, potrete renderlo più permanente. Ricordatevi solo di controllare sempre due o anche tre volte tutto il lavoro. Non abbiate paura. Ben presto accumulerete esperienza.

Un tocco di luce con un disco piezoelettrico

Non tutti i circuiti elettronici richiedono batterie, resistenze, condensatori, transistor e i classici componenti che si trovano normalmente nei circuiti elettronici. Questo progetto è costituito da una luce al neon che si accende toccando un disco piezoelettrico, il quale genera una propria elettricità. Ha lo scopo di dimostrare che cos'è l'elettricità piezoelettrica.

Piezo-cosa?

Il termine *piezo* viene da una parola greca che significa “premere” o “comprimere”. Molti anni fa, alcune persone molto curiose e che, evidentemente, non avevano nient’altro da fare, hanno scoperto che era possibile generare elettricità premendo molto forte determinati tipi di cristalli. Incredibile ma vero, questi cristalli cambiano forma, ma solo leggermente, quando si applica loro dell’elettricità. Potete immaginare che questa è stata una scoperta importante, poiché al giorno d’oggi si utilizza la piezoelettricità in una grande quantità di oggetti, che vanno dagli orologi al quarzo, ai buzzer, ai pick-up per chitarre, agli accendigas e migliaia di altri oggetti.

Gettare luce sulla piezoelettricità

La [Figura 15.4](#) mostra un semplice circuito con un semplice disco piezoelettrico e un’unica lampadina al neon. Ecco un elenco delle pochissime parti necessarie per realizzare questo circuito e per osservare in azione la piezoelettricità:

- ✓ un disco piezoelettrico (del tipo impiegato in un buzzer), preferibilmente con due cavi già saldati;
- ✓ una lampadina al neon;
- ✓ due morsetti a coccodrillo;
- ✓ qualcosa di non troppo pesante con cui percuotere il disco, per esempio un cacciavite o una bacchetta da batterista (ma una bacchetta, non una mazza).

Potete trovare dischi piezoelettrici presso molti punti vendita e anche online. I dischi piezoelettrici sono economici (non più di un euro) e spesso vengono forniti già collegati a due cavi. Se ne trovate uno con un solo cavo, collegate l’altro cavo al margine del disco metallico per ottenere la connessione di massa. Le lampadine al neon, vendute nei negozi di elettronica, hanno la particolarità di non accendersi se non viene inviata loro una corrente a 90 V. Si tratta di una tensione non banale, ma un disco piezoelettrico può generare

con facilità questa tensione.

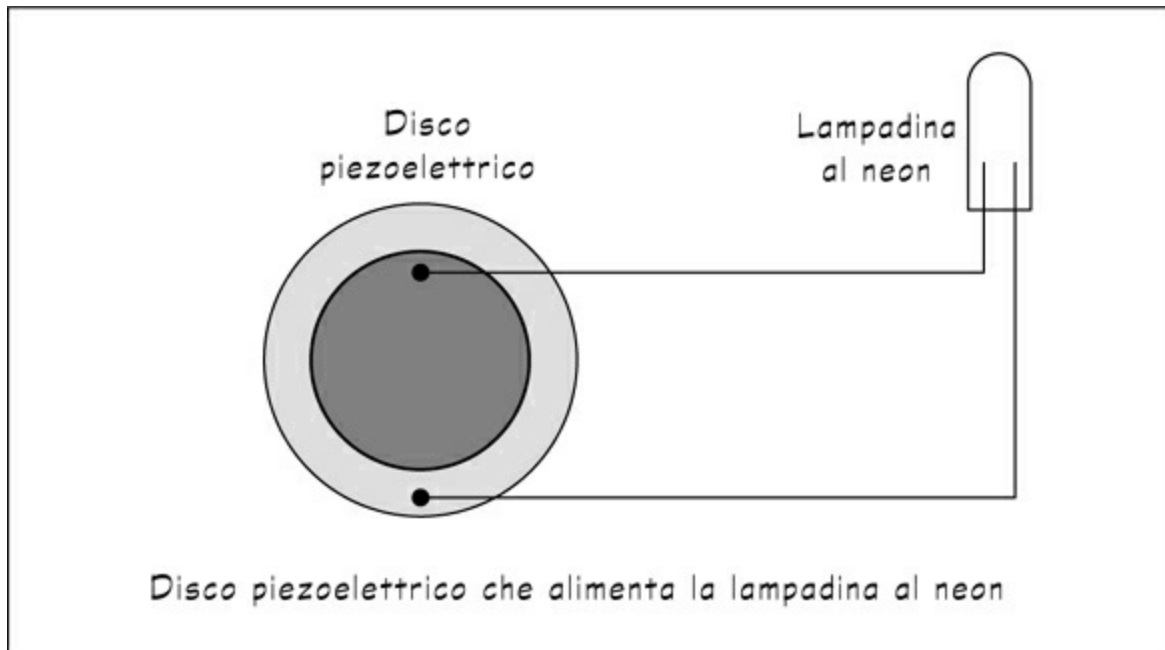


Figura 15.4 Provate a realizzare questo semplice circuito per dimostrare le proprietà dei cristalli piezoelettrici.

Per realizzare il circuito rappresentato nella [Figura 15.4](#), utilizzate la seguente procedura.

- 1. Collocate il disco su una superficie isolata.**

Va benissimo la superficie di una scrivania di legno o di plastica. Non va invece bene una superficie metallica.

- 2. Utilizzate due morsetti a coccodrillo per collegare il disco alla lampadina al neon, come indicato nella [Figura 15.5](#).**

Collocate un cavo di test dal cavo rosso del disco a una connessione della lampada al neon (una o l'altra non fa differenza). L'altro cavo di test andrà dal cavo nero del display all'altro contatto della lampada al neon.

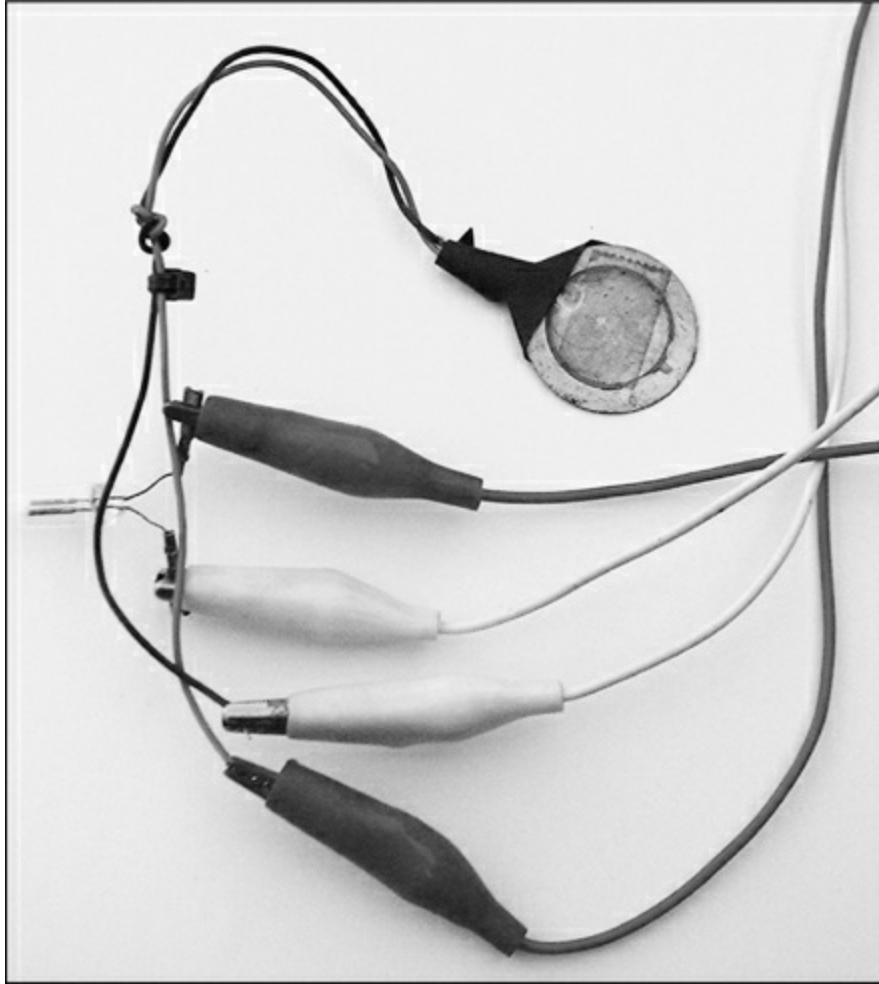


Figura 15.5 Collegate il disco e la lampadina al neon utilizzando i morsetti a coccodrillo.

3. Collocate il disco sul tavolo.

4. Con l'estremità in plastica di un cacciavite, colpite piuttosto forte il disco.

Ogni volta che colpite il disco, la lampadina si accenderà.



Evitate di toccare i due fili che escono dal disco. Anche se la scossa prodotta non è pericolosa, non è neanche una cosa divertente!

Una batteria di luci

Potete mettere insieme più circuiti luminosi piezoelettrici per creare una batteria luminosa. Ecco come potete incantare il vostro pubblico.

- 1. Mettete in fila una serie di dischi e lampadine.**
- 2. Fissate con nastro o con colla questi dischi a una base in plastica.**
- 3. Impugnate un paio di bacchette da batterista, spegnete le luci e percuotete i dischi al ritmo che preferite.**

Vedere al buio con un rilevatore a infrarossi

Vi piacerebbe vedere al buio, come un gatto? Ora potete, realizzando questo semplice rilevatore a infrarossi, rappresentato nella [Figura 15.6](#). Il circuito usa solo tre componenti (più la batteria). Potete rendere il circuito un po' più interessante aggiungendo un interruttore unipolare standard fra il polo positivo della batteria e il fototransistor, per accendere e spegnere il rilevatore; oppure potete scegliere il modo più semplice e disconnettere semplicemente la batteria quando non utilizzate il rilevatore.

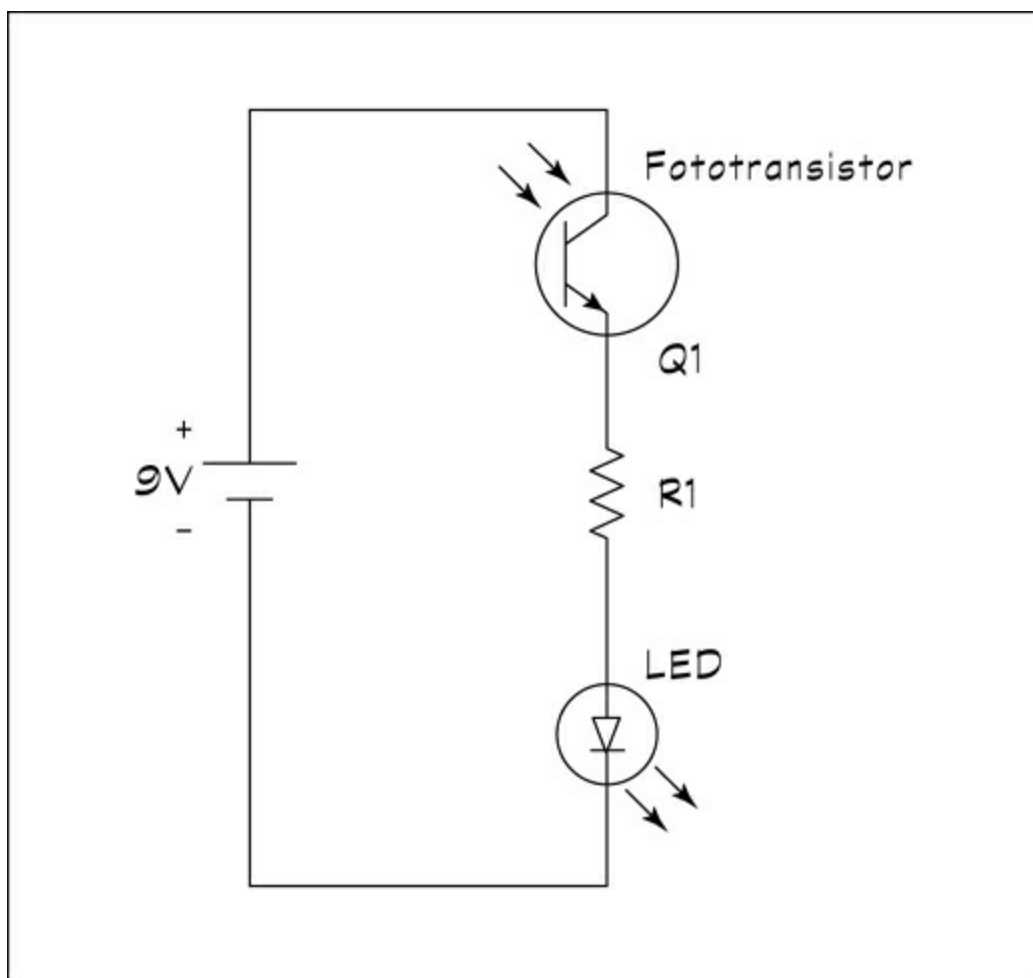


Figura 15.6 Schema elettrico del rilevatore a infrarossi.

Scegliere i componenti per il rilevatore a infrarossi

Quattro semplici componenti, per realizzare questo progetto.

- ✓ **Una batteria da 9 V** (con clip opzionale).
- ✓ **Q1:** fototransistor a infrarossi (questo semplice circuito usa un RadioShack 276-0145, ma poi può essere impiegato quasi ogni fototransistor).
- ✓ **R1:** una resistenza da 330 Ω .
- ✓ **LED:** un diodo LED di qualsiasi colore.

Assicuratevi di utilizzare un fototransistor e non un fotodiodo. Hanno lo stesso aspetto, dunque fate attenzione a non confondervi nell'acquisto. Inoltre, assicuratevi di disporre con l'orientamento corretto sia il fototransistor sia il LED. Se li invertite, il circuito non funzionerà.

Individuare le fonti di luce a infrarossi

Utilizzando il rilevatore a infrarossi, potete individuare luci a infrarossi da varie fonti. Ecco, per esempio, due idee da provare.

- ✓ **Il dilemma del telecomando:** poiché i telecomandi usano luce invisibile, a infrarossi, può essere difficile scoprire che cosa è guasto quando smettono di funzionare. Il problema è nel telecomando oppure del TV? Per controllare il telecomando, posizionate lo davanti al fototransistor a infrarossi. Poi premete un tasto: se il LED del progetto lampeggia, significa che il telecomando funziona.
- ✓ **Controspionaggio:** potete scoprire se avete in camera una telecamera nascosta. Al giorno d'oggi, esistono mini telecamere (come quella rappresentata nella [Figura 15.7](#)) in grado di “vedere” al buio utilizzando, per “illuminare” la scena, delle luci a infrarossi. Questo circuito rilevatore di infrarossi è in grado di individuare tutte le fonti di luce infrarossa, che, naturalmente, a occhio nudo sono invisibili. Spegnete le luci e girate per la stanza impugnando il rilevatore. Se il LED lampeggia, anche se non vedete alcuna fonte di luce, avete appena trovato una fonte di luce a infrarossi e, probabilmente, proveniente da una telecamera nascosta!



Sebbene il fototransistor a infrarossi sia particolarmente sensibile alla luce a infrarossi, risponde anche alla luce visibile. Per ottenere migliori risultati, utilizzate il rilevatore a infrarossi in una stanza poco illuminata. L'illuminazione diretta, dal Sole o da una fonte artificiale, può influenzare le

letture.

Spaventare i cattivi con una sirena

Solo la polizia può arrestare i “cattivi”. Noi, però, possiamo metterli in fuga con questa sirena, il cui progetto è rappresentato nella [Figura 15.8](#). Un progetto piccolo ma interessante, che potete utilizzare per scoprire se qualcuno fruga fra i vostri segreti: figurine dei calciatori, dischi in vinile, la copia autografa di un libro, quello che volete.



Figura 15.7 Questa videocamera in miniatura è in grado di vedere nel buio, grazie ai suoi sei LED a infrarossi (IR LED).

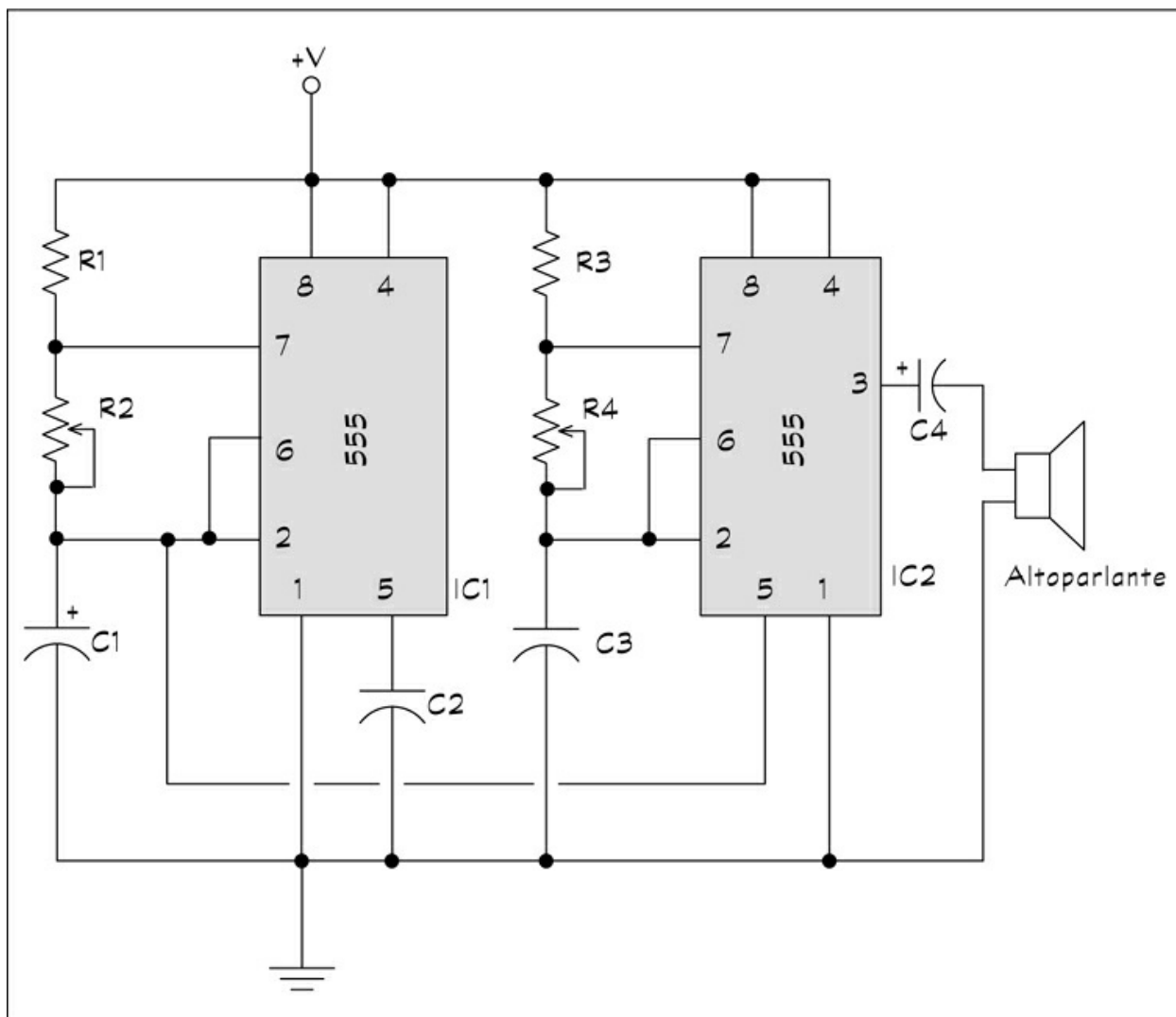


Figura 15.8 Una “sirena” realizzata con due integrati 555.

L’elenco dei componenti per la sirena con l’integrato 555

Per realizzare questo progetto, procuratevi innanzitutto i seguenti componenti.

- ✓ **Batteria da 9 V** (con clip, opzionale).
- ✓ **IC1, IC2:** timer LM555.

- ✓ **R1, R3:** resistenze da 2,2 k Ω .
- ✓ **R2:** potenziometro da 50 k Ω .
- ✓ **R4:** potenziometro da 100 k Ω .
- ✓ **C1:** condensatore elettrolitico da 47 μ F (polarizzato).
- ✓ **C2:** condensatore a disco da 0,01 μ F (non-polarizzato).
- ✓ **C3:** condensatore a disco da 0,1 μ F (non-polarizzato).
- ✓ **C4:** condensatore elettrolitico o al tantalio da 1 μ F (polarizzato).
- ✓ **Altoparlante:** 8 ohm, 1 W.

Come funziona l'allarme

Questo circuito ([Figura 15.8](#)) usa due economici timer 555. Entrambi vengono fatti funzionare come *multivibratori* astabili; in pratica cambiano costantemente la loro uscita da alto a basso ad alto a basso e così via. I due timer operano a frequenze differenti. L'integrato a destra nella figura è configurato come un generatore di toni, che produce una frequenza udibile al suo piedino di uscita (3). Connettendo un altoparlante all'uscita, si può udire un forte suono di tonalità media.

Il timer a sinistra opera a una frequenza più bassa rispetto a quello a destra e viene utilizzato per modulare il segnale prodotto dal chip a destra. Il segnale al pin 2 del chip 555 a sinistra sale e scende lentamente ed è connesso al pin 5 del chip 555 a destra.



Normalmente, potete aspettarvi che il segnale al pin 3 del chip 555 a sinistra venga inviato al chip 555 a destra per attivarlo. Come abbiamo visto nel [Capitolo 7](#), al pin 3 del chip 555 si trova l'impulso di uscita alto e basso per cui sono famosi i timer 555. Per questa sirena, si ottiene un suono più interessante utilizzando un segnale differente (al pin 2) che attiva il secondo

chip 555. Il segnale al pin 2 del chip 555 a sinistra sale e scende lentamente mentre il condensatore C1 si carica e scarica. La carica e scarica di un condensatore è descritta nel [Capitolo 4](#); questa operazione di carica e scarica del condensatore attiva la forma d'onda a impulsi alto-basso che il timer 555 emette al piedino 3, che non si usa. Inviando questa tensione del condensatore (dal pin 2 del 555 sinistra) verso il pin di controllo (pin 5) del chip 555 a destra, si aggira la circuitazione di attivazione interna del secondo chip, utilizzando al suo posto un segnale di attivazione variabile, che aiuta a emettere il suono.

Regolando i due potenziometri R2 e R4, si cambia la tonalità e la velocità della sirena. Potete produrre ogni genere di sirena e anche strani effetti sonori regolando questi due potenziometri. Potete alimentare questo circuito con qualsiasi tensione compresa tra 5 e 15 V. Per alimentare questo apparecchietto, potete utilizzare una comune batteria da 9 V (che abbiamo incluso nell'elenco dei componenti).

Perdersi o ritrovarsi con la bussola elettronica

Potete scoprire in quale punto del mondo vi trovate con questa utile bussola elettronica. La bussola elettronica utilizza la stessa tecnologia impiegata per mostrare in modo elettronico la direzione: quattro LED indicano i quattro punti cardinali: N (Nord), S (Sud), E (Est) e W (Ovest). Il circuito illumina i LED adiacenti per mostrare anche le direzioni intermedie: SW, SE, NW e NE. Lo schema della bussola elettronica è rappresentato nella [Figura 15.9](#).

I componenti per realizzare la bussola elettronica

Ecco i componenti di cui avrete bisogno per realizzare questa piccola bussola elettronica.



✓ **Batteria da 9 V.**

- ✓ **Bussola:** bussola magnetica elettronica Dinsmore 1490 (descritta più avanti nel paragrafo, “Al cuore della bussola”).
- ✓ **R1-R4:** resistenza da 1 k Ω .
- ✓ **C1:** condensatore elettrolitico da 10 μ F (polarizzato).
- ✓ **LED1–LED4:** LED di qualsiasi colore.
- ✓ **Varie:** scatola, interruttore, clip per la batteria (opzionali).

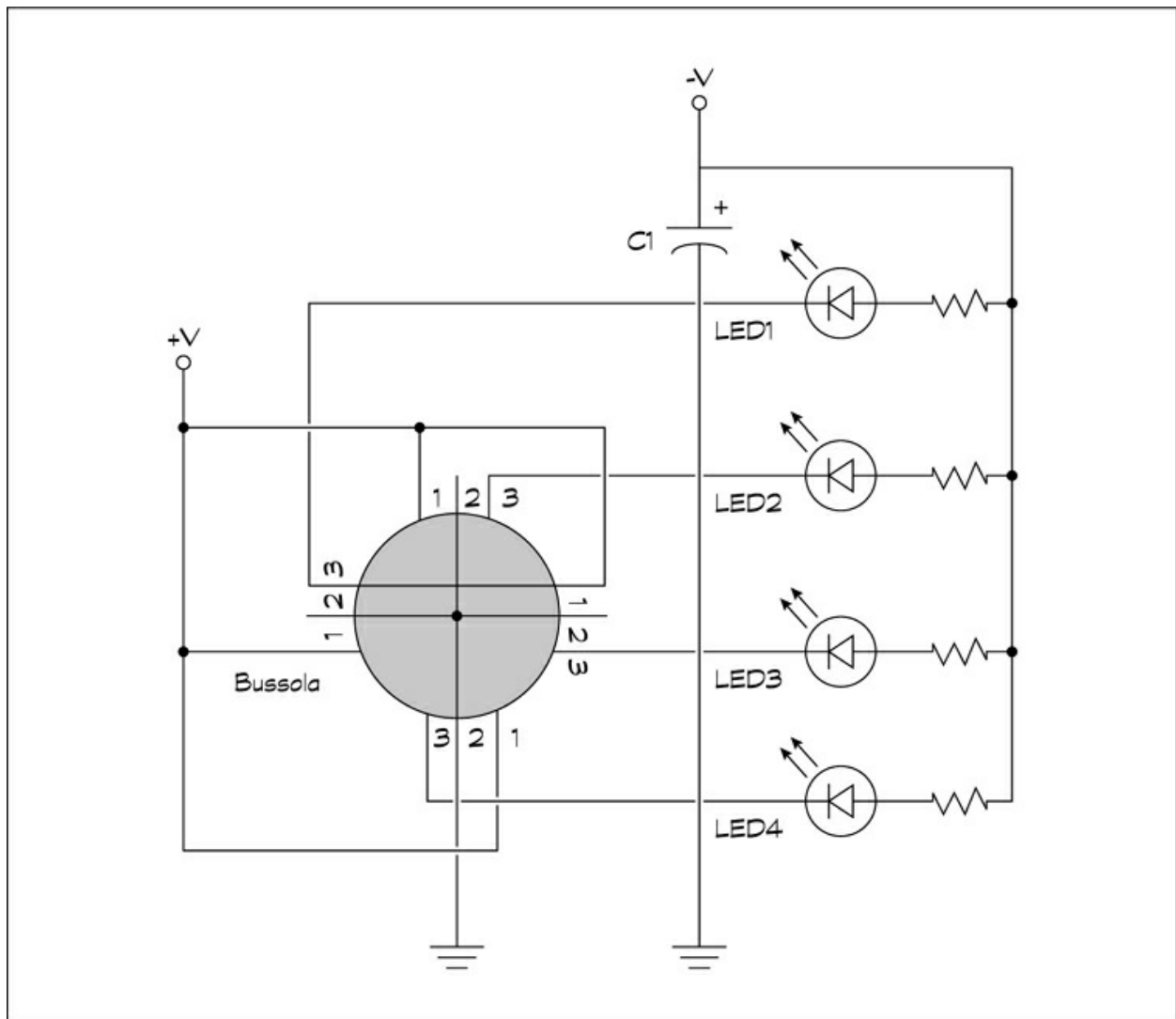


Figura 15.9 Lo schema della bussola elettronica.

Al cuore della bussola

Sotto la superficie di questo progetto batte un modulo bussola molto particolare, il Dinsmore 1490. Questo modulo non è particolarmente diffuso e avrete bisogno di ordinarlo, ma si rivelerà molto divertente e dunque vale la pena di affrontare la spesa, dell'ordine della decina di euro. Potete trovare la descrizione del modulo bussola sul sito Web del produttore, www.robsonco.com, ma cercatelo più vicino, eseguendo una ricerca con il vostro motore di ricerca preferito. Per la ricerca usate le parole “dinsmore compass 1490”.

Il modulo bussola 1490 ha le dimensioni, all'incirca, di un bottoncino. La parte inferiore del sensore reca ben 12 piccoli pin, la cui piedinatura è rappresentata nella [Figura 15.10](#). I pin sono disposti in quattro gruppi di tre e sono costituiti dalle seguenti connessioni:

- ✓ Alimentazione;
- ✓ Massa;
- ✓ uscita (segnale).

Con poche saldature, potete realizzare una semplice bussola elettronica molto molto portatile. Procuratevi anche una piccola scatolina e disponete i LED secondo il classico schema dei punti cardinali. Potete trovare un contenitore adatto in qualsiasi negozio di elettronica. Esistono contenitori di ogni forma e dimensione, anche piccolissimi. Ricordatevi solo di scegliere un contenitore in grado di contenere non solo la scheda del circuito, ma anche la batteria.

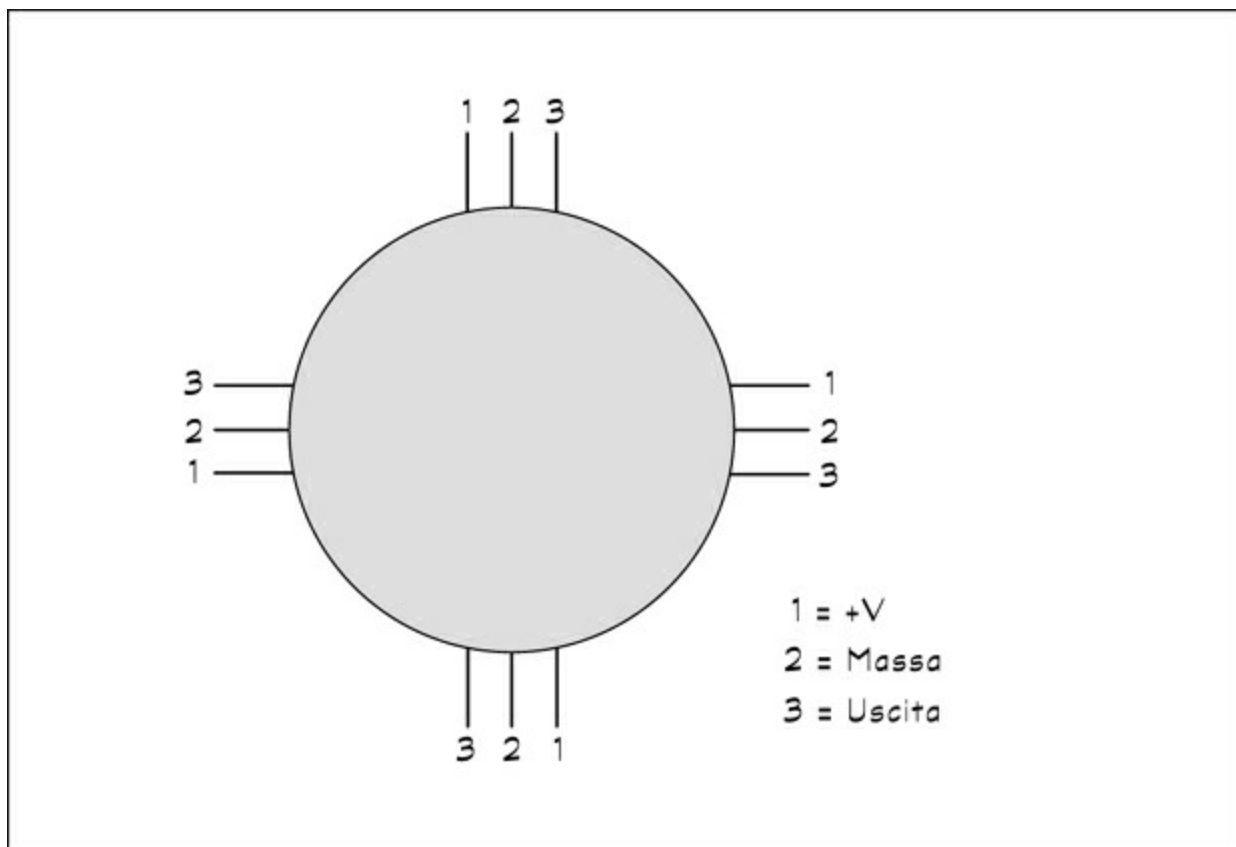


Figura 15.10 Piedinatura del modulo bussola Dinsmore.

Potete alimentare la bussola utilizzando una batteria da 9 V. Aggiungete anche un interruttore al terminale positivo della batteria, in modo da poter accendere o spegnere il progetto senza togliere la batteria dalla clip.

Una luce... sonora

La [Figura 15.11](#) mostra lo schema dell'allarme sonoro. L'idea di questo progetto è semplice: quando si accende la luce, parte l'allarme. Per realizzare l'allarme si utilizza un chip timer 555, che funge da generatore di toni. Quando una luce colpisce la fotoresistenza, la variazione della resistenza attiva il transistor Q1. Questo, a sua volta, attiva il 555. Potete regolare la sensibilità dell'allarme ruotando R1, che è un potenziometro (una resistenza variabile).

Elenco dei componenti dell'allarme luminoso

Ecco di cosa avete bisogno per realizzare l'allarme luminoso.

- ✓ **Batteria 9 V** (con clip opzionale).
- ✓ **IC1:** circuito integrato timer LM555.
- ✓ **Q1:** transistor PNP 2N3906.
- ✓ **R1:** potenziometro da 100 k Ω .
- ✓ **R2:** resistenza da 3,9 k Ω .
- ✓ **R3:** resistenza da 10 k Ω .
- ✓ **R4:** resistenza da 47 k Ω .
- ✓ **C1, C3:** condensatore a disco da 0,01 μ F (non-polarizzato).
- ✓ **C2:** condensatore elettrolitico o al tantalio da 1,0 μ F (polarizzato).
- ✓ **Altoparlante:** da 8 ohm, 0,5 W.
- ✓ **Fotoresistenza:** sperimentate con varie forme e dimensioni; per esempio, una fotoresistenza più grossa renderà il circuito un po' più sensibile.

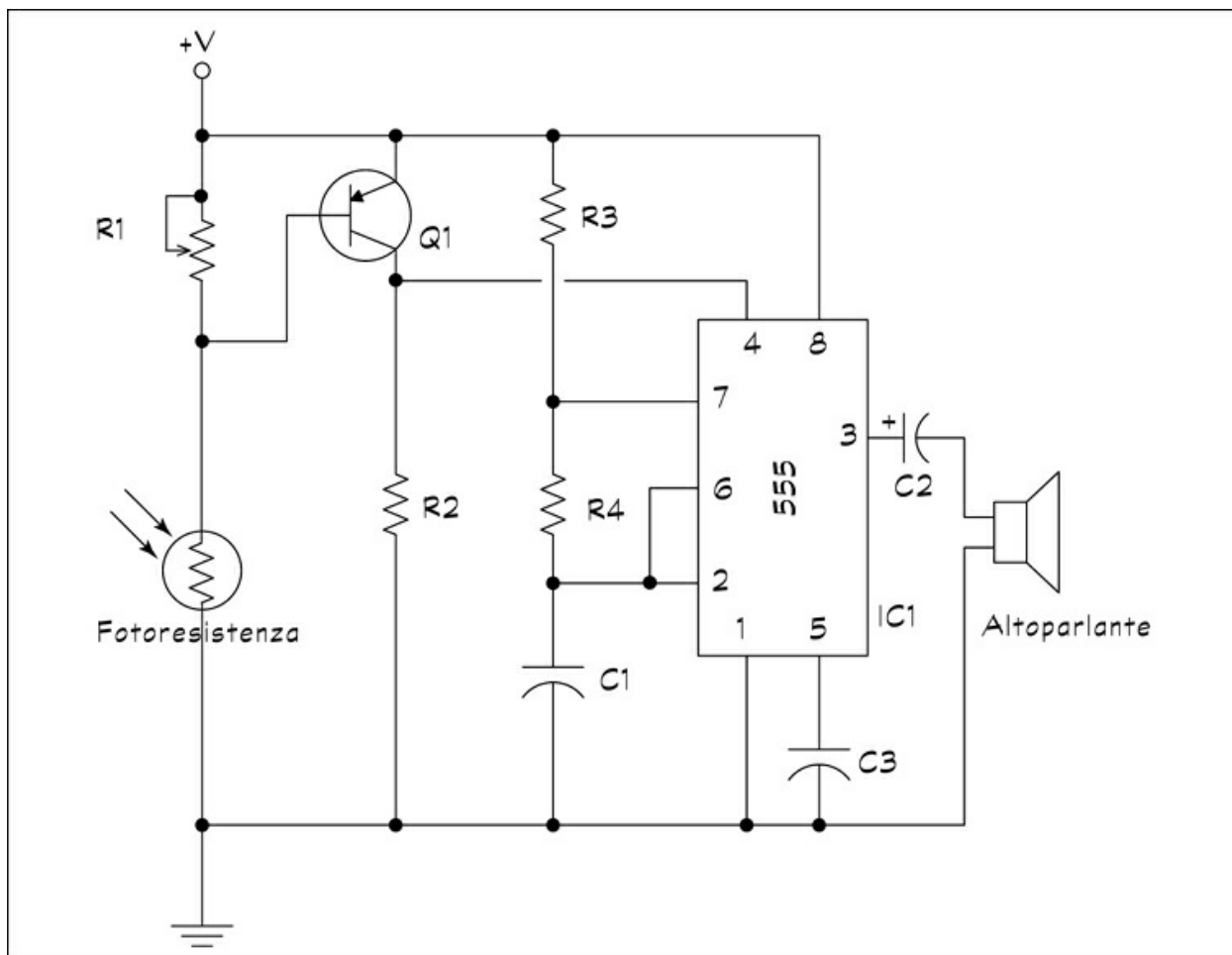


Figura 15.11 Lo schema dell'allarme luminoso.

Mettere in funzione l'allarme

Questo allarme luminoso può essere utile in vari modi. Ecco solo alcune idee.

- ✓ Ponete l'allarme luminoso all'interno della credenza, in modo che si accenda quando qualcuno dà l'assalto al cioccolato. Ciò terrà gli estranei lontani dal vostro tesoro o aiuterà voi a stare a dieta! Chi apre l'armadietto, fa entrare la luce e attiva l'allarme.
- ✓ State realizzando un complesso progetto elettronico in garage e non volete che nessuno ci metta le mani? Ponete l'allarme nel garage, vicino all'ingresso. Se qualcuno dovesse aprire la porta del garage

nel corso della giornata, la luce farà scattare l'allarme.

- ✓ Realizzate il vostro “gallo elettronico” personale che vi sveglia all'alba (e non avrete più bisogno di una sveglia).

Piccolo amplificatore, grande suono

Date voce ai vostri progetti elettronici con questo piccolo amplificatore realizzato con componenti economici e facili da reperire in qualsiasi negozio di elettronica, come il circuito integrato amplificatore di potenza LM386. Questo amplificatore aumenta il volume di microfoni, generatori di toni e molte altre sorgenti audio.

La [Figura 15.12](#) mostra lo schema del progetto, costituito solo da sei componenti (compreso l'altoparlante) e una batteria. Potete alimentare l'amplificatore con tensioni comprese fra 5 e 15 V, per esempio con una batteria da 9 V.

I pochi componenti per il piccolo amplificatore

Ecco un elenco dei componenti necessari per realizzare il progetto.

- ✓ **Batteria da 9 V** (con clip opzionale).
- ✓ **IC1:** amplificatore di potenza LM386.
- ✓ **R1:** resistenza da 10 Ω .
- ✓ **C1:** condensatore elettrolitico da 10 μF (polarizzato).
- ✓ **C2:** condensatore elettrolitico da 220 μF (polarizzato).

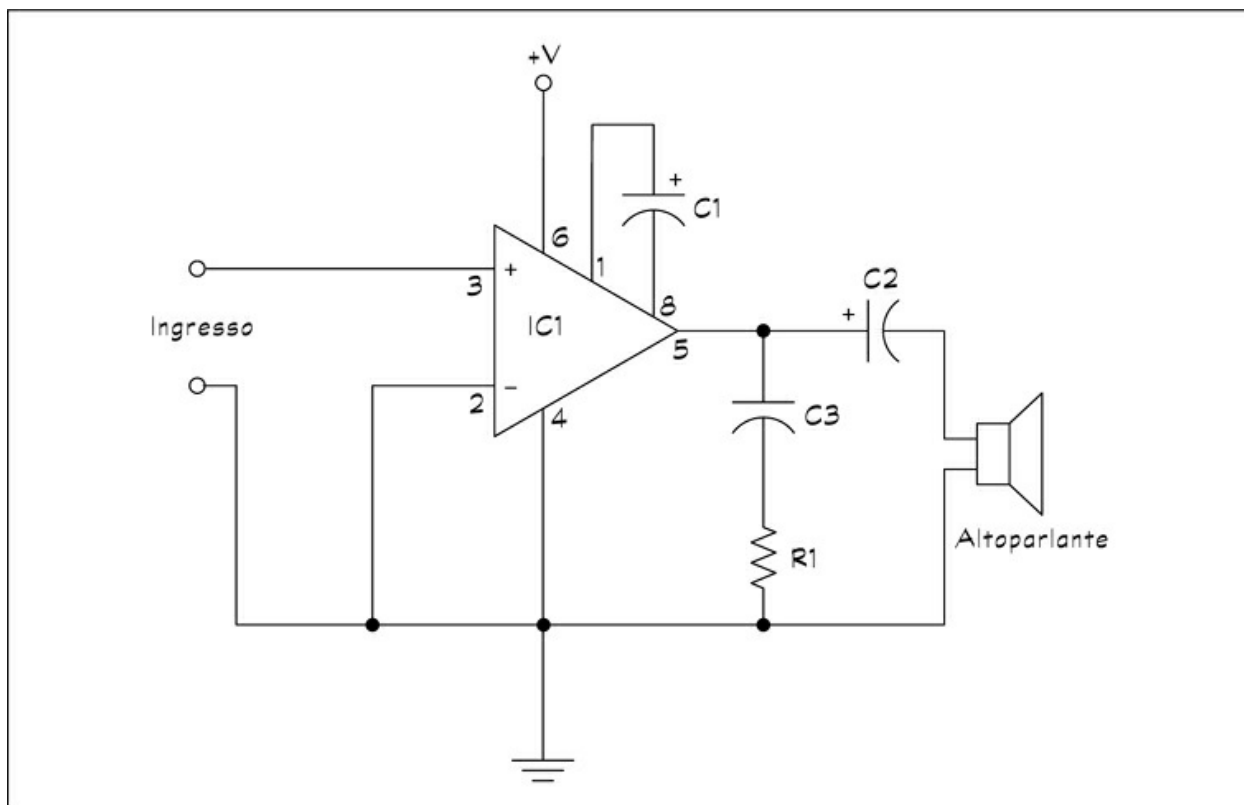


Figura 15.12 Lo schema del piccolo amplificatore.

✓ **C3:** condensatore a disco da 0,047 μF (non-polarizzato).

✓ **Altoparlante:** 8 ohm, 0,5 W.



La qualità del suono dipende dalla qualità del microfono e degli altoparlanti.

Come funziona l'amplificatore

Per utilizzare l'amplificatore, connettete una sorgente audio, per esempio un microfono, al pin 3 dell'integrato LM386. Ricordate di connettere la massa della sorgente del segnale alla massa comune del circuito dell'amplificatore.



A seconda del segnale, potete ottenere un suono migliore collocando un condensatore da 0,1 a 10 μF fra la sorgente e il pin 3 dell'LM386. Per i valori più piccoli (all'incirca fino a 0,47 μF), utilizzate un condensatore a disco; per valori più elevati (1 μF o più) utilizzate un condensatore al tantalio. Se utilizzate un condensatore polarizzato, ricordate di orientare il polo positivo del componente verso la sorgente audio.

Questo piccolo amplificatore non offre alcun controllo di volume e la qualità del suono può riportare ai tempi in cui si ascoltava la musica con il mangiadischi. Ma questo semplice circuito offre comunque la possibilità di produrre tanto suono in poco spazio.

Un comodo sensore per l'acqua

Il semplice circuito di test rappresentato nella [Figura 15.13](#) non vi permetterà di trovare l'acqua che scorre nel sottosuolo come i raddomanti, ma vi consentirà di rilevare l'umidità nelle piante o l'acqua intrappolata sotto la moquette.

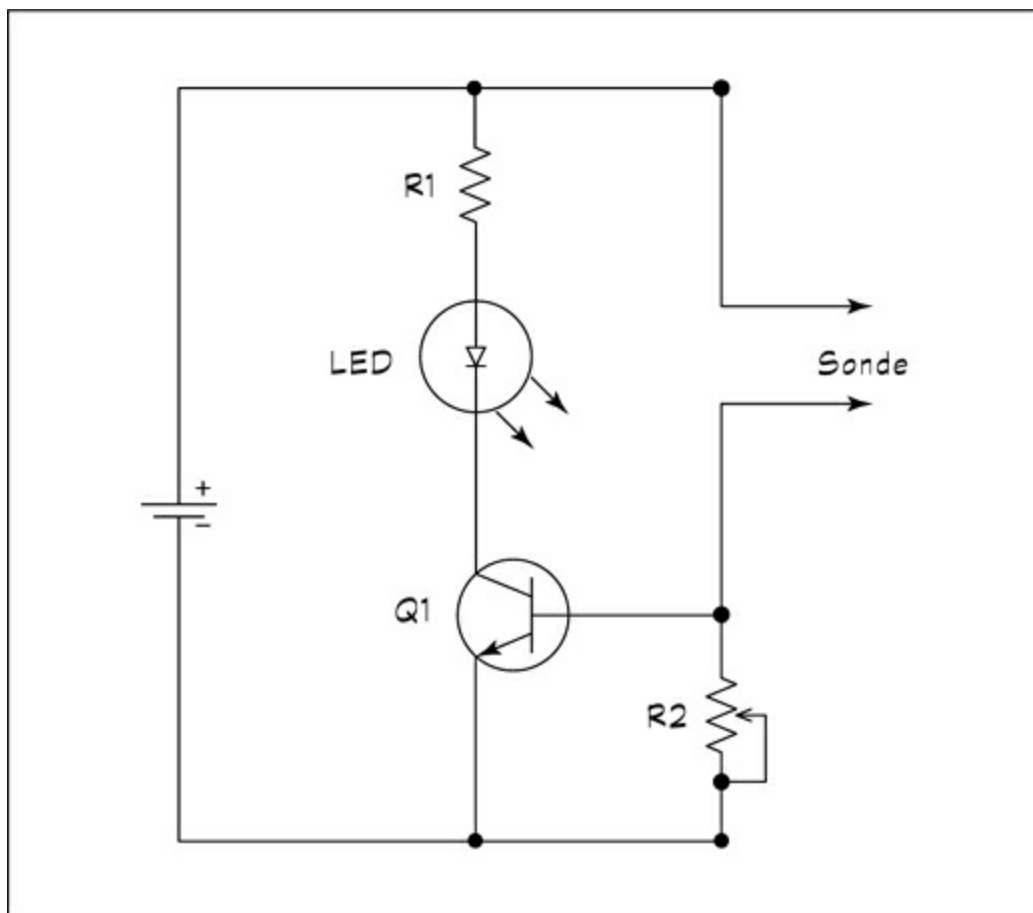


Figura 15.13 Lo schema del semplice rilevatore di acqua.

I componenti per il sensore per l'acqua

Per realizzare il progetto del sensore per l'acqua avrete bisogno dei seguenti componenti.

- ✓ **Batteria da 9 V** (con clip opzionale).
- ✓ **Q1:** transistor NPN 2N2222.
- ✓ **R1:** resistenza da 470 ohm.
- ✓ **R2:** potenziometro da 50 kΩ.
- ✓ **LED:** del colore desiderato.
- ✓ **Sonde:** due chiodi.

Come funziona il sensore dell'acqua

Il sensore dell'acqua è semplice in modo imbarazzante. Funziona utilizzando la conduttività elettrica dell'acqua (lo stesso principio che suggerisce di non fare il bagno insieme a un tostapane acceso). Il tester contiene due piccole sonde metalliche. Quando le sonde sono immerse nell'acqua, la conduttività dell'acqua chiude il circuito. Questo circuito invia corrente a un transistor, il quale accende un LED. Quando le sonde non sono in contatto con l'acqua (o qualche altro elemento conduttivo), il sensore è spento, il circuito è aperto e il LED non si accende.

Potete realizzare le due sonde con due chiodi. Inchiodateli a una distanza di un paio di centimetri su un pezzo di plastica (non di legno o di metallo). I chiodi dovranno essere paralleli fra loro e ben affilati. La punta aiuta a far giungere le sonde più in profondità nel materiale che state sottoponendo a test. Per esempio, potete poggiare le sonde sulla moquette per determinare se al di sotto serpeggia dell'acqua.

Potete regolare la sensibilità del sensore ruotando il potenziometro R2. Iniziate con il potenziometro in posizione intermedia e ruotatelo nelle due direzioni, a seconda della quantità di umidità o acqua nell'oggetto che state controllando.

Vi suggeriamo di utilizzare una batteria da 9 V, ma potete alimentare il sensore dell'acqua con una tensione compresa fra 5 e 12 V.

Un generatore di effetti luminosi

Se siete fan della serie televisiva *Supercar*, andata in onda negli anni Ottanta, ricorderete le luci sequenziali visibili sotto il cofano di K.I.T.T. Potete realizzare questo effetto in meno di un'ora, utilizzando solo due economici circuiti integrati e una manciata di componenti. Lo schema di questo generatore di effetti è rappresentato nella [Figura 15.14](#).

L'elenco dei componenti per gli effetti luminosi

Per realizzare questo progetto avrete bisogno dei seguenti componenti.

- ✓ **Batteria da 9 V** (con clip opzionale).

- ✓ **IC1:** timer LM555.

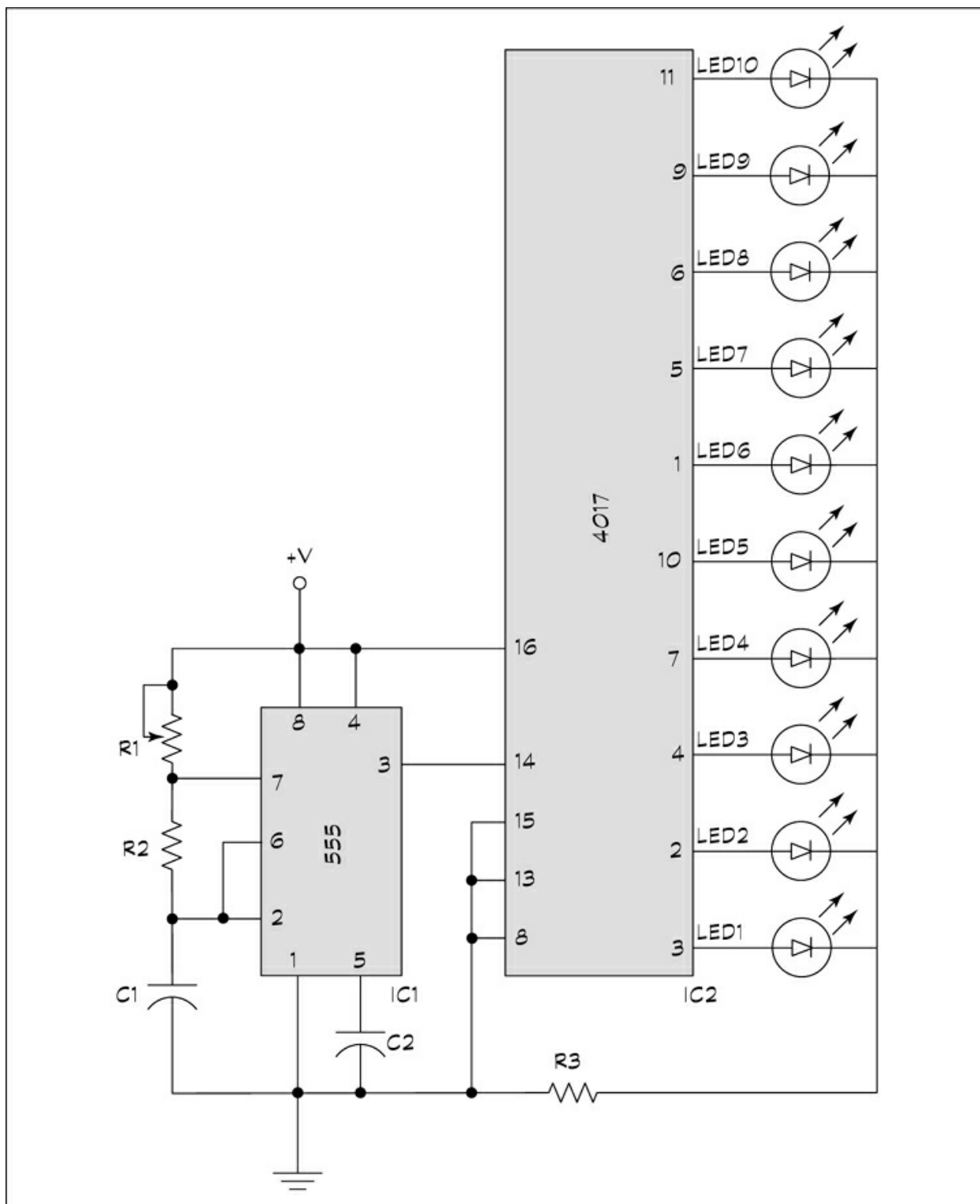


Figura 15.14 Lo schema del generatore di effetti luminosi.

- ✓ **IC2:** contatore decimale 4017 CMOS.
- ✓ **R1:** potenziometro da 1 M Ω .
- ✓ **R2:** resistenza da 47 k Ω .
- ✓ **R3:** resistenza da 330 Ω .
- ✓ **C1:** condensatore a disco da 0,47 μ F (non-polarizzato).
- ✓ **C2:** condensatore a disco da 0,1 μ F (non-polarizzato).
- ✓ **LED1–LED10:** di qualsiasi colore.



Il contatore decimale 4017, e tutti i chip CMOS in generale, sono sensibili all'elettricità statica ed è facile bruciarli se non si fa attenzione. Prendete particolari precauzioni, come indossare un bracciale antistatico (come descritto nel Capitolo 29), prima di maneggiare il circuito integrato CMOS 4017.

Controllare le luci

Il circuito rappresentato nella [Figura 15.14](#) è costituito da due sezioni.

- ✓ **Il “cervello”:** un integrato timer 555 costituisce la prima sezione, a sinistra nello schema. Questo chip funziona come un multivibratore astabile, infatti realizza lo stesso circuito di base del lampeggiatore a LED descritto in “Luci lampeggianti”, nella prima parte di questo capitolo. Il 555 produce una serie di impulsi; per regolare la velocità degli impulsi, utilizzate il potenziometro R1.
- ✓ **Il “braccio”:** la seconda sezione, a destra nello schema, contiene il contatore decimale CMOS 4017. Questo chip accende in successione ciascuno dei dieci LED. I LED vengono commutati quando il 4017 riceve un impulso dal 555. Basta cablare il 4017 in modo che ripeta la sequenza da 1 a 10 fintantoché il circuito è alimentato.

Disporre i LED

Potete predisporre il generatore di effetti luminosi su una breadboard, per provarlo. Se però volete realizzare un circuito permanente, pensate a come potete disporre i dieci LED. Per esempio, per ottenere vari effetti luminosi, potete provare i seguenti suggerimenti.

- ✓ **Ponete tutti i LED in fila, in sequenza:** le luci si accenderanno ripetutamente.
- ✓ **Ponete i LED tutti in fila, ma alternando la sequenza a sinistra e a destra:** cablate i LED in modo che la sequenza parta dall'esterno e proceda verso l'interno.
- ✓ **Ponete i LED in cerchio, in modo che la sequenza proceda in senso orario o antiorario:** il progetto realizzerà una sorta di “ruota della roulette”.
- ✓ **Disponete i LED a forma di cuore:** una configurazione perfetta per il giorno di San Valentino.

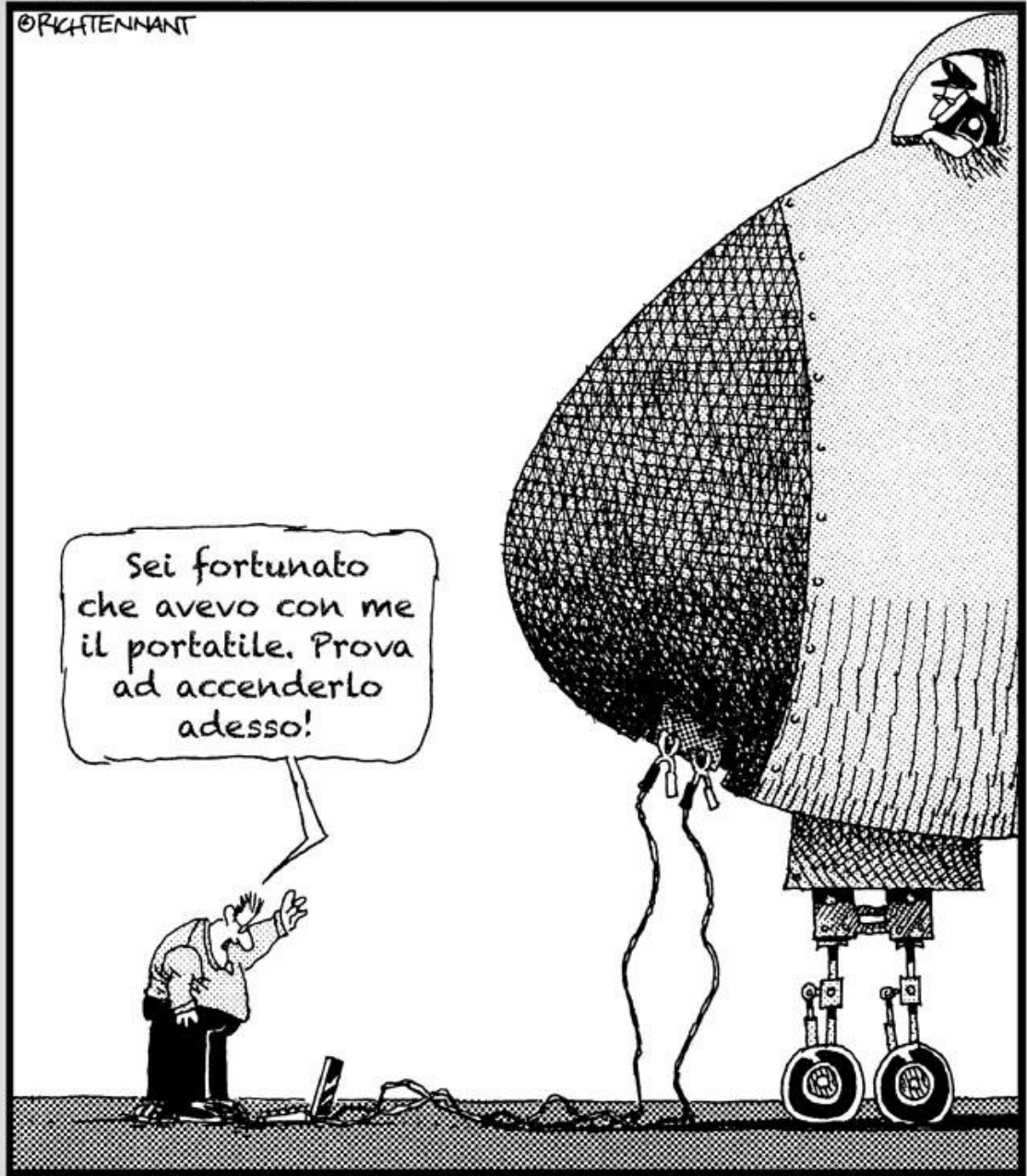
Parte IV

La parte dei dieci

The 5th Wave

By Rich Tennant

©RICH TENNANT



In questa parte...

Ogni volume che si rispetti della serie For Dummies non può concludersi senza un bell'elenco dei "dieci". In questa parte troverete non proprio dieci, ma una "decina" di informazioni utili.

Per esempio, qui troverete alcuni importanti suggerimenti che vi aiuteranno a sviluppare le vostre abitudini nel mondo dell'elettronica.

Capitolo 16

Una decina (circa) di ottimi suggerimenti per spingervi oltre

In questo capitolo

Iniziare l'esperienza nel campo dell'elettronica con un kit.
Dare vita ai gadget con un alimentatore variabile.
Controllare la frequenza di un segnale.
Forme d'onda con un generatore di funzioni.
Segnali variabili con un oscillatore spazzolato.
Utilizzare un logic pulser per iniettare segnali di test nei circuiti.
Controllare gli ingressi e le uscite con un analizzatore logico.
Simulare i circuiti sul computer.
Dove trovare strumenti di test a buon mercato.

OK, ora vi sentite pronti per fare qualcosa di davvero serio con l'elettronica e cominciate chiedervi quali altri strumenti potreste impiegare (a parte quelli già descritti) per capire che cosa diavolo succeda all'interno di tutti questi cavi e componenti. Forse siete ansiosi di impressionare amici e parenti mostrando loro qualche nuovo gadget interessante e tangibile, che avete *già a disposizione*, o una nuova strumentazione zeppa di spie, manopole e display. Se l'argomento vi interessa, siete pronti per esplorare gli strumenti, gli apparecchi di test e i software che descriveremo in questo capitolo.



Ciò che trovate in questo capitolo *non è strettamente necessario* per giocherellare con LED e resistenze. Per questo vi basta un multimetro e, al più, una sonda logica. Ma i kit pronti all'uso vi aiuteranno a fare esperienza con i circuiti, dopo di che potrete approfondire l'argomento e realizzare progetti sempre più sofisticati.

Kit pronti all'uso

Se volete fare qualcosa di davvero avanzato con l'elettronica e non volete partire proprio dall'inizio (almeno non ancora), potete acquistare uno dei tanti *kit per hobbisti*. Vi troverete tutto il necessario per realizzare circuiti perfettamente funzionanti: tutti i componenti elettronici, i cavetti, le schede e anche istruzioni dettagliate per realizzare il circuito. Spesso vengono fornite anche indicazioni sul funzionamento del kit.

Troverete kit per allarmi sensibili alla luce, simulazioni di semafori, serrature a combinazione, timer regolabili, luci decorative e molto altro ancora. Potete fare pratica con questi circuiti già pronti, per passare, successivamente, alla progettazione, realizzazione e collaudo di circuiti che realizzerete interamente da soli.

Alimentatori variabili

Per alimentare i circuiti, potete utilizzare un *alimentatore variabile*, al posto delle batterie. Un alimentatore produce una tensione in corrente continua molto regolata (ovvero molto, molto, *molto* stabile); la maggior parte dei modelli offre una tensione di alimentazione compresa fra 0 e 20 V. Il modello rappresentato nella [Figura 16.1](#) offre un intervallo di alimentazione compreso fra 2 e 20 V, regolabile tramite una manopola, ma anche delle linee di alimentazione specifiche a -5, +5 e +12 V.



Un alimentatore è caratterizzato da un intervallo di tensioni e anche da una capacità di erogazione di corrente. Maggiore è il livello di corrente dell'alimentatore, maggiore sarà il carico che può sopportare. Evitate di scegliere un alimentatore che offra un'uscita modesta in termini di corrente. Meglio procurarsi un alimentatore in grado di erogare come minimo 2 A a 5 V e almeno 1 A ad altre tensioni.

Contare i megahertz

Un *frequenzimetro* aiuta a determinare se un circuito in corrente alternata funziona correttamente. Toccando con i puntali di questo apparecchio un punto del circuito in cui si trova un segnale, potete misurarne la frequenza. Per esempio, supponete di creare un trasmettitore a infrarossi che operi a 40.000 cicli al secondo (ovvero a 40 kHz). Connettendo il frequenzimetro all'uscita del circuito, potrete verificare che questo produca impulsi esattamente a 40 e non, per esempio, a 32 o a 110 kHz.



Figura 16.1 Un alimentatore variabile.

Molti modelli, come quello rappresentato nella [Figura 16.2](#), possono essere impiegati su circuiti analogici, digitali e, spesso, in radiofrequenza (come i ricevitori e trasmettitori radio). Per esigenze hobbistiche, basta un frequenzimetro piuttosto semplice, da un centinaio di euro. Anche alcuni multimetri recenti offrono rudimentali funzionalità da frequenzimetro.

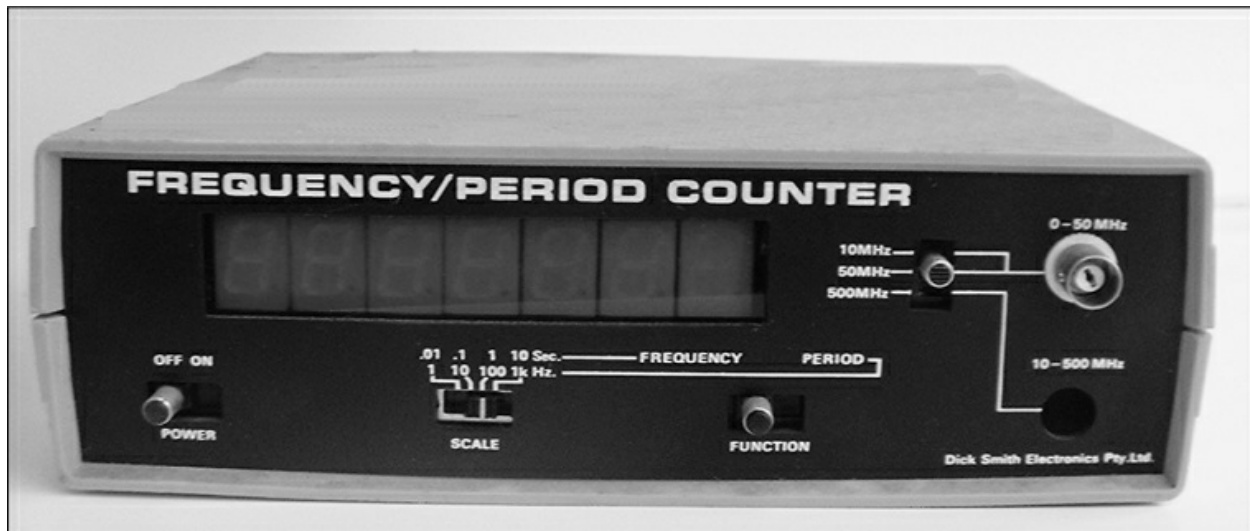


Figura 16.2 Un frequenzimetro digitale misura la frequenza di un segnale.



Nei circuiti digitali, le tensioni dei segnali sono limitate a un intervallo che va da 0 a 12 V, mentre nei circuiti analogici, le tensioni possono avere un'escursione molto superiore. La maggior parte dei frequenzimetri è progettata per funzionare con tensioni analogiche che vanno da poche centinaia di mV a 12 V o più. Per le specifiche, controllate sul manuale.

I frequenzimetri mostrano la frequenza del segnale da 0 Hz fino a un limite massimo che dipende dallo strumento. Normalmente questo limite è dell'ordine del MHz. È possibile trovare strumenti con limiti superiori estesi fino a 25 o anche 50 MHz. I frequenzimetri più costosi offrono in opzione un *prescaler*, un dispositivo che estende la frequenza operativa utile dello

strumento a limiti ancora superiori. Dovete preoccuparvene solo se operate su apparecchi radio ad alta frequenza o su computer.

Generare ogni genere di segnale

Per collaudare un circuito, è importante applicargli un segnale di ingresso e osservare il suo comportamento nel circuito. Un *generatore di funzioni* crea forme d'onda ripetitive in corrente alternata di varie forme e dimensioni. Potete applicare tale forma d'onda all'ingresso del circuito che state collaudando. La maggior parte dei generatori di funzioni sviluppa tre generi di forme d'onda: sinusoidali, triangolari e quadre. Potete regolare la frequenza delle forme d'onda da un minimo di 0,2 o 1 Hz fino a un massimo di 2 o 20 MHz. Alcuni generatori di funzioni offrono anche un frequenzimetro in grado di misurare accuratamente le forme d'onda generate, ma potete anche utilizzare un frequenzimetro distinto per regolare l'uscita del generatore di funzioni.

Supponete di dover realizzare un circuito per rilevare gli impulsi ultrasonici emessi dai pipistrelli che svolazzano nel vialetto sotto casa. La maggior parte dei pipistrelli emette suoni nella gamma di frequenze compresa fra i 20 e i 120 kHz (ma esistono specie che emettono suoni a frequenze ancora superiori). Si tratta comunque di frequenze non udibili. I circuiti rilevatori di pipistrelli generalmente utilizzano dei trasduttori a ultrasuoni per convertire questo loro “suono” in una gamma di frequenze differente (per esempio suoni o luci LED). Per svolgere un test accurato di un circuito rilevatore di pipistrelli, dovete impostare il generatore di frequenze su una frequenza compresa nella gamma per la quale è stato realizzato il circuito e ruotare il regolatore d'ampiezza. Quindi potete collegare i due connettori del generatore di funzioni all'ingresso del circuito, per verificare che il circuito si comporti come previsto. Potete usare il generatore di funzioni per verificare il funzionamento del circuito e per assicurarvi che non rilevi anche altre frequenze, come quelle emesse dal cane del vicino, mentre ulula alla luna.

Frequenze variabili

Quando occorre verificare il comportamento di un circuito in risposta a un'ampia gamma di frequenze d'ingresso, può essere utile impiegare un *oscillatore spazzolato*, un particolare generatore di funzioni che produce un segnale la cui frequenza varia continuamente, entro una gamma centrata su una specifica frequenza. In genere questi strumenti fanno variare la frequenza della forma d'onda entro limiti preselezionati, come da 100 a 1000 Hz o da 1 a 20 kHz e consentono di controllare anche la velocità di variazione della frequenza. I suoni prodotti sono un po' in stile "E.T. telefono casa", ma sono utili per individuare i problemi nelle frequenze.

Un *circuito sensibile alle frequenze* è progettato per operare in modo differente a seconda della frequenza del segnale di ingresso. I circuiti per filtri, quelli risonanti e quelli di trasmissione/ricezione sono tutti sensibili alla frequenza (come anche il rilevatore di pipistrelli di cui abbiamo appena parlato). Per esempio, se dovete realizzare il circuito di un ricevitore radio, dovrete assicurarvi che operi correttamente nella sua gamma di frequenze. Applicando un segnale all'ingresso del circuito, potrete osservare il comportamento di risposta a questa gamma di frequenze. Inoltre un oscillatore spazzolato è utile per il controllo di apparecchi audio/ video: variando la frequenza d'ingresso si possono individuare componenti malfunzionanti.



Anche alcuni generatori di funzioni sono dotati di una funzionalità di questo tipo: due funzioni con un solo strumento.

Un impulso qua e uno là

Un *logic pulser* è un apparecchietto portatile che verifica il funzionamento dei circuiti digitali. Ha l'aspetto di una penna ([Figura 16.3](#)) e inietta in un circuito digitale un impulso digitale alto o basso (un impulso è un segnale che si alterna rapidamente fra i valori alto e basso). Molti logic pulser consentono

di iniettare un unico impulso o un treno di impulsi, alla frequenza desiderata.



Figura 16.3 Un logic pulser può inviare a un circuito un unico impulso o un treno di impulsi.

Normalmente, si usa un logic pulser insieme a una sonda logica o a un oscilloscopio per controllare l'effetto dell'impulso nel circuito (abbiamo parlato di sonde logiche e oscilloscopi nel [Capitolo 13](#)). Per esempio, potete iniettare un impulso al pin di ingresso di un circuito integrato, misurando poi un'uscita di quello stesso circuito integrato per verificare che funzioni correttamente. I logic pulser sono comodi per individuare i problemi dei circuiti, in quanto permettono di iniettare segnali esattamente nel punto desiderato del circuito.



La maggior parte dei logic pulser trae alimentazione dal circuito sotto test; talvolta, però, nella scheda sono disponibili più livelli di tensione e dovete fare attenzione al quale tensione utilizzate. Per esempio, se state provando un chip alimentato a 5 V, non vorrete certo dargli in pasto un impulso a 12 V,

poiché correreste il rischio di distruggerlo. Assicuratevi dunque di connettere i morsetti di alimentazione del logic pulser ai punti di alimentazione corretti, per evitare di danneggiare i componenti.



Fate attenzione a non applicare un impulso a un pin di un circuito integrato progettato come un'uscita e non come un ingresso. Alcuni circuiti integrati sono sensibili agli impulsi inviati ai terminali di uscita: applicando erroneamente un impulso all'uscita di un chip, potete distruggerlo, perché la corrente dell'impulso non ha alcun modo per scaricarsi con sicurezza. L'uscita di un circuito integrato, per esempio, può danneggiarsi se sottoposta a una corrente che non dovrebbe essere presente.

Analisi logica

Per scoprire cosa accade in un circuito digitale, avete bisogno di un *analizzatore logico*, che è una specie di oscilloscopio (ne abbiamo parlato nel [Capitolo 13](#)) che mostra contemporaneamente le forme d'onda di più ingressi o uscite di un circuito digitale. Gli esperti considerano l'analizzatore logico molto più utile di un oscilloscopio per il controllo dei circuiti digitali.

I circuiti digitali spesso contano sulla corretta sequenza dei segnali all'interno di un circuito. Gli analizzatori logici consentono di controllare simultaneamente un'intera serie di segnali. Potete congelare tutti i segnali nel tempo e osservare le relazioni esistenti fra di essi. Poi potete vedere se un segnale è assente o se non è sincronizzato con gli altri, come dovrebbe. Potete acquistare un analizzatore logico indipendente o da connettere al PC. I primi costano qualcosa in più e sono piuttosto sofisticati. I secondi sono più economici e si connettono alla porta USB, seriale o parallela del computer.



La maggior parte degli analizzatori logici per PC è in grado di gestire simultaneamente da 8 a 16 ingressi digitali.

Simulare il funzionamento di un circuito

Se intendete realizzare un circuito complesso o se volete capire meglio come si comporterebbe un determinato circuito una volta alimentato, potete utilizzare un *simulatore di circuiti*. Si tratta di un software che impiega componenti simulati e prevede il loro comportamento nei circuiti. Basta scegliere i componenti, l'alimentazione e il modo in cui devono essere connessi: il software vi dirà tutto ciò che volete sapere sul funzionamento del circuito: le correnti, le cadute di tensione, la risposta del circuito alle varie frequenze e così via.

Molti simulatori di circuiti si basano su un algoritmo standard, chiamato SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). Potete impiegarli per simulare e analizzare circuiti, analogici, digitali e *misti*. Esistono anche simulatori gratuiti, ma nulla garantisce che siano precisi e, in genere, non offrono alcun supporto tecnico. I simulatori commerciali possono invece essere costosi, ma comprendono molte più funzionalità, oltre al supporto tecnico. Per esempio, Multisim, di National Instruments, offre le seguenti funzionalità (e molte altre).

- ✓ Un'ampia **libreria di modelli** software per centinaia di componenti di vari produttori: la simulazione mostrerà, per esempio, come la capacità parassita del tal condensatore influenzerebbe il vostro circuito.
- ✓ Un'ampia gamma di strumenti per la **visualizzazione della forma d'onda**, fra cui versioni software di ogni strumento di test descritto in questo capitolo: il monitor del computer si trasformerà in una specie di oscilloscopio.

- ✓ Una serie di approfonditi **strumenti di analisi** che aiutano a correggere il circuito e a comprendere esattamente come si comporterebbe in varie situazioni, come in condizioni di temperatura estreme o quando un componente del circuito diverge nettamente rispetto al valore nominale (una condizione non così rara).
- ✓ Strumenti di **cattura dello schema**, che aiutano a posizionare i simboli dei vari componenti del circuito in una griglia, fino a realizzare un intero sistema circuitale.



Potete scaricare una versione di valutazione gratuita per 30 giorni di Multisim dal sito (in italiano) <http://www.ni.com/multisim/try/i/>.

Dove trovare offerte vantaggiose

Gli apparecchi di test per l'elettronica possono essere costosi. In genere, quella che si paga di più è la precisione dell'apparecchio. I produttori puntano su un'elevata precisione per indirizzare i loro prodotti verso l'ambito professionale. Se siete hobbisti, probabilmente non avrete bisogno di un livello così estremo di precisione. Vi basterà impiegare un modello meno preciso, ma anche meno costoso. Anche i modelli più economici possono rivelarsi adatti alla maggior parte delle applicazioni hobbistiche e, se trattati con cura, possono durare molti anni.

Non è neppure necessario acquistare apparecchi nuovi. Esistono apparecchi usati che consentono di risparmiare grandi somme di denaro, anche se a volte non sono dotati del manuale di istruzioni. Talvolta, però, il manuale può essere acquistato separatamente o può essere trovato online. I proprietari dei modelli più diffusi spesso eseguono la scansione delle pagine dei loro vecchi manuali, che pubblicano online a vantaggio di tutti.

Ecco dove potete procurarvi apparecchi usati.

- ✓ **eBay e altri siti di aste:** prima di fare un'offerta, controllate attentamente le condizioni dell'apparecchio e le politiche di restituzione qualora l'apparecchio non rispondesse alle aspettative. Controllate altre aste, anche scadute, per vedere a quale prezzo è stato effettivamente venduto quel prodotto. Fate la vostra offerta senza esagerare e usate la funzionalità di rilancio automatico per evitare di restare incollati allo schermo del PC. Verificate anche la reputazione del venditore.
- ✓ **Fiere e negozi di surplus:** le fiere del settore possono essere un'ottima occasione per procurarsi apparecchi usati, senza sorprese sul prezzo.

In ogni caso, assicuratevi che l'apparecchio che state acquistando funzioni davvero e, se possibile, fatevi dare una garanzia. Forse dovrete pagare qualcosa in più, ma se l'apparecchio non dovesse funzionare, non avrete problemi a restituirlo. Se non avete una grande esperienza nel campo dell'elettronica, fatevi aiutare da un amico.



Evitate i venditori, specialmente su eBay o sui siti di aste, che non vogliono fornire alcuna garanzia per i propri prodotti.

Indice analitico

A

adattatori AC-DC

alimentatori

- regolati

- variabili

alimentazione

- in corrente alternata

- in corrente continua

- simboli

allarme

- luminoso

allarmi

altoparlante

altoparlanti

ampere

amperometro

ampiezza di banda

amplificatore

- a emettitore comune

- differenziale

- invertente

- operazionale

- analisi logica
- anodo
- aria compressa
- atomi
- attrezzi
- auto-induttanza
- avvolgimenti
 - non schermati
- AWG (American Wire Gauge)
- azione di trasformazione

B

- bande di frequenza, filtraggio
- basette millefori
- batterie
 - accensione
 - alcaline
 - connessione ai circuiti
 - litio
 - Nichel-Cadmio (NiCd)
 - Nickel-Metal Hydride (NiMH)
 - test di carica
 - tipi di
 - Zinco-Carbone
- BJT (Bipolar Junction Transistor)
- bobine
- bracciale antistatico
- breadboard
 - dimensioni dei vari tipi
 - non funziona
 - realizzare circuiti
- bussola elettronica

buzzer

C

cacciaviti di precisione

caduta

- di potenziale

- di tensione

campo magnetico

carica elettrica

carico

catodo

cavi

- connessione

- elettrici

- scelta delle dimensioni

cavi e cavetti, controllo

cella solare

checklist sulla sicurezza

Christian Ørsted

circuiti

- a batterie

- complessi

- composizione di

- di sintonia

- elettrici

- evitare di danneggiare i

- in corrente alternata

- in serie, analisi

- integrati “plug-and-play”

- isolamento

- lampeggianti, realizzazione

- misurazione e analisi

permanente, creazione
progettazione e modifica
realizzazione di
risonanti
senza saldature
simulazione di funzionamento
stampati personalizzati
trasferimento su breadboard
circuiti integrati
controllo della piedinatura
di largo uso
identificazione
impiego dei
la nascita
lineari, digitali o in combinazione
circuiti RC
circuiti RLC
circuito RL
circuito RLC
cladding
clock tick
CMOS 4017
CMOS (Complementary Metal-Oxide Semi-conductor)
coccodrilli
codifica dei colori delle resistenze
colle
combinando
combinazione di circuiti
commutazione di corrente
componenti
analogici, simboli
attivi
elettronici

- logici
- sigle di riferimento
- condensatori
 - caratteristiche dei
- caratterizzare i
 - caricare e scaricare
 - contrassegni di tolleranza
 - controllo dei
 - differenza dalle batterie
 - dimensionamento
 - funzionalità
 - in combinazione
 - in parallelo
 - in serie
 - interpretazione dei valori
 - polarità
 - polarizzati
 - realizzare semplici circuiti
 - simboli impiegati
 - variabili
- conduttori
- connessione ad altri circuiti
 - simboli
- connessioni
 - allo chassis
 - a terra
 - in parallelo
 - in serie
- connettori
- contatore decimale 4017
- contatti
- controllo del movimento
- coppia Darlington

- corrente
 - alternata
 - amplificazione
 - aumento della
 - continua
 - convenzionale
 - di picco
 - diretta
 - effetti sul corpo umano
 - elettrica
 - in ingresso e in uscita
 - istantanea
 - misurazione
 - opporsi ai cambiamenti
 - più elevata
 - statica
- corto circuito
- costanti temporali RC
- costanti temporali RL
- coulomb
- cristalli
 - di quarzo

D

- datasheet
- diagrammi a blocchi
- dielettrico
 - scelta del tipo di
- differenza di potenziale
- diodi
 - a giunzione
 - altri usi

cadute di tensione
condurre corrente attraverso
controllo dei
identificazione
LED
nei circuiti
per segnali
rettificatori
standard, simbolo
valutazione
Zener
Zener, simbolo
diodi varicap
DIP (Dual Inline Package)
direzione di riferimento
disco piezoelettrico
dissaldare
drogaggio
dual-gate MOSFET

E

effetti luminosi
elettricità
 pericolosità
 statica
elettromagneti
elettromagnetismo
elettroni
 di valenza
 emissione
elettronica
energia elettrica, erogazione

F

farad

filtri

- passa-alto

- passa-basso

- RC

flip-flop

flusso

- degli elettroni

- della corrente

fonte di elettricità

fonte di energia elettrica

forma d'onda

formato digitale

fotocellula

fotodiodi

fotoresistenza

fototransistor

frequenza

- di risonanza

- di taglio

- di un circuito in corrente alternata

- variabile

fusibili

- controllo

G

giunzioni pn

grasso sintetico

guadagno di tensione

H

henry

hertz

I

IC (Integrated Circuit)

impedenza

induttanza

reciproca

induttori

a corrente alternata

filtraggio dei segnali

isolamento e schermatura

schermati

uso nei circuiti

induzione elettromagnetica

interruttori

controllo

controllo dell'azione

simboli

unipolare e bipolare

isolanti

J

jack

JFET (Junction FET)

K

kilo ohm

kit di pronto soccorso
kit pronti all'uso

L

laboratorio
 configurazione del
lampeggiatore
LED a infrarossi (IR LED)
LED (Light-Emitting Diode)
 accensione
 funzionamento
lega di stagno
Legge della tensione di Kirchhoff
Legge di Joule
Legge di Ohm
 analisi dei circuiti
 uso
lente d'ingrandimento
linee di flusso
logica digitale
logic pulser
lubrificanti
luci lampeggianti

M

magnete, induzione di corrente
magnetismo
massa
 comune
 del segnale
 flottante

megahertz
mega ohm
messa a terra
simboli
microcontroller
microfoni
microprocessore
milliampere
modulazione a impulsi
montaggio superficiale
MOSFET a canale N
MOSFET a canale P
MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor FET)
multimetro
analogico o digitale
controllo del circuito
digitale
intervallo
test con
utilizzo
multiplexing
multivibratore astabile
multivibratore bistabile
multivibratore monostabile

N

nota applicativa

O

occhiali protettivi
offset in continua

ohm
ohmetro
olio per macchine da cucire
onda audio
onde sinusoidali
one-shot
op-amp
oscillatore
oscilloscopi
 configurazione di base e test iniziali
 funzionalità avanzate
 osservare i segnali
 risoluzione
 uso degli

P

pannelli fotovoltaici
pannello solare
parti e componenti
partitore di tensione
percorso
piccolo amplificatore
piezoelettrico
pixel
polarizzazione
 diretta e inversa
pompetta per dissaldare
ponticelli
porta NAND
porte logiche
 simboli utilizzati
porte universali

potenza di dieci
potenziale
di riferimento
di tensione
potenziometri
controllo dei
progetti, luogo idoneo per lo sviluppo
progetti veloci
protezione personale e dei componenti elettronici
punti di misurazione

R

RAM (Random Access Memory)
reattanza capacitiva
uso della Legge di Ohm
reattanza induttiva
applicazione della Legge di Ohm
reazione elettrochimica
relè, simboli
reostato
resina flussante
resistenza
ad alta precisione
controllo della
di precisione standard
equivalenti
fisse
in base alla potenza
in parallelo
in serie
in serie e in parallelo
misurazione

nei circuiti stampati
sconosciuta, calcolo
spingere la corrente attraverso una
variabili
rettificazione
rilevatore a infrarossi
rosin core

S

saldare con sicurezza
saldatori
saldatura
ispezione della
preparazione
raffreddamento
sicurezza
scarica elettrostatica
scheda per prototipi
schemi elettrici
cosa sono
disegni alternativi
schermatura
segnale
analogico
digitale
di uscita
elettrico
generazione di
segnali, visualizzazione e misurazione
semiconduttori
drogati
Tipo N

Tipo P
semisommatori
sensore di luce
sensore per l'acqua
sensori
simboli
 di alimentazione e messa a terra
 per i componenti analogici
 per interruttori e relè
 per i più comuni strumenti di test
 per i trasduttori di ingresso e di uscita
 per la connessione ad altri circuiti
 per le porte logiche
sirena
sistemi
 di telecomunicazione
 elettronici
sistemi automotive
SMT (Surface-Mount Technology)
SOIC (Small-Outline Integrated Circuit)
solenoidi
sonde logiche
sorgente elettrica
sovratensioni
spelafili
spugnetta umidificata
starter kit
stazioni radio
strumenti di pulizia
strumenti e attrezzi
strumenti manuali
succhiastagno
suoni elettronici

superconduttori

T

tabelle della verità

tavolo di lavoro

tensione

- alti e bassi

- attraverso la lampadina

- attraverso un componente

- breakdown a valanga

- di lavoro

- di picco

- innalzamento e riduzione

- inversa

- misurazione

- opposizione ai cambiamenti

- picco-picco

- ridurre e controllare

terminale

termistore

terza mano

tester

timer, creazione di un

timer 555

- piedinatura

tolleranza

- della resistenza

transistor

- a effetto di campo

- a giunzione bipolare

- amplificazione dei segnali

- controllo dei

esperienza con i
funzionamento dei
identificazione dei
impacchettati
modello ideale
NPN
NPN (bipolare)
PNP
PNP (bipolare)
polarizzazione
riconoscere un
saturazione
scelta
significato
utilizzo
valori importanti
trasduttori
trasduttori di ingresso
trasduttori di ingresso e di uscita
simboli
trasformatori
a nucleo d'aria
a nucleo solido
di isolamento
treccia di rame
tronchesino per elettronica
TTL (Transistor-Transistor Logic)

U

UPS (Uninterruptible Power Supplies)

V

valore di potenza

valore nominale

valori di induttanza

varactor

volt

voltmetro

W

wire-wrapping

Z

Zener, diodi

zoccolini wire-wrap

Informazioni sul Libro

Potrete progettare ogni genere di apparecchio se conoscete l'elettronica e il suo funzionamento. Ecco lo scopo di questo libro. Scoprire come funziona l'elettricità, come sfruttarla e come metterla all'opera, quali strumenti sono necessari per realizzare circuiti e come usarli in sicurezza: e il tutto senza troppi tecnicismi.

- **Misteri risolti** – scoprite come funziona il vostro iPod, telecomando o computer
- **Strumenti essenziali** – predisponete il vostro laboratorio con tutti gli strumenti necessari
- **Schemi elettrici** – imparate a comprendere gli schemi e a usarli per scoprire come funziona un progetto
- **Simboli** – riconoscete tutti i simboli relativi a fonti di alimentazione, massa e componenti
- **Componenti** – imparate a utilizzare resistenze, condensatori, diodi e transistor
- **Mettere insieme il tutto** – i circuiti integrati hanno tantissimi utilizzi: scoprite come a sfruttarli al meglio
- **Come funziona** – imparate ad applicare le regole che governano la corrente e la tensione