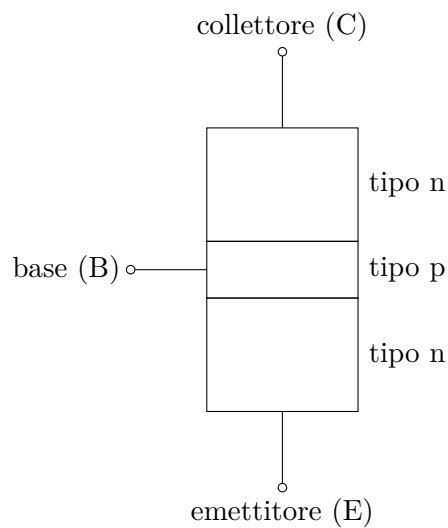


Transistor

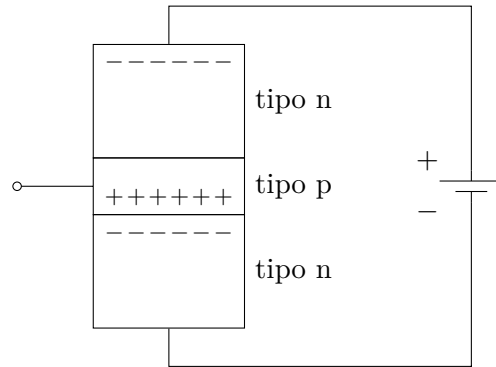
1 Transistor bipolari

Un **transistor bipolare** (*BJT*, *Bipolar Junction Transistor*) è un dispositivo a tre terminali formato da tre regioni di materiale semiconduttore, ciascuna delle quali è connessa a uno dei terminali. In particolare, un transistor bipolare di tipo **NPN** è formato da:

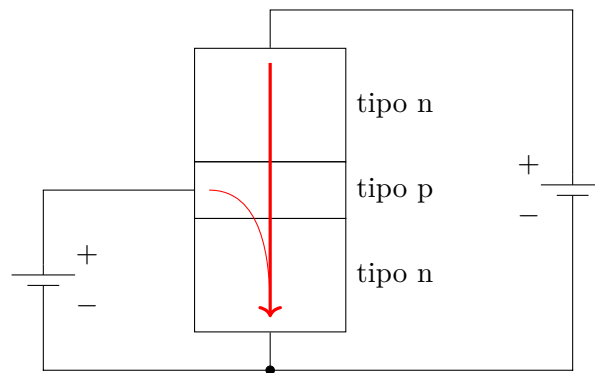


- un semiconduttore di tipo n, collegato al terminale **collettore** (*collector*, C);
- un semiconduttore di tipo p, collegato al terminale **base** (B);
- un altro semiconduttore di tipo n, collegato al terminale **emettitore** (*emitter*, E).

Quando il collettore e l'emettitore vengono collegati ai poli rispettivamente positivo e negativo di una batteria,



si forma una zona di svuotamento alla giunzione tra collettore e base, che impedisce il passaggio della corrente (come in un diodo in polarizzazione inversa). Se però anche la base viene collegata al polo positivo (della stessa batteria, o di un'altra avente anch'essa il polo negativo connesso all'emettitore),



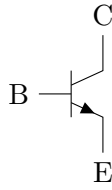
viene superata la barriera di potenziale tra base ed emettitore, quindi inizia a scorrere un po' di corrente tra questi due terminali, chiamata **corrente di base**, I_B . Il superamento della barriera di potenziale permette anche il passaggio di una corrente tra il collettore e l'emettitore, che prende il nome di **corrente di collettore**, I_C . In questa situazione si dice che il transistor va in *conduzione*.

Siccome la base è tipicamente molto sottile, una piccola corrente di base permette il passaggio di una corrente di collettore molto più grande. In prima approssimazione, il rapporto tra queste due correnti è dato dal **guadagno** del transistor, che si indica con h_{FE} o β :

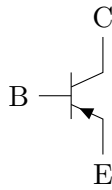
$$h_{FE} = \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

Il guadagno di un transistor è riportato nel suo datasheet.

Il simbolo di un transistor bipolare NPN è



Esistono anche transistor bipolari PNP, in cui collettore ed emettitore sono semiconduttori di tipo p mentre la base è di tipo n: per usarli, bisogna applicare ai terminali le polarità opposte rispetto a quelle che servono per gli NPN. Il simbolo di un transistor PNP è:

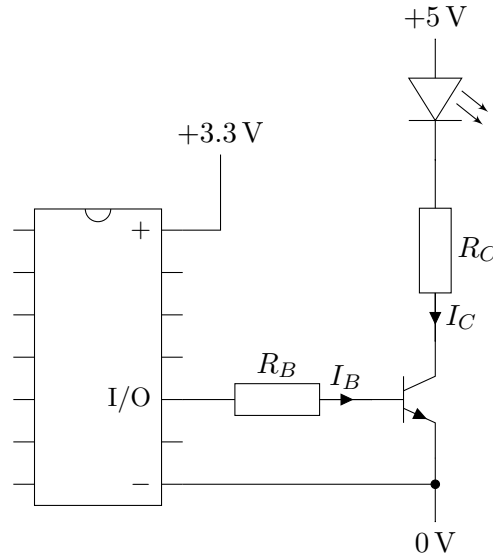


Nota: Spesso il simbolo di un transistor viene disegnato con intorno un cerchio.

1.1 Uso di un transistor come interruttore

Un transistor può essere usato come interruttore, permettendo a un dispositivo che è in grado di emettere solo poca corrente (ad esempio un microcontrollore) di controllarne un altro che invece richiede molta corrente.

Ad esempio, in questo circuito si ha un microcontrollore che accende un LED mediante un transistor:



In questo modo, il microcontrollore può comandare il LED mediante una corrente molto più piccola di quella che sarebbe necessaria per accenderlo direttamente. Inoltre, qui si suppone che il microcontrollore sia alimentato a 3.3 V: grazie al transistor, esso può tranquillamente accendere il LED alimentato a 5 V.

Le resistenze R_B e R_C servono a limitare le correnti in modo da non bruciare i vari componenti. La più importante è R_B , che determina la corrente di base I_B , e quindi, secondo il guadagno del transistor, anche la massima corrente di collettore I_C . Per calcolare il valore di R_B si procede come segue:

1. Si determina la corrente di collettore necessaria. In questo caso, si suppone che il LED venga acceso con una corrente di $I_C = 16 \text{ mA}$ (e che R_C sia già stata scelta adeguatamente in modo da ottenere tale valore di corrente).
2. In base al guadagno del transistor, si calcola la corrente di base *minima*. Ad esempio, con $h_{FE} = 100$, si calcolerebbe:

$$I_B = \frac{I_C}{H_{FE}} = \frac{16 \text{ mA}}{100} = 0.16 \text{ mA}$$

È fondamentale sottolineare che il valore così trovato è appunto solo un minimo; in pratica, è consigliato scegliere una corrente di base più alta di questo valore, con almeno un margine del 30 %, se non anche molto superiore: ad esempio, in questo caso si può fissare per sicurezza $I_B = 1 \text{ mA}$. Questo perché una corrente di base più alta del necessario non causa problemi, mentre una più bassa limita la corrente di collettore (impedendo il corretto funzionamento del circuito), e siccome il guadagno dei transistor tende ad avere una tolleranza piuttosto ampia (ad esempio, il datasheet potrebbe indicare che esso varia tra 75 e 300), un guadagno un po'

più basso di quello usato per i calcoli potrebbe facilmente rendere insufficiente la corrente di base minima.

- Una volta determinato un buon valore di I_B , ad esempio 1 mA, la resistenza R_B deve essere calcolata tenendo conto che la giunzione p-n tra la base e l'emettitore del transistor "consuma" una tensione V_{BE} di circa 0.7–1 V, essendo di fatto un diodo in polarizzazione diretta.¹ Il valore esatto di questa tensione è riportato nel datasheet; per questo esempio si suppone $V_{BE} = 1$ V. Dunque, la resistenza necessaria è data dalla formula:

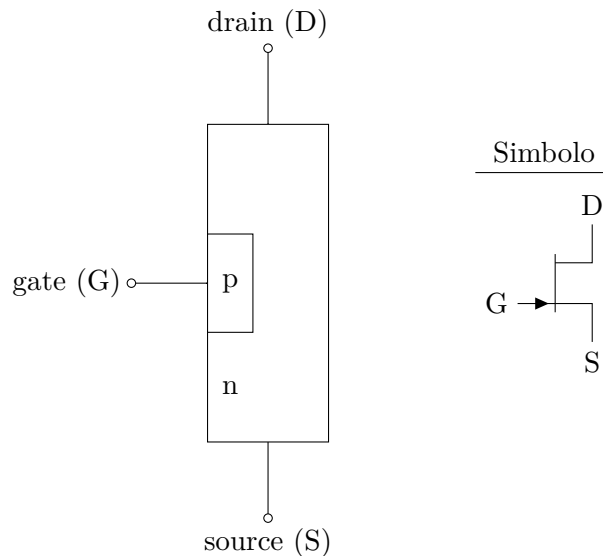
$$R_B = \frac{3.3 \text{ V} - V_{BE}}{I_B} = \frac{3.3 \text{ V} - 1 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = \frac{2.3 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 2300 \Omega$$

(dove 3.3 V è la tensione emessa dalla porta di I/O del microcontrollore quando il software invia a essa il valore binario 1). Siccome 2300 Ω non è un valore standard, si potrebbe invece usare una resistenza da 2200 Ω .

2 FET

In un transistor bipolare, come appena visto, si ha una (piccola) corrente di base che controlla una (più grande) corrente di collettore. Esiste un'altra famiglia di transistor, chiamati **FET** (*Field Effect Transistor*, cioè *transistor a effetto di campo*), in cui si ha invece una *tensione* che controlla una corrente.

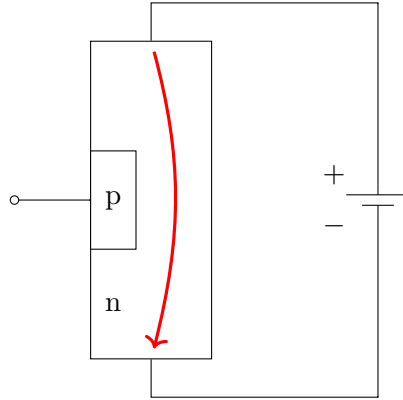
Esistono moltissimi tipi di FET. Uno dei più semplici è il *JFET*, *Junction Field Effect Transistor*, che è formato da una singola giunzione p-n:



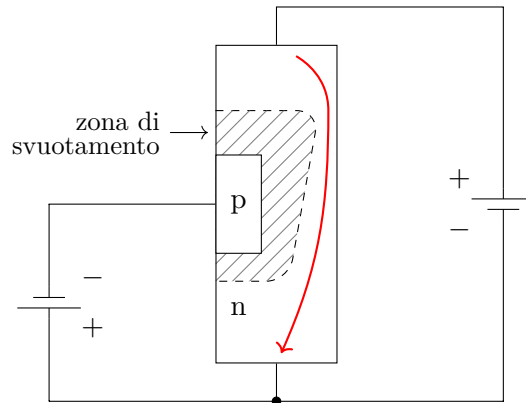
¹Una caduta di tensione simile è presente anche tra il collettore e l'emettitore, V_{CE} , ma nella progettazione di semplici circuiti questa è in genere meno importante.

- al semiconduttore di tipo n sono collegati i terminali **drain** (D) e **source** (S);
- il semiconduttore di tipo p è collegato al terminale **gate** (G).

Normalmente, quando al gate non è applicata alcuna tensione, un JFET lascia scorrere liberamente la corrente da drain a source.



Se però si applica tra gate e source una tensione che polarizzi inversamente la giunzione p-n, si crea una zona di svuotamento che restringe il *canale* attraversato dalla corrente nel semiconduttore di tipo n, ostacolando il flusso della corrente.



A un certo punto, all'aumentare della tensione di polarizzazione inversa, il canale viene completamente chiuso, bloccando del tutto il passaggio della corrente.

Si osserva che, siccome la polarizzazione della giunzione p-n è inversa, nel gate non scorre alcuna corrente: un JFET è appunto controllato puramente da una tensione, così come lo sono in generale tutti i FET. Addirittura, nei *MOSFET* (*Metal-Oxide-Semiconductor FET*, il tipo generalmente più usato di FET) è presente un vero e proprio strato di materiale isolante (ad esempio ossido di silicio) che separa il gate dagli altri terminali, impedendo assolutamente il passaggio di corrente (a prescindere dalla polarizzazione).

Questa caratteristica dei FET è un vantaggio soprattutto nei circuiti integrati che hanno grandi numeri di transistor (come ad esempio i microprocessori): in tal caso, se invece si usassero transistor bipolari, le correnti di base — per quanto piccole — si sommerebbero, determinando complessivamente un consumo di corrente significativo.