

Circuito elettrico

Un circuito elettrico è un sistema chiuso per la distribuzione e l'utilizzo di energia elettrica. Un circuito di base è composto dai seguenti elementi:

1. un generatore;
2. un utilizzatore;
3. un conduttore di andata;
4. un conduttore di ritorno.

Nella immagine seguente una rappresentazione di un circuito composto da una pila (il generatore), due fili (i conduttori di andata e ritorno) ed una lampadina (l'utilizzatore):

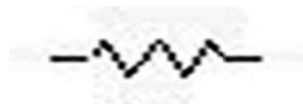


Resistore

Un resistore è un elemento composto di materiale ad alta resistività come grafite, nichelcromo, impasto di carbone, etc. Generalmente un resistore si presenta come un cilindro ceramico sul quale viene depositato un impasto resistivo oppure viene avvolto del filo metallico. Ai capi del corpo cilindrico di materiale isolante sono disposti due spezzoni di filo connessi al materiale resistivo e detti reofori, i quali vanno connessi agli altri punti del circuito. Qui in basso potete vedere una immagine di alcuni resistori reali:



In simboli, un resistore è identificato come segue:



Il valore di resistenza di un resistore è individuato, generalmente, da un codice a bande colorate che si può facilmente interpretare. Prima di vedere come agire per riconoscere i diversi resistori è utile parlare di **tolleranza** e **valori normalizzati**.

La tolleranza di un resistore è il massimo scostamento del suo valore di resistenza reale rispetto a quello nominale indicato nei suoi dati di targa. La tolleranza viene normalmente espressa in percentuale. Di solito vengono usati i seguenti valori:

Valori percentuali di tolleranza	
<i>Resistori di altissima precisione</i>	0,25% e 0,1%
<i>Resistori di alta precisione</i>	0,5%, 1% e 2%
<i>Resistori di media precisione</i>	5% e 10%
<i>Resistori di bassa precisione</i>	20%

A seguito delle norme **IEC** sono stati fissati 4 gruppi di valori normalizzati per i resistori a seconda che si tratti di resistori di alta/altissima precisione oppure di altri. I valori che vengono forniti sono compresi nell'intervallo 0 ... 10, gli altri sono tutti multipli e sottomultipli di questi.

Gruppi E6, E12, E24 dello standard IEC		
E6	E12	E24
1,0	1,0	1,0
		1,1
	1,2	1,2
		1,3
1,5	1,5	1,5
		1,6
	1,8	1,8
		2,0
2,2	2,2	2,2
		2,4
	2,7	2,7
		3,0
3,3	3,3	3,3
		3,6
	3,9	3,9
		4,3
4,7	4,7	4,7
		5,1
	5,6	5,6
		6,2
6,8	6,8	6,8
		7,5
	8,2	8,2
		9,1

Il quarto gruppo, E96, consta di ben 96 valori; per i nostri scopi non avremo mai bisogno di far ricorso a resistori di elevata precisione: quelli con il 5% o 10% di tolleranza saranno più che sufficienti. Tornando alla tabella precedente, vogliamo fare qualche esempio: prendiamo la colonna E12 e leggiamo i valori in essa contenuti. Tra questi, pescando a caso, abbiamo il valore 5,6 dunque da qui sappiamo che potremmo trovare resistenze di

valore pari a 5,6 Ohm, 56 Ohm, 560 Ohm, 5600 Ohm, 0,56 Ohm e così via anche per gli altri numeri.

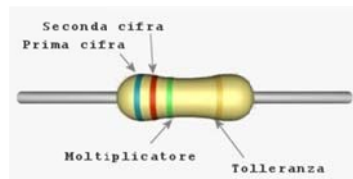
Sulle resistenze a filo e/o di grossa potenza, il valore di resistenza viene espresso numericamente. A questo proposito è interessante notare che spesso appaiono delle sigle come **k** oppure **M**. Si tratta di moltiplicatori (o multipli) che aiutano a scrivere il valore in forma concisa:

Moltiplicatori o multipli			
Prefisso	Fattore di moltiplicazione	Simbolo	Valore
Tera	$10E^{12}$	T	1000000000000
Giga	$10E^9$	G	1000000000
Mega	$10E^6$	M	1000000
kilo	$10E^3$	k	1000
etto	$10E^2$	h	100
deca	$10E^1$	da	10
unità	$10E^0$		1
deci	$10E^{-1}$	d	0.1
centi	$10E^{-2}$	c	0.01
milli	$10E^{-3}$	m	0.001
micro	$10E^{-6}$	μ	0.000001
nano	$10E^{-9}$	n	0.000000001
pico	$10E^{-12}$	p	0.000000000001

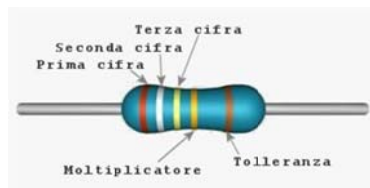
Seguendo le indicazioni di quest'ultima tabella potremmo scrivere, per una resistenza da 1.000.000 di Ohm:

$$1.000.000 \text{ Ohm} = 1 \text{ MOhm} = 1.000 \text{ kOhm}$$

Adesso non ci resta che capire come interpretare il codice a bande colorate presente sui resistori. Vediamo a cosa si riferiscono le bande presenti che possono essere in numero di 4:



Oppure 5:



Codice colori per resistori			
Colore	Cifre 1, 2, 3	Moltiplicatore	Tolleranza
	0	1	-
marrone	1	10	1%
rosso	2	10^2	2%
arancione	3	10^3	-
giallo	4	10^4	-
verde	5	10^5	-
blu	6	10^6	-
viola	7	-	-
grigio	8	-	-
bianco	9	-	-
oro	-	10^{-1}	5%
argento	-	10^{-2}	10%
nessun colore	-	-	20%

Alcuni esempi potrebbero chiarire la situazione. Supponiamo di avere un resistore a quattro bande con la prima di colore marrone, la seconda di colore nero, la terza di colore arancione e la quarta di colore oro. Il resistore in questione, dunque, presenta una resistenza di 10×10^3 Ohm, cioè, 10 kOhm con una tolleranza del 5%. Come vedete si tratta di un metodo abbastanza semplice!

Per i resistori di potenza l'indicazione è riportata in modo numerico, come detto in precedenza. Anche in questo caso, però, oltre ai multipli è utile capire la logica delle indicazioni che risulta utile anche per indicare la posizione della virgola che divide i decimali. Prendendo come esempio i vari multipli e sottomultipli del valore 4,7 abbiamo:

Sigle resistori di potenza	
Valore della resistenza	Sigla sull'involucro
0,47 Ohm	R47
4,7 Ohm	4R7
47 Ohm	47R
470 Ohm	470R
0,47 kOhm	K47
4,7 kOhm	4K7
47 kOhm	47K
470 kOhm	470K
0,47 MOhm	M47
4,7 MOhm	4M7
47 MOhm	47M
470 MOhm	470M

Facile notare come il simbolo del multiplo viene usato al posto della virgola in modo da rendere chiara e concisa l'indicazione del valore.

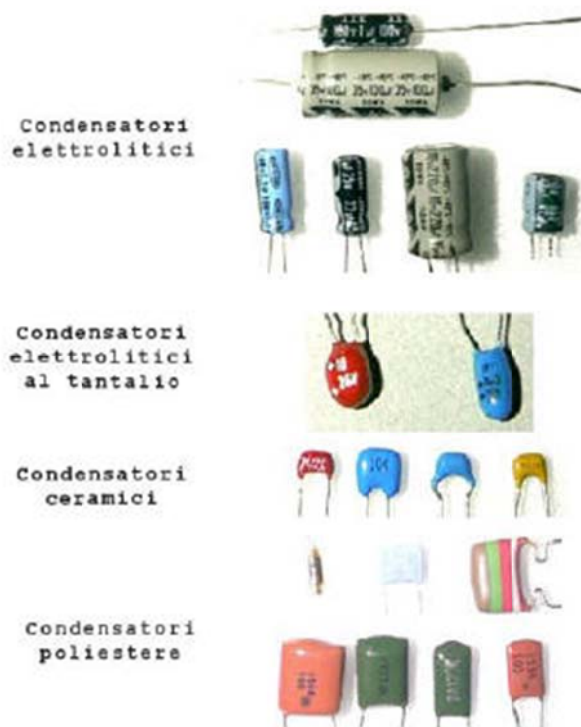
Altro parametro fondamentale per la scelta di un resistore è la potenza che esso è in grado di dissipare. In commercio si trovano resistori da 1/8W, 1/4W, 1/2W ed 1W che

sono normalmente in carbone. Oltre il Watt si passa a resistori di potenza che possono arrivare anche fino a 50W. La potenza che i resistori devono avere dipende sempre dalla corrente che in essi circola e dalla differenza di potenziale che si instaura ai loro capi; infatti come abbiamo visto nella pagina precedente, la potenza è calcolata come $W = V \cdot I$.

Condensatore

Si tratta di un dispositivo costituito da due superfici affacciate l'una all'altra. Al centro di ogni piastra/superficie viene saldato un reoforo e tra le piastre esiste uno spazio più o meno largo che può essere vuoto oppure riempito da un materiale isolante, detto dielettrico, come vetro, mica, carta, ceramica, etc. Il condensatore è in grado di accumulare cariche elettriche sulle armature quando fra di esse viene applicata una tensione, in modo proporzionale a quella che è la sua capacità. La capacità del condensatore è determinata dai tipi di materiale usato come dielettrico e dalle caratteristiche geometriche del condensatore stesso: più larghe sono le piastre e più sottile il dielettrico, tanto più alta è la capacità del condensatore. La capacità si misura in **Farad** e deriva dalla formula $C = Q / V$ dove C è la capacità, Q è la quantità di carica elettrica accumulata sulle armature e V la tensione applicata ai suoi capi.

Alcuni condensatori reali sono visibili nella seguente foto:



Passando ai simboli, invece, ecco quello del condensatore non polarizzato:



Il condensatore si comporta in modo diverso a seconda che lavori in corrente continua oppure in corrente alternata. Un condensatore ideale il quale ha una resistenza del dielettrico infinita rappresenta un ostacolo totale al passaggio della corrente continua e non dissipa nessuna energia.

I condensatori possono essere fissi o variabili e quelli fissi a loro volta si suddividono in poliestere, elettrolitici, al tantalio, ceramico, etc. a seconda del materiale di cui sono fatti. Le differenze sostanziali fra condensatori elettrolitici e quelli di altro genere, a parte il materiale di cui sono composti, sono solo nel fatto che i primi hanno una polarità ed i secondi no.

Anche per i condensatori, come per i resistori, esiste un codice colori ed una siglatura standard per indicarne il valore; e come per i resistori, anche i condensatori sono disponibili in molti valori. Quelli di valore più basso sono, di solito, di tipo ceramico a disco, quelli di valore medio in poliestere e quelli di valore più alto sono di tipo elettrolitico. Ecco un possibile range di valori da considerare, comunque, solo in modo indicativo:

- Condensatore **ceramico a disco**: da un minimo di 1pF fino ad un massimo di 470nF (o 470.000pF);
- Condensatore in **poliestere**: da un minimo di 1nF ad un massimo di 4,7uF (4.700nF);
- Condensatore **elettrolitico**: da un minimo di 1 uF fino ad 1 Farad.

Purtroppo, a differenza dei resistori, esistono diversi tipi di codifiche per determinare l'effettivo valore di capacità; e la tipologia di codice dipende anche dal tipo di condensatore considerato. Per quelli ceramici ed in poliestere, abbiamo le seguenti regole:

Interpretazione codice condensatori ceramici e poliestere			
Range valori	Tipo condensatore	Siglatore	Esempio
Da 1,0pF a 8,2pF	Ceramico	Il valore è scritto senza pF con la virgola o il punto o la lettera p come separatore decimale	8,2pF si scrive: 8.2 oppure 8,2 oppure 8p2.
Da 10pF a 82pF	Ceramico	Il valore è scritto senza pF	82pF si scrive: 82
Da 100pF a 820pF	Ceramico	Il valore è scritto senza pF oppure il numero è preceduto dalla lettera n quando il valore è espresso in nF. Ancora è possibile trovare un codice numerico di tre cifre dove le prime due cifre rappresentano il valore e l'ultima il numero di zeri	820pF si scrive: n820 oppure 820 oppure 821 (le cifre sono 8 e 2 ed il numero di zeri da aggiungere alla fine è 1)
Da 1000pF e 8200pF (da 1nF a 8,2nF)	Ceramico o Poliestere	Il valore viene espresso in nF. La virgola viene sostituita dalla n. E' possibile trovare un codice numerico di tre cifre dove le prime due cifre rappresentano il valore e l'ultima il numero di zeri	8200pF si scrive: 8n2 oppure 822
Da 10.000pF a 820.000pF (da 10nF a 820nF)	Poliestere	Il valore viene espresso in nF oppure in µF. La virgola viene sostituita dalla n o dalla u. E' possibile trovare un codice numerico di tre cifre dove le prime due cifre rappresentano il valore e l'ultima il numero di zeri	820.000pF si scrive: 820n oppure u82 (0,82µF) oppure 824

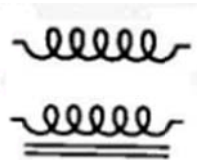
Sui condensatori poliestere si possono trovare anche altre lettere seguite da numeri come ad esempio la sigla J100. In questo caso J indica la tolleranza (5%) e 100 la massima tensione applicabile ai capi del condensatore. Ecco i significati delle lettere indicanti la tolleranza:

- J per tolleranza massima del 5%;
- K per tolleranza massima del 10%;
- M per tolleranza massima del 20%.

Nei condensatori elettrolitici, ricavare il valore di capacità reale è molto semplice, dato che il valore stampigliato sul loro involucro è espresso in microFarad (μF) ed il valore della tensione applicabile ai capi dello stesso in Volt. Dunque possiamo trovare, ad esempio, un condensatore da $47\mu\text{F}$ con tensione massimo di 63Volt sul quale è stampigliata la sigla 47uF 63V. Sull'involucro dei condensatori elettrolitici troviamo stampati anche i segni + e - che indicano la polarità dello stesso.

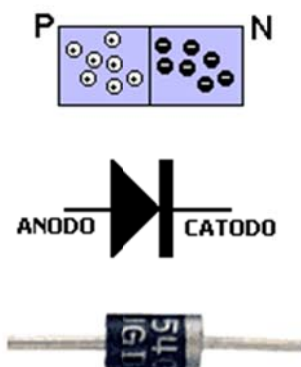
Induttore

L'induttore è un dispositivo composto generalmente da un filo elettrico avvolto come una bobina che può avere o meno un supporto di avvolgimento a seconda della rigidità del filo. Come per il resistore, il filo elettrico termina in due capi detti reofori. A seconda del numero di spire che esso possiede l'effetto elettromagnetico generato dallo stesso verrà più o meno accentuato. Gli induttori vengono identificati dai seguenti simboli a seconda che si tratti di un induttore senza nucleo oppure con nucleo:



L'induttore è un componente che in corrente continua non ha quasi nessun effetto.

Diodo



Il diodo viene rappresentato col simbolo che si vede in figura: il lato corrispondente alla zona P viene chiamato "anodo"; il lato corrispondente alla zona N viene chiamato "catodo". Sotto al simbolo è riportata l'immagine di un diodo reale: la fascia argentea indica il catodo; nell'uso normale del diodo, la corrente fluisce dall'anodo verso il catodo

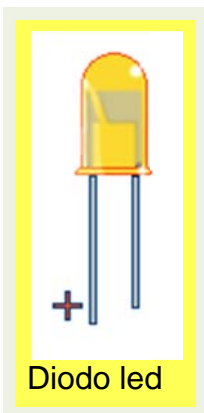
Con polarizzazione diretta, ovvero quando all'anodo è applicata una tensione positiva rispetto al catodo, si osserva che non passa corrente fino al valore di tensione V_T , detto valore di soglia; se la tensione applicata al diodo viene aumentata oltre tale valore, si verifica il passaggio di una corrente tanto più alta

quanto maggiore è la tensione applicata.

Se il diodo viene polarizzato inversamente, e cioè si applica all'anodo una tensione negativa rispetto al catodo, in pratica non passa corrente, se si esclude una debolissima corrente detta di "drift"; se però si supera un determinato valore di tensione, detto valore di "breakdown", la resistenza del diodo cede improvvisamente, ed ha luogo una conduzione senza limiti, detto "effetto valanga". Poichè normalmente un diodo non viene costruito per funzionare nella regione di break-down, occorre evitare che questo accada, pena la distruzione irreversibile del diodo, dovuta al brusco aumento della potenza dissipata.

Grazie a queste caratteristiche, il diodo risulta utilissimo nel funzionamento come "raddrizzatore"; inserendo per esempio un diodo in un circuito percorso da corrente alternata sinusoidale, si verifica che la corrente passa nel circuito solo quando ha la giusta polarità, mentre viene bloccata ogni volta che la polarità si inverte. In pratica, tutte le semionde negative della corrente alternata vengono eliminate, per cui, a valle del diodo, si ottiene una tensione costituita dalle sole semionde positive (tale tensione viene detta "pulsante").

Il termine "LED" è un acronimo che sta per "Light Emitting Diode", ovvero "diodo che emette luce". I led sono costituiti da una giunzione P-N realizzata con arseniuro di gallio o con fosforo di gallio, entrambi materiali in grado di emettere radiazioni luminose quando siano attraversati da una corrente elettrica; il valore di tale corrente è compreso fra 10 e 30 mA.



Il funzionamento del led si basa sul fenomeno detto "elettroluminescenza", dovuto alla emissione di fotoni (nella banda del visibile o dell'infrarosso) prodotti dalla ricombinazione degli elettroni e delle lacune allorchè la giunzione è polarizzata in senso diretto.

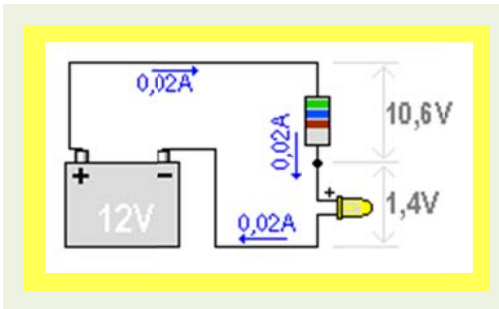
I led hanno un terminale positivo ed uno negativo, e per funzionare devono essere inseriti in circuito rispettando tale polarità; in genere il terminale positivo è quello più lungo (Anodo), ma lo si può individuare con certezza osservando l'interno del led in controluce: come si vede in figura, l'elettrodo positivo è sottile, a forma di lancia, mentre il negativo (Catodo) ha l'aspetto di una bandierina.

Quando si utilizza un led, è necessario disporre sempre una resistenza in serie ad esso, allo scopo di limitare la corrente che passa ed evitare che possa distruggersi; la caduta di tensione ai capi di un led può variare da 1,1 a 1,6 V, in funzione della lunghezza d'onda della radiazione emessa (a lunghezze d'onda minori corrisponde una caduta di tensione più alta).

Diversamente dalle comuni lampadine, il cui filamento funziona a temperature elevatissime ed è caratterizzato da notevole inerzia termica, i led emettono luce fredda, e possono lampeggiare a frequenze molto alte, superiori al Mhz; se si considera anche che la luce emessa è direttamente proporzionale alla corrente che li attraversa, i led risultano particolarmente adatti alla trasmissione di segnali tramite modulazione dell'intensità luminosa. Uno dei tanti impieghi del led è ad esempio quello di iniettori di segnali nelle reti a fibre ottiche.

I led più comuni emettono luce rossa, arancio, gialla o verde.

Come si calcola la resistenza in serie al led



Abbiamo già detto che in serie al led occorre inserire una resistenza per limitare il passaggio di corrente; il valore di tale resistenza può essere calcolato con la legge di Ohm:

- indichiamo con V_s la tensione di alimentazione cui vogliamo collegare il nostro led

- indichiamo con V_l la caduta di tensione presente ai capi del led (per esempio di 1,4 V)

- indichiamo con I il valore della corrente che vogliamo

far passare nel led

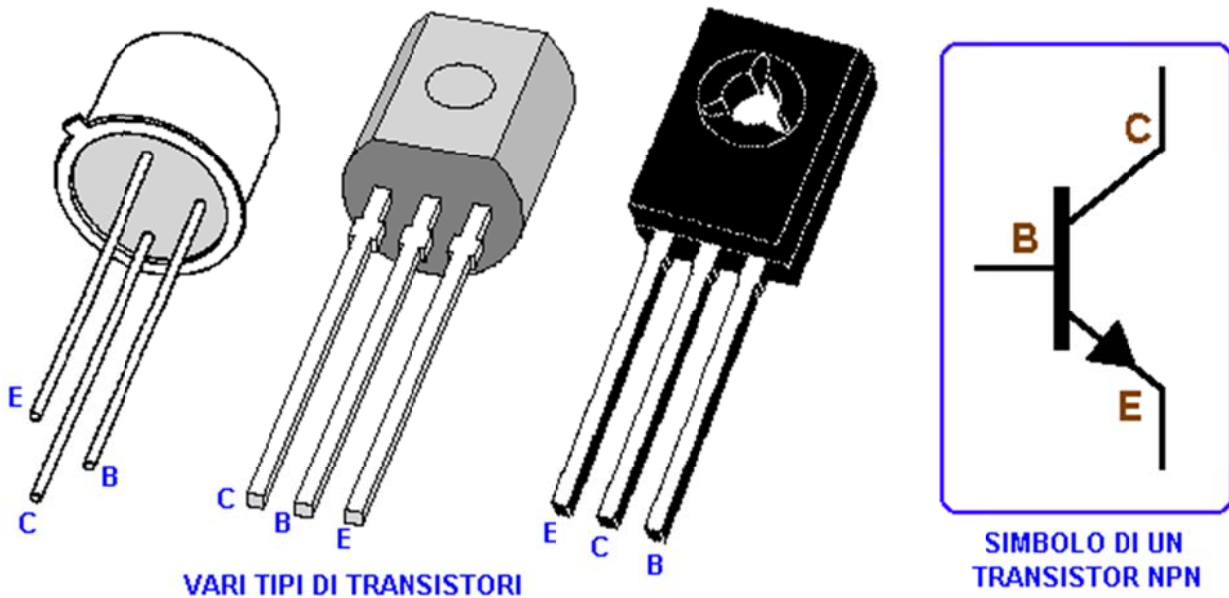
Per calcolare il valore della resistenza basterà fare la differenza fra V_s e V_l e dividere il risultato per I (il cui valore può variare, come detto, da 20 a 40 mA)

Esempio (vedere figura): vogliamo far funzionare un led con una tensione di 12 V, limitando la corrente a 20 mA (e cioè a 0,02 A)

$R = (12 - 1,4) : 0,02 = 530 \text{ ohm}$ (poichè tale valore non esiste in commercio, useremo il valore standard più vicino, ad esempio 470 oppure 560 ohm)

Il transistor

Il transistor è alla base dell'elettronica dei nostri tempi. Anche se come componente singolo viene usato molto meno che in passato, è sempre opportuno ed utile conoscere le caratteristiche principali ed il funzionamento di questo minuscolo dispositivo a stato solido.



Un transistor può avere diversi aspetti, a seconda del fabbricante e del tipo di applicazioni per cui è previsto; in ogni caso, i terminali o punti di contatto che permettono di inserirlo in un circuito sono tre, e sono sempre gli stessi: **collettore, emettitore e base**. I transistor di bassa potenza, il cui scopo è principalmente l'amplificazione dei segnali, hanno in genere l'aspetto di uno dei primi due a sinistra: da un piccolo corpo più o meno cilindrico, metallico o di materiale plastico, fuoriescono tre zampe, nella forma di fili o di linguette, che sono i tre elettrodi di cui si parlava poco fa. La disposizione di questi elettrodi può variare da un tipo all'altro, e va quindi determinata disponendo delle informazioni tecniche relative (i famosi "data sheet"). Per certi transistori di vecchio tipo, sul corpo cilindrico era marcato un puntino colorato che indicava il collettore; in altri è presente sull'involucro metallico una minuscola linguetta, in corrispondenza della quale si trova l'emettitore.

Una prima divisione nel mondo dei transistor riguarda la polarità degli elettrodi; senza scendere troppo nei particolari, almeno per il momento, sarà sufficiente sapere che esistono transistori NPN e transistori PNP. La differenza principale è che il funzionamento in circuito è invertito: mentre per un NPN il collettore deve essere collegato al polo positivo e l'emettitore al negativo, nel caso di un PNP le polarità sono di segno opposto.

L'esistenza di queste due famiglie di transistori torna molto utile, perchè permette di realizzare circuitazioni particolari, sfruttando le diverse polarità.

In base all'impiego, i transistori presentano altre caratteristiche, che possono variare anche molto da un tipo all'altro. Vediamo in breve le principali:

Caratteristiche limite di funzionamento, superando le quali il transistor si distrugge

V_{ce} - è la massima tensione che può essere applicata fra il collettore e l'emettitore

V_{be} - è la massima tensione che può essere applicata fra la base e l'emettitore

Ic - è la massima corrente che può attraversare il circuito di collettore

Ib - è la massima corrente che può attraversare il circuito di base

Frequenza di taglio

È la frequenza oltre la quale la capacità di amplificazione del transistor discende rapidamente. Qualunque transistor può lavorare con segnali all'interno di una certa banda di frequenze. Se, per esempio, dobbiamo costruire un amplificatore audio, quello della frequenza di taglio non sarà certo un problema, visto che qualunque transistor può funzionare ben al di là dei 20.000 hertz delle frequenze acustiche. Se invece si intende amplificare segnali ad alta frequenza (per esempio onde radio a modulazione di frequenza) occorre prestare molta attenzione a scegliere un transistor che presenti un buon guadagno a frequenze di 100 megahertz ed oltre. Lo stesso dicasi per realizzare ad esempio un generatore di funzioni, in grado di produrre una reale onda quadra: in questo caso è opportuno ricorrere a quei tipi definiti "transistori per commutazione", che sono caratterizzati da tempi di salita e discesa molto brevi e quindi si adattano alle tecniche impulsive.

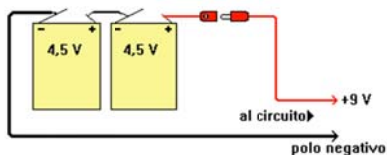
Guadagno

definisce la capacità di amplificazione del transistor e viene indicato in db (decibel); per quelli che hanno qualche conoscenza di matematica, si può aggiungere che il decibel è il logaritmo di un rapporto: nel nostro caso, indicando con **dlb** una qualsiasi variazione della corrente di base e con **dIc** la corrispondente variazione della corrente di collettore, il guadagno risulta dalla formula: $g = 20 \log (dIc / dIb)$

Il guadagno è legato alla frequenza del segnale; rimane praticamente costante fino ad un certo valore, oltre il quale comincia a diminuire rapidamente: tale valore viene appunto definito frequenza di taglio.

Dopo queste considerazioni, passiamo a qualcosa di più pratico e interessante: mettiamo in circuito il primo transistor. Dobbiamo naturalmente procurarcene uno, insieme ad un po' di altro materiale. Ecco allora una piccola lista della spesa da portare al negoziante:

- Un transistor NPN tipo BC107, BC108, BC208, 2N1711, BC237 o equivalenti
- Un diodo LED
- Due resistenze da 1/2 watt, del valore rispettivamente di 220 ohm e 1,5 Kohm

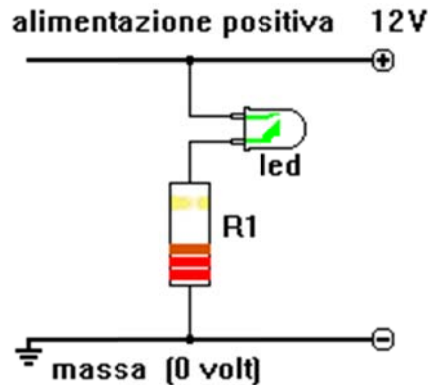


Usando le pile, risulta comodo servirsi di una coppia di spinette maschio/femmina (come quelle di colore rosso in figura) per collegare e scollegare le pile dal circuito, mentre tutti gli altri fili rimangono permanentemente saldati, una volta per tutte

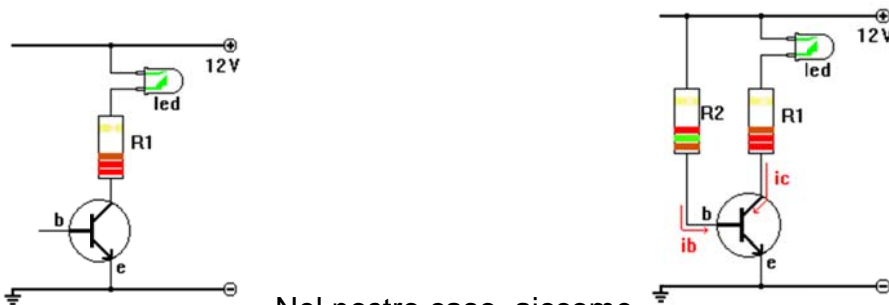
Per alimentare il nostro circuito useremo due pile piatte collegate in serie, in modo da ottenere 9 volt (vedi riquadro a fianco). Cominciamo parlando del **diodo LED**; oltre ad essere un vero e proprio diodo, nel senso che si lascia attraversare dalla

corrente solo in un verso, presenta la caratteristica di essere luminoso: quando viene collegato alla giusta tensione (di circa 1,5 volt) esso si accende come una minuscola lampadina, ed emette una luce il cui colore dipende dal tipo di diodo (può essere rossa, gialla, verde, ecc.).

Essendo un diodo a tutti gli effetti, il LED va inserito in circuito nel verso giusto; se osservate un LED per trasparenza, noterete al suo interno che i due elettrodi sono diversi (come si vede in figura): il più piccolo dei due è quello che va collegato al polo positivo;



l'altro va collegato al negativo.



Nel nostro caso, siccome

vogliamo alimentare

il LED con l'alimentatore a 12 volt, non possiamo collegarlo direttamente, perchè si brucerebbe. Come si vede in figura, inseriremo in serie al LED una resistenza, del valore di 220 ohm, per limitare la corrente che passa. Adesso possiamo attaccare il tutto all'alimentatore o alle pile: il diodo led deve accendersi. Raggiunto questo primo risultato, possiamo passare ad inserire il transistor. Dopo aver identificato con sicurezza i tre piedini (eventualmente chiedete al vostro fornitore) collegate l'emettitore al polo negativo o massa. Lasciate scollegata, per il momento, la base del transistor. Al collettore collegate la resistenza da 220 ohm, quella che proviene dal diodo LED, realizzando il circuito della figura qui a sinistra. Quando accendete l'alimentatore, il diodo led non deve accendersi; la corrente, infatti, non può passare, essendo presente il transistor che la blocca.

Collegiamo adesso in circuito anche la base del transistor, cioè il piedino che avevamo lasciato scollegato. Vi salderemo la resistenza da 1,5 kohm che a sua volta sarà collegata al polo positivo. Se adesso ridiamo corrente al circuito, vedremo che il diodo LED si accende.

Cosa è cambiato nel transistor? Attraverso la resistenza R2, una debole corrente, indicata in figura con i_b , circola nel circuito di base; questa corrente innesca il passaggio di una corrente più forte nel circuito di collettore (indicata con i_c) e così il LED si accende.

Osserviamo quindi che con una corrente di pochi milliampere (la corrente che entra in base) possiamo comandare una corrente di alcune centinaia di milliampere nel circuito di collettore: è questo il principio del transistor, che risulta essere pertanto un **"amplificatore di corrente"**.

Procedure per il controllo dei transistor bipolari

Introduzione

Procedure per il controllo dei transistor bipolari (NPN o PNP), per accertarsi che non abbiano subito guasti catastrofici come cortocircuiti e interruzioni. Nella maggioranza dei casi, ciò è sufficiente a identificare transistor al silicio guasti. Il guadagno, la risposta in frequenza, ecc. non sono trattati in questa sede. Sebbene sia possibile effettuare gli stessi controlli anche sui dispositivi al germanio, sembrerebbe più probabile che questi ultimi cambino le proprie caratteristiche senza guastarsi del tutto. E' anche possibile stabilire la disposizione dei terminali dei transistor bipolari non identificati così come anche i valori di tensione di rottura.

I tester analogici e digitali si comportano in modo abbastanza differente durante il controllo di dispositivi non lineari, come transistor o diodi.

Metodologia per il controllo

La maggior parte dei tester digitali mostrano una resistenza infinita per tutte le 6 combinazioni di misura di giunzioni, visto che la tensione da essi effettivamente utilizzata per il controllo è minore della caduta di tensione di un diodo (se accidentalmente misurate la resistenza della vostra pelle, il tester indicherà un valore compreso tra 200 KiloOhm e 2 MegaOhm). Il sistema migliore per controllare i transistor con un tester digitale consiste nell'utilizzare la sua funzione di "test diodi", che descriveremo in seguito. In entrambi i casi, se leggete un cortocircuito (0 Ohm o una caduta di tensione nulla) oppure il transistor fallisce una delle letture, allora è guasto e va sostituito. Le seguenti procedure si riferiscono alla sola misura dei transistor **SMONTATI DAL CIRCUITO**.

Fanno eccezione alla regola alcuni transistor di potenza con diodi di smorzamento (diodi di smorzamento connessi con polarità inversa tra C-E) e resistori entrocontenuti (connessi tra B-E, di valore attorno ai 50 Ohm) che potrebbero **confondere** queste letture. Se state controllando un transistor di questo tipo per sicurezza dovrete paragonare le letture con quelle di un transistor identico sicuramente efficiente o controllare le specifiche. Esistono anche alcuni altri casi leggermente differenti. Quindi, se ottenete delle letture senza senso, provate a confermarle misurando un transistor sicuramente efficiente dello stesso tipo o consultando un foglio delle specifiche.

Prima di controllare un dispositivo non identificato, è meglio accertare ed etichettare la polarità dei terminali (la tensione fornita dal tester in modalità di misura resistenza o controllo diodi, a seconda che si tratti di un tester analogico o digitale), utilizzando un diodo sicuramente efficiente (per esempio un raddrizzatore 1N4007 o un diodo di segnale 1N4148) come descritto in seguito. In tal modo saprete anche cosa aspettarvi per la lettura di una giunzione polarizzata direttamente. Se prevedete di misurare anche dispositivi al Germanio, dovrete effettuare la stessa operazione anche con un diodo al Germanio (per esempio, 1N34).

Si assume che sia possibile controllare un transistor alla ricerca di giunzioni in cortocircuito, interrotte o in perdita, come se si trattasse di un paio di diodi connessi. Ovviamente, con la stessa tecnica è possibile controllare anche i semplici diodi. Ad ogni

modo, i diodi LED (caduta di tensione diretta troppo elevata per la maggioranza dei tester) e i diodi Zener (tensione di rottura inversa e tensione di zener troppo elevata per la maggioranza dei tester) non possono essere controllati al completo in questa maniera.

Controllo con un tester analogico

Nel caso dei transistor NPN, il terminale "A" è nero e il terminale "B" è rosso; nel caso dei transistor PNP, il terminale "A" è rosso e il terminale "B" è nero (**NOTA:** si tratta della polarità standard per la resistenza, ma in molti multimetri i colori sono invertiti visto che in questo modo la circuitazione interna è più semplice da progettare; se le letture che ottenete non corrispondono, invertite i puntali e riprovate). Iniziate con il puntale "A" del vostro multimetro sulla base ed il puntale "B" sull'emettitore. Dovreste ottenere una lettura di resistenza ragionevolmente bassa. Dipendentemente dalla scala, la lettura potrebbe variare tra 100 Ohm a svariati KiloOhm. Il valore reale non è critico a condizione che sia simile alla lettura ottenuta con il vostro 'controllo del diodo sicuramente efficiente', descritto in precedenza. Tutti i dispositivi al silicio producono delle letture in qualche modo simili; stesso dicasi per tutti i dispositivi al Germanio, anche se le letture di resistenza risulteranno inferiori.

Quindi spostate il puntale "B" sul collettore. Dovreste ottenere pressochè la stessa lettura. Ora provate le altre quattro combinazioni: dovreste ottenere una lettura di resistenza infinita (circuito aperto). Se una qualunque delle resistenze misurate è errata, sostituite il transistor. Solo 2 delle 6 possibile combinazioni dovrebbero mostrare una bassa resistenza; nessuna delle resistenze dovrebbe risultare vicina a 0 Ohm (cortocircuito).

Controllo con un tester digitale

Selezionate sul vostro multimetro la funzione di test dei diodi. Collegare il terminale rosso del tester alla base del transistor, ed il terminale nero all'emettitore. Nel caso di un transistor NPN efficiente leggerete una caduta di tensione compresa tra 0,45 e 0,9 Volt. Nel caso di un transistor PNP efficiente leggerete una caduta di tensione infinita (circuito aperto). Lasciate il terminale rosso del tester sulla base e spostate il terminale nero sul collettore. La lettura dovrebbe risultare identica a quella precedente. Invertite nelle vostre mani i terminali del tester e ripetete il controllo. Questa volta, collegate il terminale nero sulla base del transistor, ed il terminale rosso sull'emettitore. Nel caso di un transistor PNP efficiente leggerete una caduta di tensione compresa tra 0,45 e 0,9 Volt. Nel caso di un transistor NPN efficiente leggerete una caduta di tensione infinita (circuito aperto). Lasciate il terminale nero del tester sulla base e spostate il terminale rosso sul collettore. La lettura dovrebbe risultare identica a quella precedente. Collegare un puntale del tester sul collettore, l'altro sull'emettitore. Dovreste leggere una caduta di tensione infinita. Invertite i puntali. Dovreste ancora una volta leggere una caduta di tensione infinita. La cosa non cambia sia che il transistor sia NPN che PNP.

Come identificare i transistor bipolari sconosciuti

E' possibile determinare il tipo (NPN o PNP) e la disposizione dei terminali di transistor non marchiati utilizzando un multimetro e basandosi su considerazioni simili. Anche in questo caso si assume il modello di diodi collegati back-to-back. Il collettore e l'emettitore

possono quindi essere identificati basandosi sul fatto che il drogaggio per la giunzione E-B è sempre molto superiore a quello per la giunzione C-B. Pertanto, la caduta di tensione diretta risulterà leggermente inferiore - che si evidenzierà con una differenza di un paio di mV sulla portata 'test diodi' di un tester digitale, o con una resistenza leggermente inferiore su un tester analogico.

Per stabilire la disposizione dei terminali, etichettate con 1, 2 e 3 i piedini del dispositivo sconosciuto. Collegate il positivo della sonda del vostro multimetro sul piedino 1. Ora, misurate la resistenza (se utilizzate un tester analogico) o la caduta di tensione della giunzione (se utilizzate un tester digitale) verso gli altri due piedini. Se il puntale positivo è collegato sulla base di un buon transistor NPN, dovrete ottenere delle letture di bassa resistenza o bassa caduta di tensione sulla giunzione verso gli altri due piedini. La resistenza tra Base-Emettitore o caduta di tensione sulla giunzione risulterà solo leggermente inferiore rispetto a quella tra Base-Collettore.

Se una o entrambe le misurazioni verso gli altri due piedini risultano elevate, collegate il puntale positivo sul piedino 2 e riprovate. Se ancora non va', provate con il piedino 3.

Se anche in questo modo non ottenete misurazioni accettabili, potrebbe trattarsi di un transistor PNP; ripetete quindi le misurazioni con il puntale negativo sul piedino comune.

Se con nessuna delle sei combinazioni si ottiene un paio di letture basse, o se più di una combinazione ha come risultato un paio di letture di bassa resistenza, allora è probabile che il vostro transistor sia guasto.

I circuiti integrati

L'avvento dei circuiti integrati ha senz'altro cambiato il modo di pensare, ovvero di progettare un circuito elettronico. Quando si lavora con componenti singoli, detti "discreti", ci si preoccupa di determinare per ognuno di essi le giuste condizioni di funzionamento, in termini di tensioni e correnti, e quindi di collegare un componente all'altro in modo da ottenere un corretto comportamento d'insieme. Con i circuiti integrati, invece, si ragiona a "blocchi", ovvero a funzioni logiche.

Un circuito integrato contiene al suo interno un numero elevatissimo di componenti: principalmente transistor, ma anche resistenze, diodi ed altro.

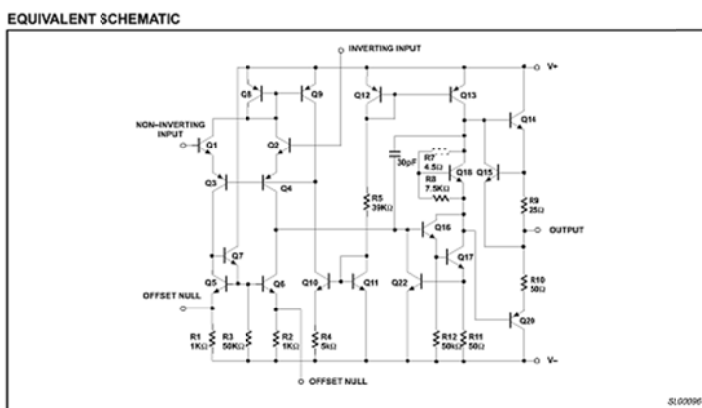


Figure 2. Equivalent Schematic

PIN CONFIGURATION

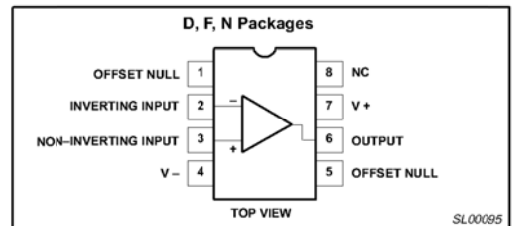


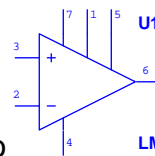
Figure 1. Pin Configuration

In fig.2 è riportato lo schema elettrico interno dell'integrato; in fig.1 come lo schema elettrico è collegato ai reofori(cioè ai piedini dell'integrato);

in fig.3 il circuito integrato vero e proprio

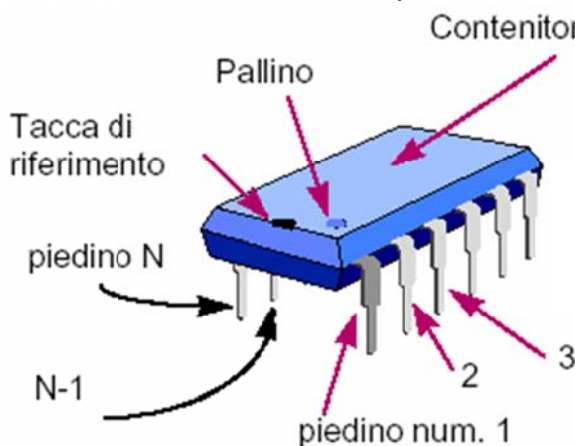


ed il simbolo da usare nel disegnare lo schema elettrico



LM741J (da notare che il pin 8 non è riportato perché in fig. 1 NC significa non collegato)

Come si identificano i reofori/piedini di un circuito integrato



Il piedino 1 è indicato da un pallino o da una tacca sul contenitore

Naturalmente non si tratta di transistori confezionati nel loro involucro e dotati di zampe di collegamento, come quelli visti nelle lezioni precedenti; occorre infatti pensare che il cuore di un transistor non è altro che una minuscola particella di silicio (o altro materiale semiconduttore) opportunamente trattato, e che realizzando i collegamenti con procedimenti studiati al microscopio è possibile ottenere su una piastrina di pochi millimetri quadrati un circuito completo formato da migliaia di transistori.

Non è pensabile cercare di capire come funziona un circuito integrato al suo interno, anche avendone uno schema dettagliato. La complessità di alcuni di essi è infatti notevole, tra l'altro per il motivo che certi componenti, facilmente disponibili nei circuiti tradizionali (ad esempio i condensatori), non possono essere realizzati in spazi così ridotti ed allora si ricorre a circuitazioni che sostituiscono determinate funzioni a spese di un notevole aumento del numero di componenti di altro tipo, più facilmente realizzabili con quelle tecnologie.

Si faccia tuttavia attenzione a non abusare dei circuiti integrati: a volte è molto più semplice usare tre o quattro transistor, piuttosto che cercare l'integrato che svolga quella particolare funzione.

Gli amplificatori operazionali

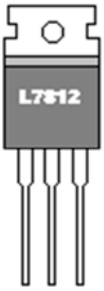
Ma facciamo qualche esempio pratico: un circuito integrato molto diffuso è il cosiddetto "amplificatore operazionale". Fondamentalmente si tratta di un circuito caratterizzato da una grande sensibilità, ovvero da un elevato fattore di amplificazione. Uno dei suoi impieghi più caratteristici consiste nel confrontare due tensioni, applicate ai suoi ingressi, che sono due (uno detto invertente ed uno non invertente): in funzione di tali tensioni, l'uscita dell'amplificatore operazionale assume generalmente un valore limite, vale a dire zero o massimo.



**Un
amplificatore
operazionale
u741**

I regolatori di tensione

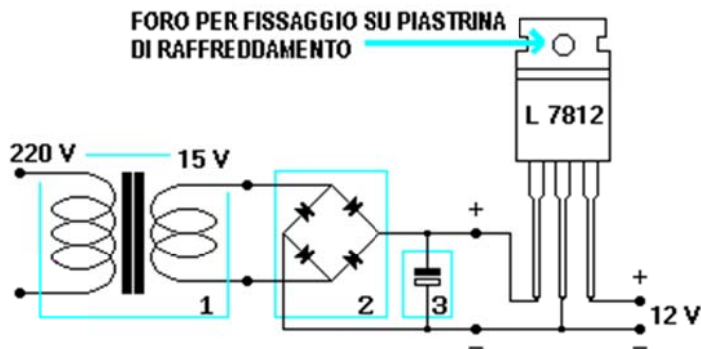
Altri circuiti integrati sono i regolatori di tensione. Una volta, per costruire un alimentatore stabilizzato, cioè in grado di fornire in uscita una tensione ben stabile, indipendentemente dalla corrente assorbita, era necessario mettere insieme diversi componenti, realizzando uno schema più o meno complesso; adesso, con un apposito circuito integrato che ha solo 3 piedini da collegare, chiunque può costruirsi con estrema facilità un ottimo alimentatore di elevate caratteristiche. Per cominciare faremo uso proprio di un integrato appartenente



alla famiglia dei regolatori di tensione, della serie L7800. Il suo aspetto è quello che si vede in figura: ci sono solo 3 piedini di collegamento, ovvero un ingresso, un'uscita ed il collegamento di massa, che in inglese viene chiamato "ground". Il suo impiego è piuttosto semplice. In funzione della tensione che vogliamo ottenere in uscita, dovremo comprare un diverso integrato, come si vede nella tabella. Naturalmente, se ci occorre in uscita una tensione superiore a 9 volt, non potremo utilizzare l'alimentatore così come descritto nelle parti 2 e 3, poichè in quel caso si prevedeva una tensione di uscita di circa 12 volt, ma senza stabilizzazione. Questi circuiti integrati sono in grado di regolare perfettamente la tensione, nel senso che la abbassano con precisione al valore

richiesto, ma se la tensione che ricevono in ingresso non è abbastanza alta, non possono certo funzionare. Occorre quindi utilizzare per il nostro alimentatore un trasformatore che dia sul secondario una tensione più alta, pari a circa una volta e mezzo quella di uscita. Ad esempio, per un' uscita di 12 volt, useremo l'integrato L 7812 con un trasformatore che fornisce da 15 a 18 volt; per un'uscita di 18 volt useremo l'integrato L 7818 con un trasformatore che fornisce da 24 a 27 volt, e così via. I circuiti integrati della serie L7800 sono in grado di erogare una corrente di 1 ampere; quindi per sfruttare in pieno le loro caratteristiche occorre che anche il trasformatore usato nell'alimentatore possa dare tale corrente senza surriscaldarsi. Tutti i dati necessari sono comunque riassunti nella tabella qui sotto.

tensione in uscita	sigla del circuito integrato	tensione del trasformatore	potenza del trasformatore
5 volt	L 7805	circa 7 volt	circa 8 watt
7,5 volt	L 7875	circa 10 volt	circa 12 watt
9 volt	L 7809	circa 13 volt	circa 15 watt
12 volt	L 7812	circa 15 volt	circa 20 watt
15 volt	L 7815	circa 18 volt	circa 25 watt
18 volt	L 7818	circa 24 volt	circa 30 watt
24 volt	L 7824	circa 30 volt	circa 40 watt



Lo schema illustra il modo di impiegare il circuito integrato, in unione all'alimentatore. In pratica l'uscita dell'alimentatore arriva all'integrato, sul piedino di sinistra, mentre il piedino centrale è collegato alla massa del circuito. Sul piedino di uscita (quello di destra) sarà disponibile la tensione di uscita, perfettamente stabile, e di valore corrispondente a quella

nominale dell'integrato (in figura è stato scelto, come esempio, un regolatore per 12 volt di uscita). Se intendete far funzionare il circuito alla massima potenza e per tempi lunghi è consigliabile provvedere al raffreddamento del circuito integrato; esso è infatti dotato di un apposito foro che permette di fissarlo, tramite vite con dado, su una piastrina metallica, di alluminio o di rame, atta a dissipare il calore. Fate attenzione che tale piastrina non vada a toccare i piedini dell'integrato stesso nè altre parti del circuito, perchè potrebbe creare contatti accidentali e causare danni a qualche componente.

Circuiti integrati digitali

In elettronica digitale le tecniche caratteristiche dell'elettronica lineare (tensioni, resistenze, caratteristiche di un transistor, ecc.) passano in secondo piano, per cedere il posto ad un modo di ragionare basato sulla logica. Non si lavora più con singoli componenti che richiedono di essere correttamente inseriti in un circuito, ma su blocchi già di per se completi, ognuno in grado di svolgere una determinata funzione. Tutte queste unità funzionali possono essere collegate l'una all'altra in schemi complessi quanto si vuole, unicamente seguendo un ragionamento logico, senza doversi preoccupare degli aspetti elettrici veri e propri.

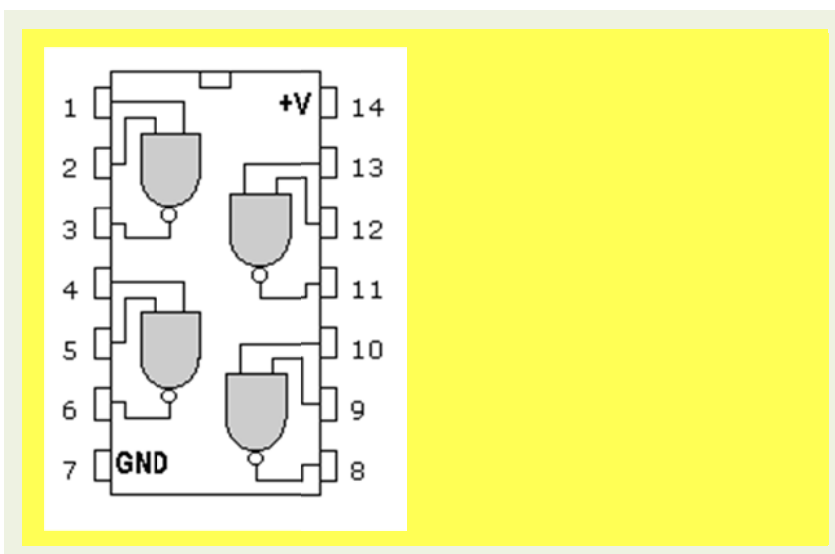


figura 1 - integrato MM74C08 contenente 4 porte AND

Tanto per parlare di cose concrete, diremo che l'elettronica digitale utilizza, tra le varie unità funzionali, degli elementi chiamati "porte logiche"; esistono porte di vario tipo, tutte caratterizzate dall'averne uno o più ingressi ed uscite. Queste "porte logiche", che noi troviamo all'interno di circuiti integrati, devono solo essere alimentate con la giusta tensione: per esempio, 5 V. Sul terminale di uscita di una porta, noi potremo trovare solo due valori di tensione: un valore è lo zero (che viene anche detto "livello basso" o "low"); l'altro valore è la tensione di alimentazione (in tal caso si parla di livello alto o "high"). Tutti i possibili valori intermedi di tensione non esistono in elettronica digitale, o comunque non hanno significato.

Il circuito integrato di figura 1 è un MM74C08, con 14 piedini "dual in line"; esso contiene al suo interno quattro porte di tipo "AND", ciascuna dotata di due ingressi e di una uscita. Consideriamo una di queste porte, per esempio quella i cui ingressi fanno capo ai piedini 1 e 2; tutto quello che noi possiamo fare, è di applicare a ciascuno di questi piedini un livello logico, ovvero una tensione uguale a zero (livello basso o "low") oppure una tensione uguale a quella di alimentazione (livello alto o "high"); in funzione dei livelli che applicheremo in entrata, l'uscita (piedino 3) assumerà a sua volta uno stato logico alto o basso.

Naturalmente, perchè tutto funzioni regolarmente, dovremo alimentare il nostro circuito integrato, collegando il piedino 7 (marcato GND ovvero "ground") a zero ed il piedino 14 alla tensione di alimentazione.

Il comportamento di una porta logica, così come di qualsiasi altro integrato di questo tipo, viene indicato in un'apposita tabella, chiamata "tavola della verità". Per esempio, per una porta AND come quella appena vista, la tavola della verità è la seguente:

Tavola della verità di una porta AND			
	ingresso 1	ingresso 2	uscita
significati: 0 = livello basso 1 = livello alto	0	0	0
	1	0	0
	0	1	0
	1	1	1

La tabella ci dice che se i due ingressi sono a tensione zero, l'uscita è a zero; altrettanto succede se applichiamo una tensione "high" su uno degli ingressi. Se invece colleghiamo a livello alto entrambi gli ingressi, l'uscita passa a livello alto (cioè alla tensione di alimentazione).

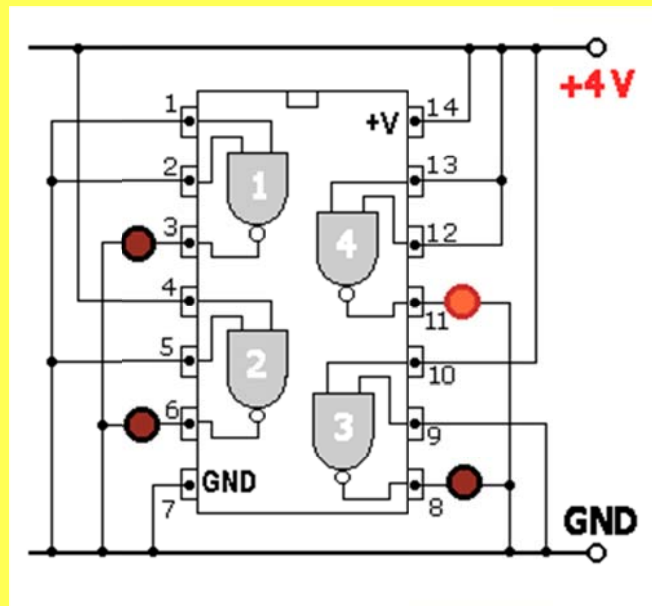


figura 2 - circuito di prova per integrato MM74C08

Vista così, in effetti, una porta può non apparire molto utile; bisogna tuttavia considerare che una rete logica si compone di molte porte, di questo tipo o diverse, collegate in cascata oppure affiancate. Vedremo presto come sia possibile utilizzare praticamente dei componenti logici, in applicazioni semplici ma significative.

In figura 2 viene fornito un esempio pratico del funzionamento delle porte AND; come si vede, il circuito integrato MM74C08 è alimentato a 4 volt (sul piedino 14) mentre il piedino 7 è collegato al negativo. All'uscita di ogni porta è collegato un led, che serve a mostrarne il livello: se il led è acceso, vuol dire che l'uscita è a livello alto.

Osserviamo una ad una le singole porte:

- 1- gli ingressi della porta 1 (piedini 1 e 2) sono collegati a zero, per cui l'uscita è a zero
- 2- un ingresso della porta 2 (piedino 4) è collegato al positivo, mentre l'altro (piedino 5) è a zero; come si vede, l'uscita è a zero
- 3- un ingresso della porta 3 (piedino 10) è collegato al positivo, mentre l'altro (piedino 9) è a zero; l'uscita è a zero
- 4- gli ingressi della porta 4 (piedini 12 e 13) sono entrambi collegati al positivo; finalmente il led si accende perchè l'uscita è a livello alto.

Tenete presente che questo circuito costituisce soltanto un esempio di come si utilizza in pratica un integrato logico; in realtà non sarebbe possibile accendere un led collegandolo direttamente ad una porta logica, poichè l'uscita non ha la potenza sufficiente, ovvero non è in grado di erogare la corrente richiesta.

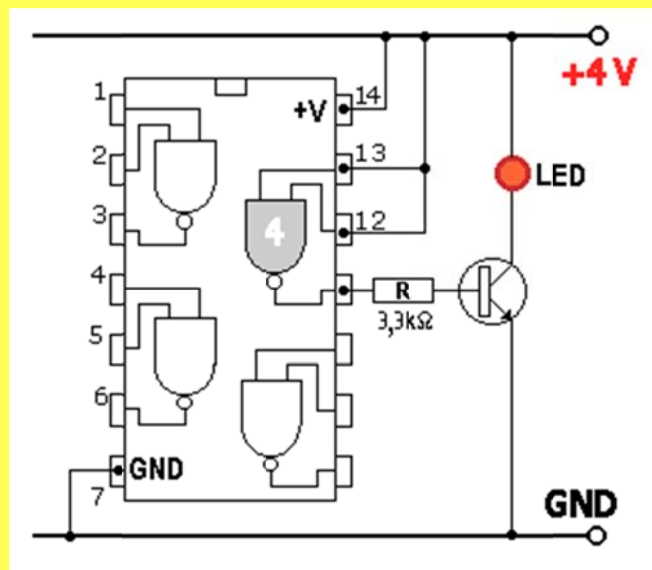


figura 3

In simili casi, è necessario interporre un "buffer", ovvero uno stadio intermedio, che agisca come interfaccia; per esempio, un semplice transistor, collegato come si vede in figura 3.

Si è detto che l'elettronica digitale utilizza solo due livelli logici:

- un livello prossimo al valore della tensione di alimentazione, detto livello alto oppure 1 logico;
 - un livello di valore prossimo a zero, detto livello basso, oppure zero logico.
- I due valori che può assumere l'uscita di un circuito digitale rappresentano la quantità minima di informazione, detta anche "dato binario" o "bit".

Ma come si può, allora, in elettronica digitale, rappresentare le diverse grandezze, usando come unici valori

l'uno e lo zero? La risposta è semplice: utilizzando non uno, ma diversi circuiti affiancati. Se chiamiamo D1 l'uscita di un circuito digitale, avremo due possibilità: $D1 = 0$ oppure $D1 = 1$. Consideriamo poi un secondo circuito, la cui uscita sarà D2; avremo altre due possibilità: $D2 = 0$ oppure $D2 = 1$. Scrivendo uno di seguito all'altro il valore delle due uscite D1 e D2 (tabella di figura 4), noteremo che le combinazioni possibili sono quattro: 00 - 10 - 01 - 11 .

Aggiungiamo poi un terzo circuito, la cui uscita rappresenterà il dato D3, e scriviamo le combinazioni possibili nella tabella di figura 5. Vediamo che adesso si possono formare fino ad otto diverse sequenze di cifre: al 4° rigo, per esempio, abbiamo la sequenza "110", mentre al penultimo abbiamo "011".

valore di D1	valore di D2
0	0
1	0
0	1
1	1

figura 4

Queste sequenze di cifre possono avere in realtà un loro preciso valore, nell'ambito di un sistema di calcolo adeguato. Senza scendere nei particolari, diremo che si tratta di cifre "binarie", formate cioè da soli "uno" e "zero".

Similmente al sistema decimale, che usiamo nella

nostra vita di tutti i giorni, il sistema binario permette di esprimere qualsiasi valore, purchè si usi un numero sufficiente di cifre. Tanto per fare qualche esempio, diremo che il numero 10 equivale, in binario, alla sequenza "110"; il numero 20 diventa "10100", il 50 diventa "110010", e così via.

Per concludere, osserviamo quindi che:

- con due sole cifre o circuiti binari, si possono esprimere quattro valori, da zero a 3
- con tre cifre (o circuiti binari) si possono esprimere otto valori, da zero a 7
- con quattro cifre si possono esprimere valori da 0 a 15, ecc.

valore di D1	valore di D2	valore di D3
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	0
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	1

figura 5

Possiamo concludere pertanto che, per ogni cifra che si aggiunge, il massimo valore esprimibile raddoppia; disponendo in parallelo 8 circuiti, e quindi con 8 cifre, si possono esprimere ad esempio 256 valori diversi, mentre con 16 cifre si arriva ad esprimere 65536 valori.

Nel linguaggio dei calcolatori si usano frequentemente i termini bit e byte:

- il termine bit, che abbiamo già incontrato, esprime la singola cifra, uno o zero, e costituisce l'unità elementare di informazione
- il termine byte individua una quantità più complessa di informazione, composta da un insieme di otto cifre, che a volte viene anche definito come "word" (ovvero "parola").