



Open Hardware Hacking

maggio 2012



Salvatore Balestrino, Massimo Pisani

Open Hardware Hacking 2012

PREMESSA

Il presente corso è indirizzato per chi per la prima volta si avvicina all'elettronica, all'open hardware e alle tecniche di hacking.

Per chi volesse mettere in pratica gli esempi riportati si consiglia di usare sempre basse tensioni (max 24V AC/DC)

L'associazione G.U.L.P. declina ogni responsabilità per eventuali danni a persone o cose causate da un uso improprio degli esempi presenti nel corso.



Open Hardware Hacking 2012

1. NOZIONI DI BASE
2. PRINCIPALI COMPONENTI ELETTRONICI
3. STRUMENTI DI LAVORO E CABLAGGIO
4. PROTOTIPAZIONE RAPIDA CON ARDUINO
5. ESPERIMENTI PRATICI
6. HACKING CON Bus PIRATE

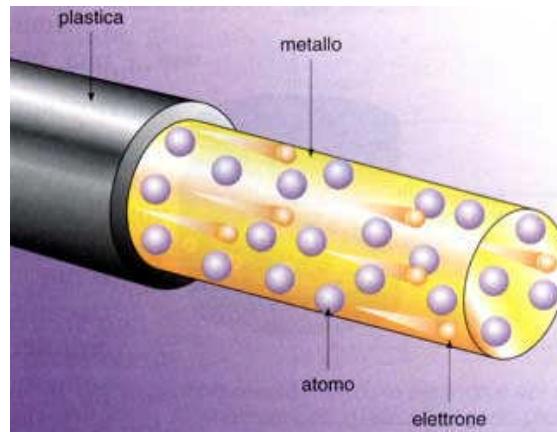


Open Hardware Hacking 2012

NOZIONI DI BASE: CORRENTE E TENSIONE

Parliamo di corrente elettrica e come dice la parola stessa la corrente è qualcosa che scorre ed a scorrere sono le cariche elettriche in un materiale conduttore.

Gli elettroni per effetto di una forza applicata dall'esterno cominciano a spostarsi da un'atomo all'altro dando origine al flusso di cariche chiamato corrente elettrica.

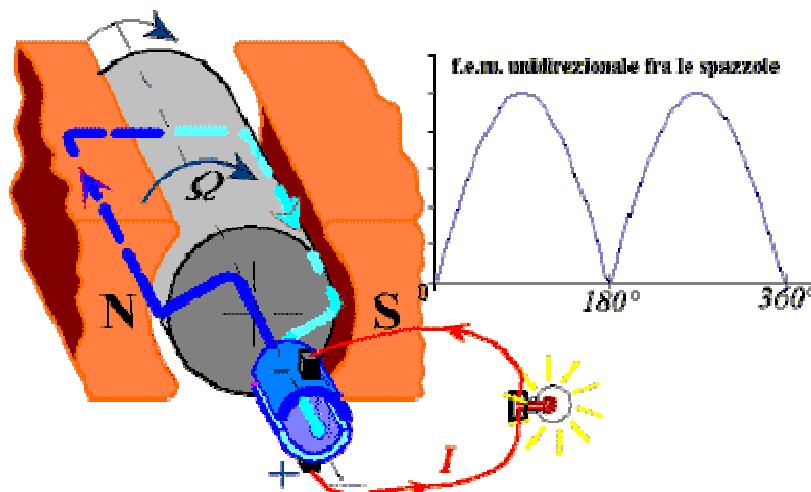


Open Hardware Hacking 2012

NOZIONI DI BASE: CORRENTE E TENSIONE

La forza esterna è detta **forza elettromotrice** o **tensione** o **differenza di potenziale***

La tensione si misura in Volt (V) e può essere paragonata alla pressione in idraulica.



Open Hardware Hacking 2012

NOZIONI DI BASE: CORRENTE E TENSIONE

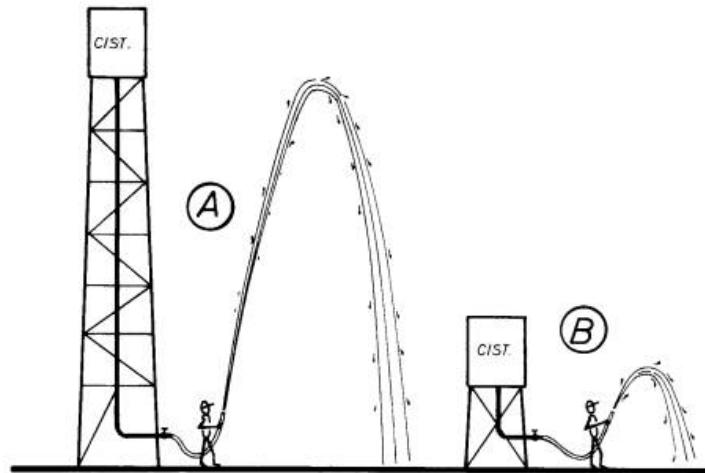
La tensione si misura in **Volt (V)** e può essere paragonata alla pressione in idraulica.

Mentre la corrente si misura in **Ampere (A)** e può essere paragonata alla portata.



Open Hardware Hacking 2012

In tutti i fenomeni elettrici la tensione rappresenta la causa mentre la corrente l'effetto.



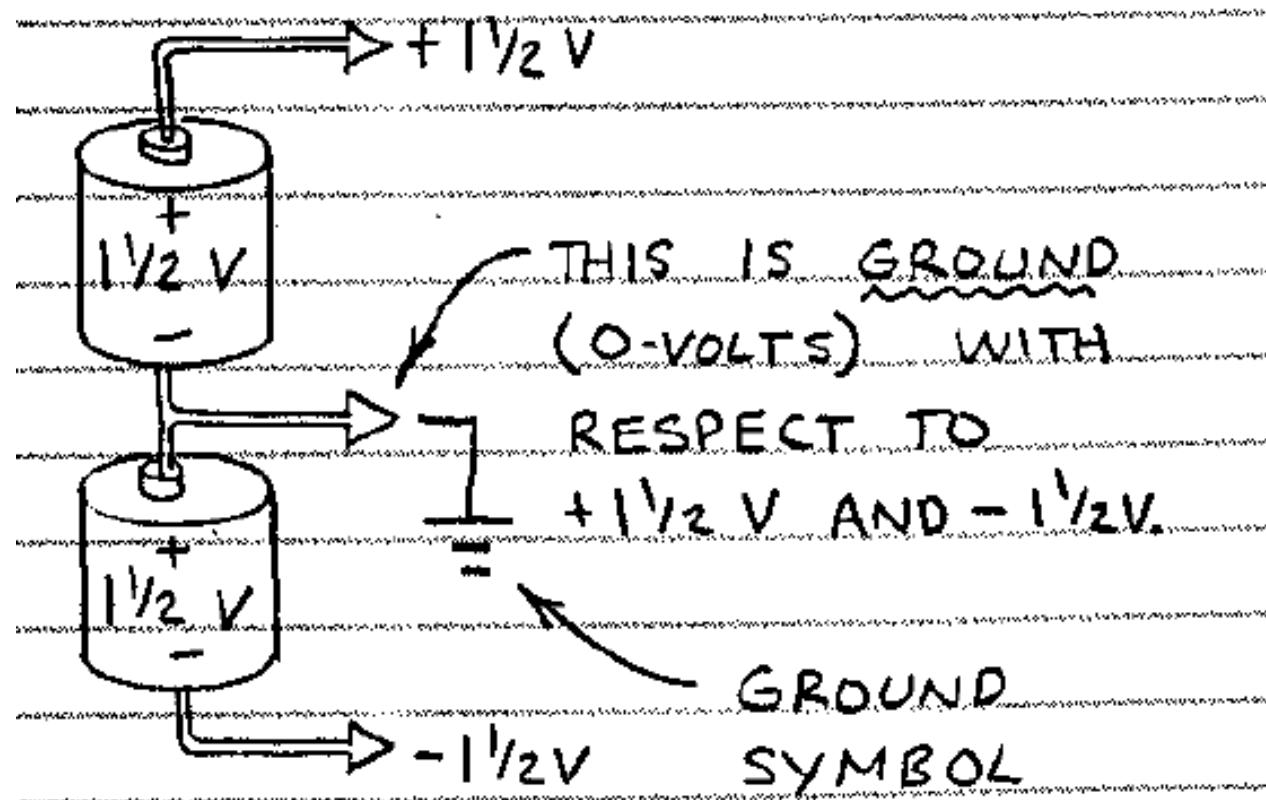
A = tensione maggiore

B = tensione minore



Open Hardware Hacking 2012

CONCETTO DI GROUND

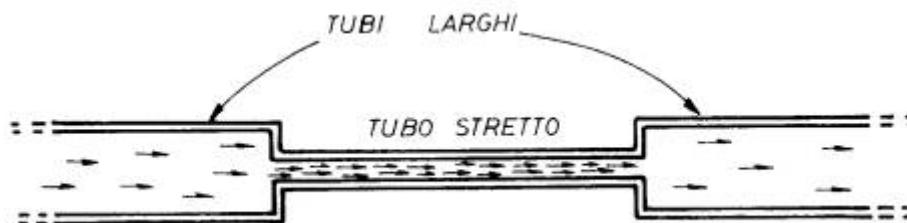


Open Hardware Hacking 2012

RESISTENZA

I conduttori elettrici danno via libera al passaggio degli elettroni ossia alle correnti elettriche.

Tuttavia in un circuito vengono a formarsi spontaneamente, oppure sono volutamente realizzate, degli «sbarramenti» che consentono di diminuire il naturale flusso della corrente.



Open Hardware Hacking 2012

RESISTENZA

Esistono diversi tipi di resistenze e le più comuni sono costituite da cilindri di materiale particolare con due terminali.

L'unità di misura delle resistenze prende il nome di
« ohm» Ω , $K\Omega$, $M\Omega$



Open Hardware Hacking 2012

Legge di Ohm

E' la legge delle leggi.

$$V = R * I$$

Tensione = resistenza * corrente

$$I = \frac{V}{R} \quad R = \frac{V}{I}$$



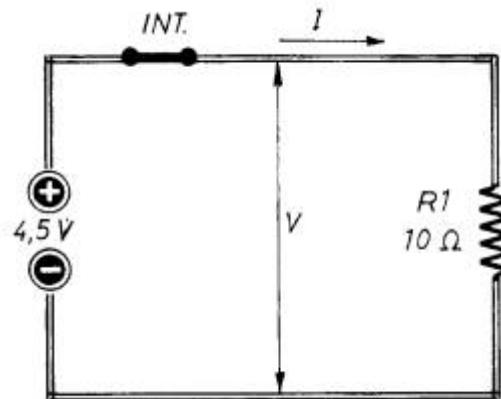
Open Hardware Hacking 2012

LEGGE DI OHM

Esempio pratico.

Abbiamo una batteria da 4,5 V e un carico di 10 ohm.

La corrente I sarà: $4,5 / 10 = 0,45A = 450mA$



Open Hardware Hacking 2012

E se quindi la batteria ha una capacità di 900mAh
quanto durerà?

$$900\text{mAh} / 450\text{mA} = 2 \text{ h}$$



Open Hardware Hacking 2012

► Data una tensione e una corrente la potenza è:

$$P = V * I$$

L'unità di misura è il Watt (W)

Quindi nel nostro caso: $4,5 * 0,45 = 2$ Watt circa

Domanda.. La nostra resistenza riesce a dissipare 2 Watt?



Open Hardware Hacking 2012

▶ *Esempio pratico.*

Vogliamo alimentare una luce a led ed abbiamo a disposizione solo un alimentatore da 12 Volt.

Sappiamo che la nostra luce ha una potenza da 12 Watt.

Conoscendo che $P = V * I$, quanta corrente deve scorrere al massimo nel nostro circuito?



Open Hardware Hacking 2012

La corrente è quindi 1 ampere.

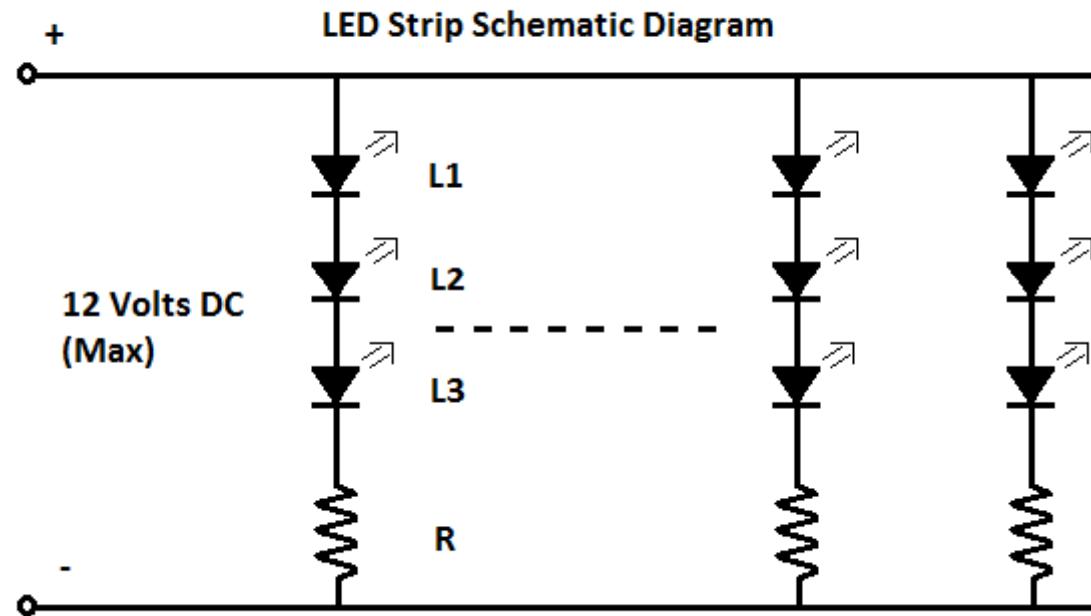
Per far scorrere 1 ampere dobbiamo limitare la corrente con una resistenza!

$$V = R * I, \text{ quindi: } R = \frac{V}{I}$$

Abbiamo bisogno di una resistenza da 12 ohm.



Open Hardware Hacking 2012



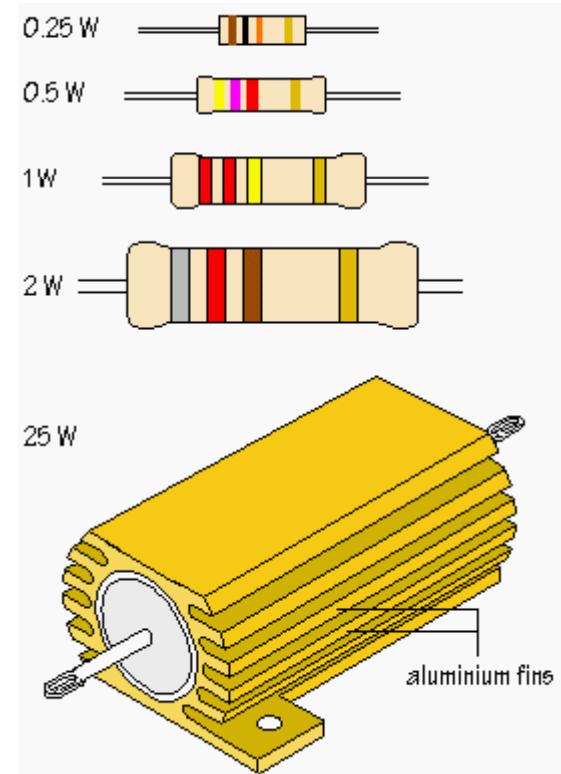
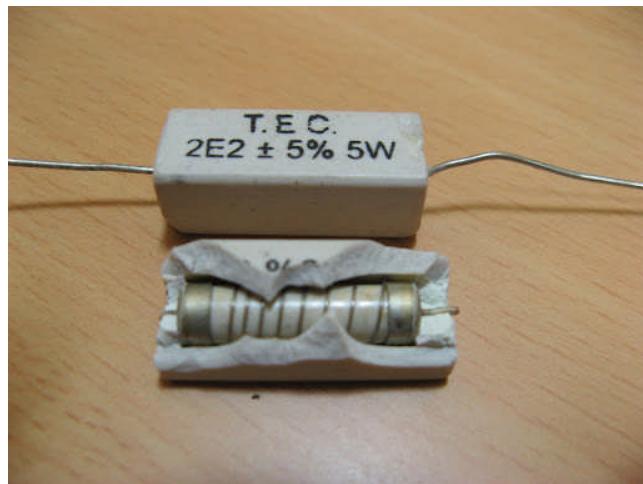
Open Hardware Hacking 2012

La potenza che la resistenza dovrà sostenere dissipando calore (effetto Joule) sarà data da

$$P = V * I$$

$$P = (R * I) * I$$

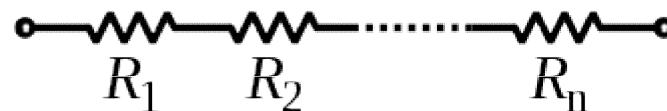
$$P = R * I^2$$



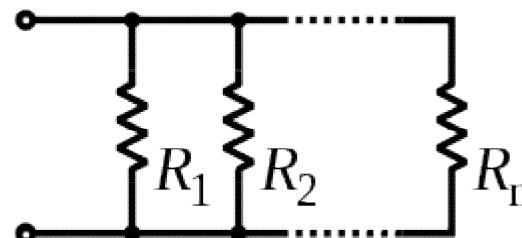
Open Hardware Hacking 2012

RESISTENZA IN SERIE O IN PARALLELO

Possiamo vedere più resistenze in serie come una unica resistenza il cui valore è dato dalla somma delle singole resistenze.



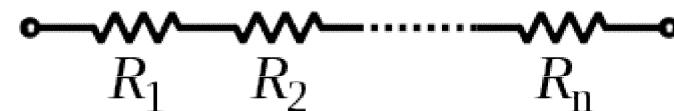
Mentre possiamo vedere più resistenze in parallelo come una unica resistenza il cui valore è dato dal reciproco della somma dei reciproci.



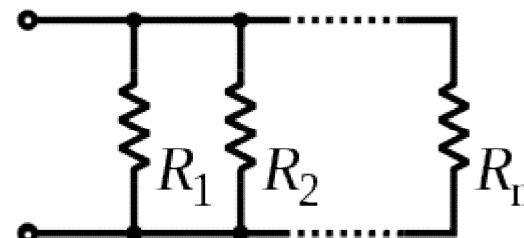
Open Hardware Hacking 2012

- ▶ Resistenza in serie o in parallelo

In serie $R_{totale} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$



In parallelo $\frac{1}{R_{totale}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

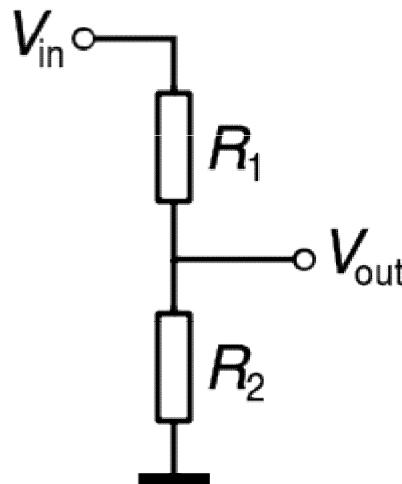


Open Hardware Hacking 2012



Partitore di tensione

Il partitore di tensione è utile per ripartire la tensione ed è un conseguenza delle legge di ohm.



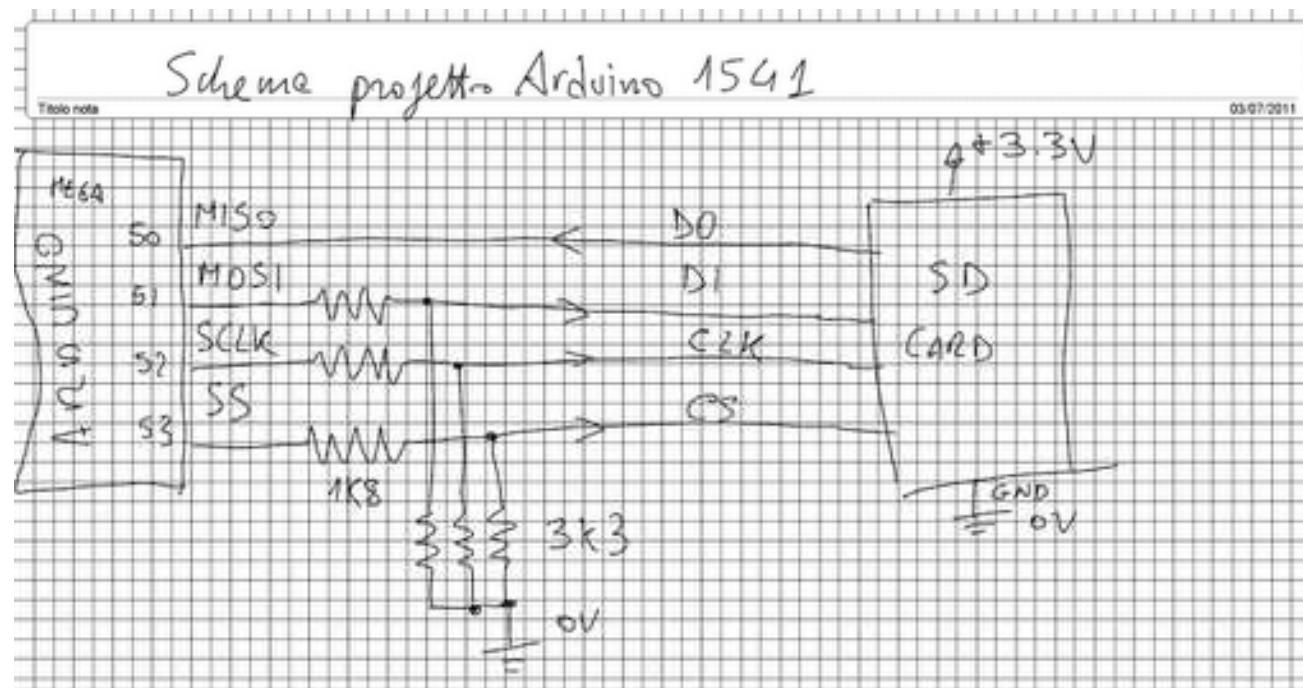
$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



Open Hardware Hacking 2012

PARTITORE DI TENSIONE

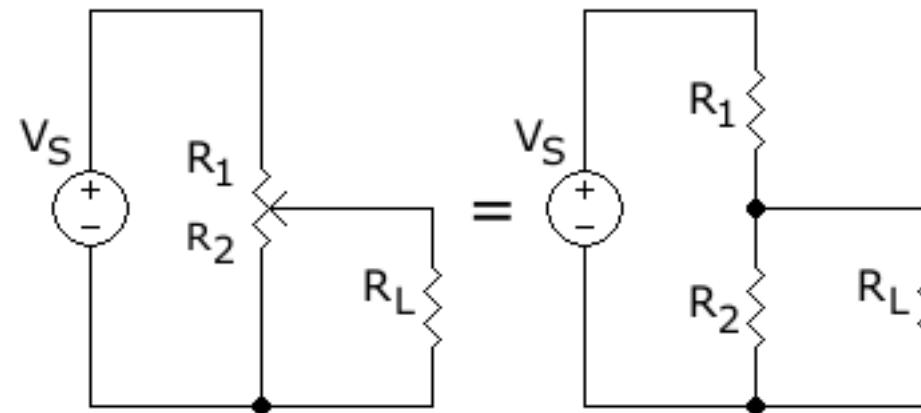
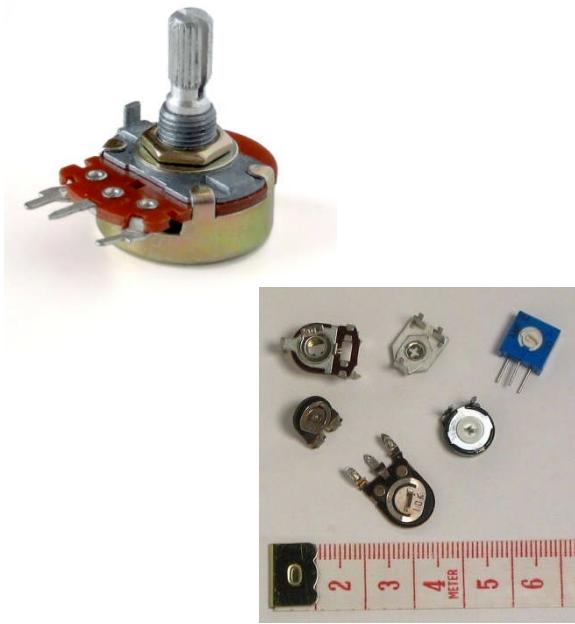
Esempio pratico.



Open Hardware Hacking 2012

POTENZIOMETRI E TRIMMER

Il potenziometro e' l'equivalente di un partitore di tensione variabile



Open Hardware Hacking 2012

Note sulla sicurezza..

Quando la corrente elettrica attraversa il corpo umano i danni conseguenti dipendono dal suo **valore** e della **durata**.

Il valore della corrente dipende dalla resistenza che il corpo umano oppone. Mediamente e' di 1500 ohm.

Si puo ritenere sicura una tensione di
24V AC / 48V DC



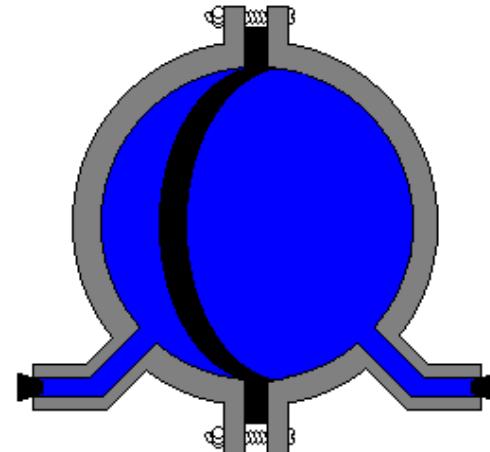
Open Hardware Hacking 2012

CONDENSATORE

I condensatori immagazzinano energia.

Nella teoria può mantenere la carica e l'energia all'infinito.

L'unità di misura è il Farad (F)



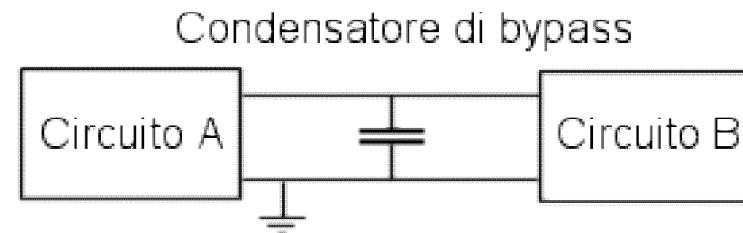
HIGHLY "WATERED" CAPACITOR
(IT CONTAINS FAR MORE WATER THAN BEFORE NO?)



Open Hardware Hacking 2012

CONDENSATORE

Una delle particolarità del condensatore è quella di lasciar passare le correnti variabili nel tempo e di bloccare quelle costanti.

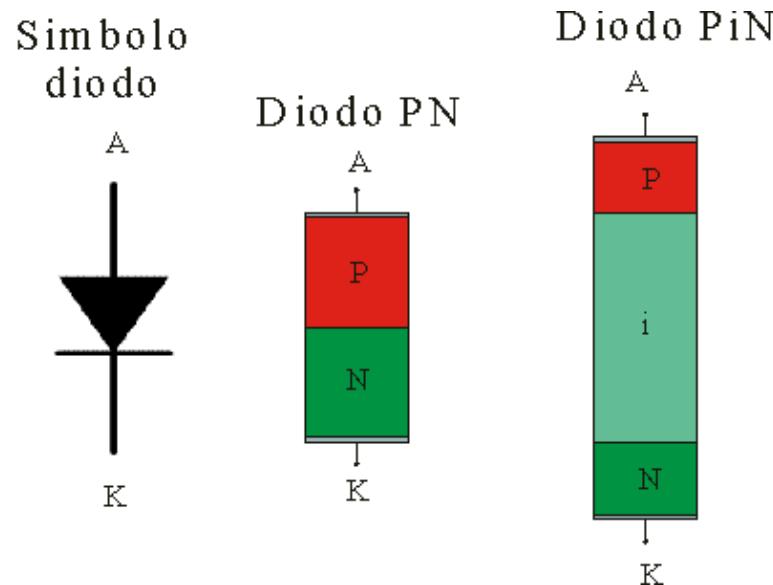


Open Hardware Hacking 2012

DIODO

Il diodo è la «valvola» elettronica.

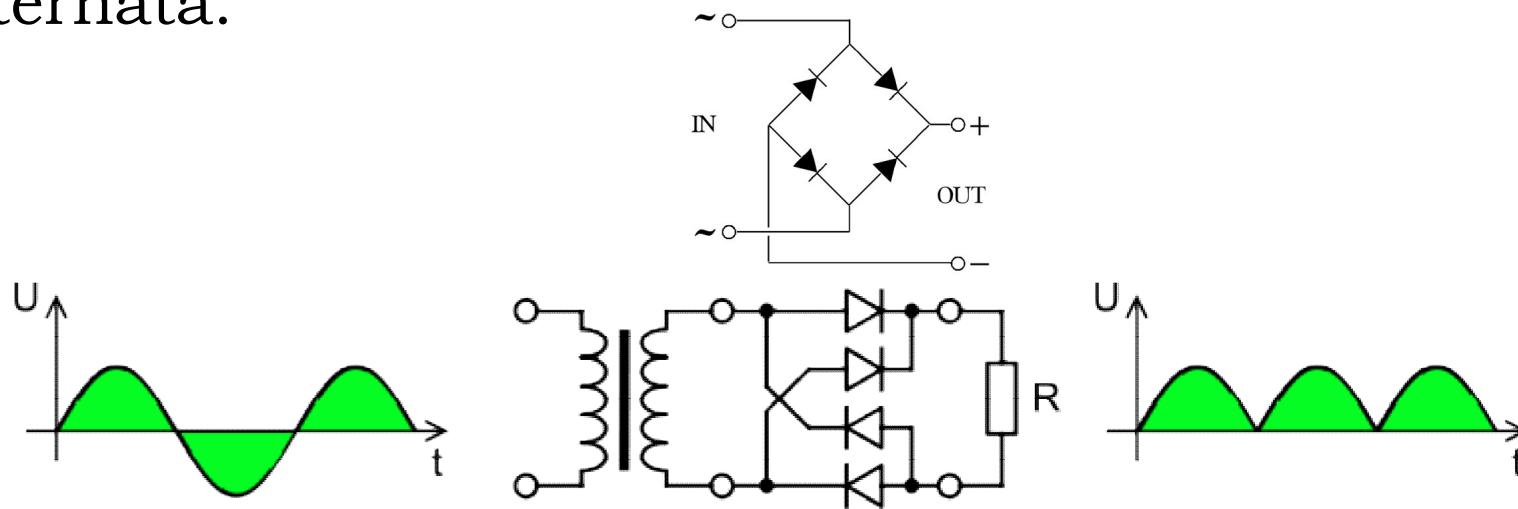
Permette il flusso di corrente elettrica in un solo verso.



Open Hardware Hacking 2012

PONTE DI GRAETZ

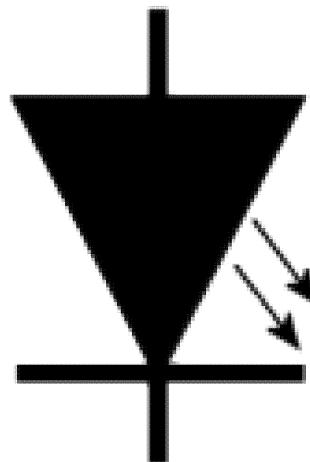
Usando quattro diodi posti in configurazione a ponte di Graetz e' possibile ottenere un segnale che e' la somma di una semionda positiva piu la semionda negativa capovolta. Questa soluzione e' molto usata negli alimentatori per rendere continua una corrente alternata.



Open Hardware Hacking 2012

DIODO LED

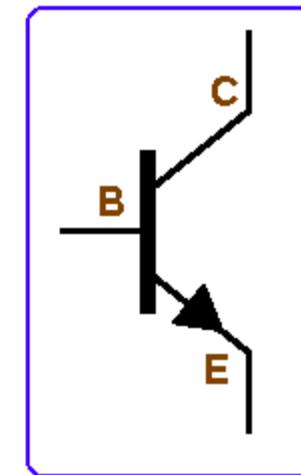
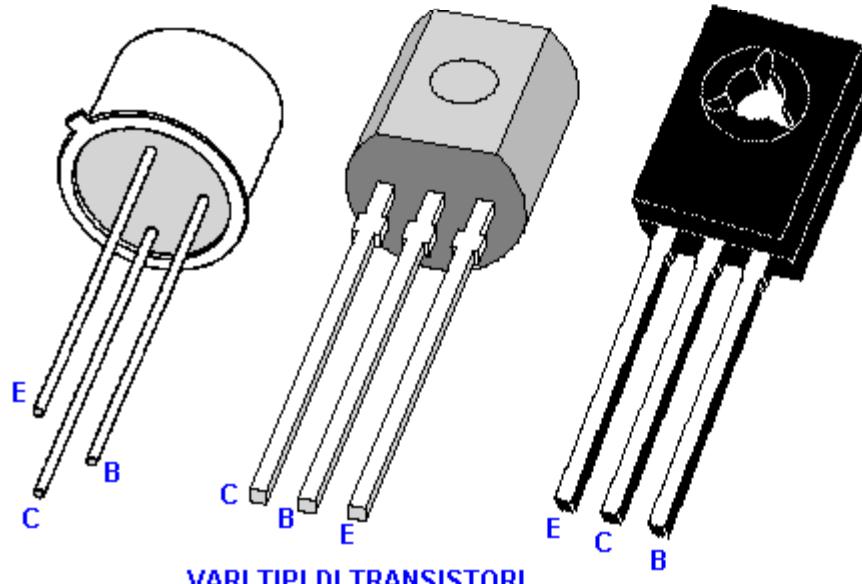
Questi diodi emettono luce visibile se polarizzati direttamente: di solito vengono usati per segnalazione su pannelli di controllo oppure come trasmettitori per telecomandi e fibre ottiche.



Open Hardware Hacking 2012

TRANSISTOR

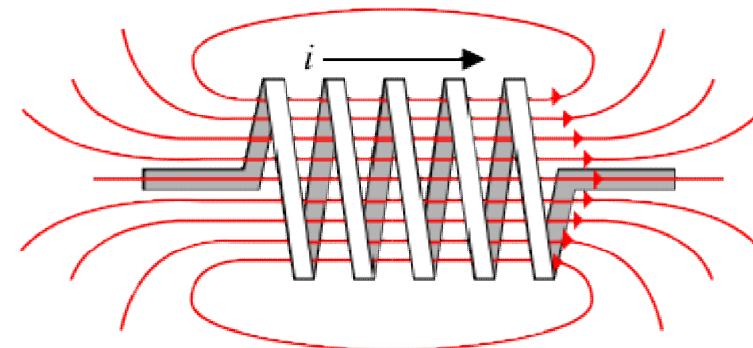
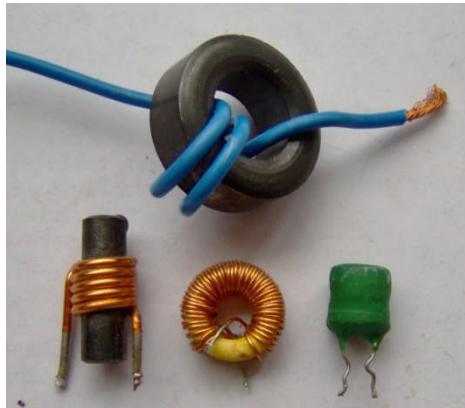
In elettronica il transistor è un dispositivo semiconduttore che può essere visto come una valvola regolabile.



Open Hardware Hacking 2012

INDUTTORE

L'induttore e' un componente elettrico che genera un campo magnetico al passaggio di corrente elettrica. La grandezza fisica si chiama induttanza e si misura in Henry (H)

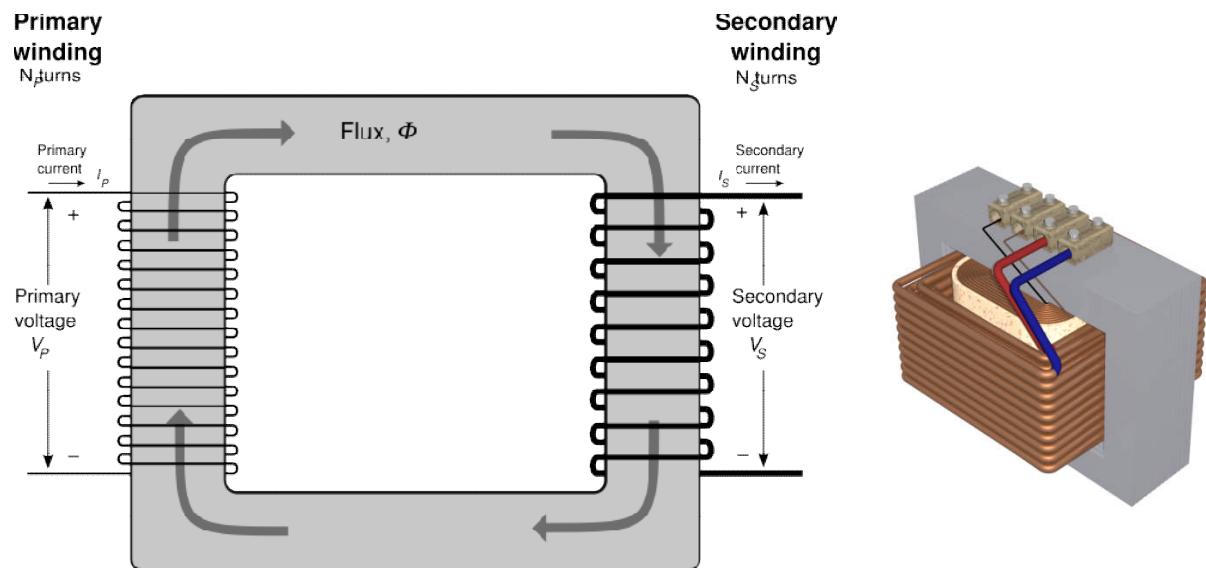


Open Hardware Hacking 2012

TRASFORMATORE

Il trasformatore e' una macchina elettrica statica che serve per variare i parametri di potenza elettrica (tensione e corrente) in ingresso rispetto a quelli in uscita, mantenendoli costanti.

$$V_p/V_s = N_p/N_s$$



Open Hardware Hacking 2012



Fig.388 Spostando la leva esterna di un INTERRUTTORE, una barretta interna provvederà a cortocircuitare o ad aprire i due terminali 1-2. In tutti gli schemi elettrici l'interruttore viene raffigurato con il simbolo grafico visibile a destra.

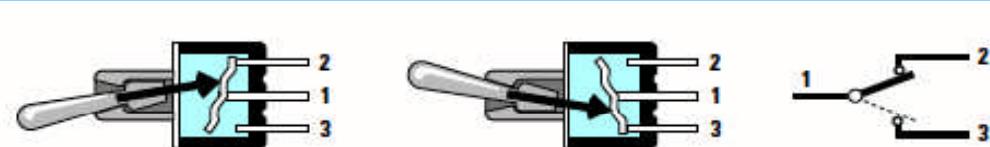
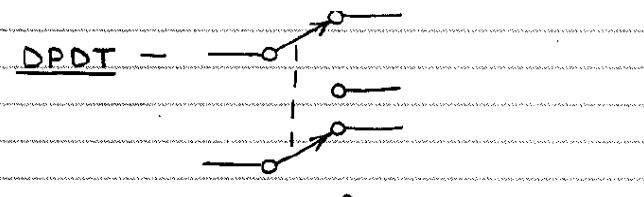


Fig.389 Spostando la leva di un DEVIATORE, una barretta interna provvederà a cortocircuitare i due terminali 1-2 e ad aprire i due terminali 1-3 o viceversa. In tutti gli schemi elettrici il deviatore viene raffigurato con il simbolo grafico visibile a destra.



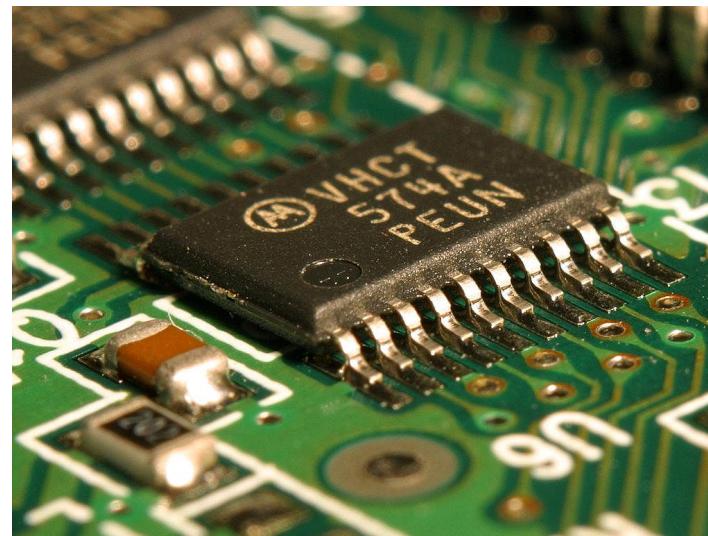
'THE DASHED LINE MEANS
BOTH SIDES MOVE TOGETHER)

SPDT - SINGLE-POLE, DOUBLE-THROW
DPST - DOUBLE-POLE, SINGLE-THROW
DPDT - DOUBLE-POLE, DOUBLE-THROW

Open Hardware Hacking 2012

CIRCUITI INTEGRATI

Il circuito integrato è un componente che contiene al suo interno più circuiti elettronici miniaturizzati. Ne esistono in commercio molti ed asservono un numero elevato di funzioni (logiche, di controllo, memoria, etc.)



Open Hardware Hacking 2012

I sensori sono in grado di convertire una grandezza fisica in una grandezza elettrica misurabile.

Una gran parte dei sensori semplici si basa sul fatto che molti materiali cambiano resistenza elettrica al cambiare di qualche fenomeno fisico.

termistori NTC dove la resistenza si riduce tra il 2% e il 6% per ogni grado di variazione della temperatura
fotoresistori che cambiano la loro resistenza in base alla luce che li colpisce
potenziometro trasforma una posizione angolare o lineare in una variazione di resistenza

Nella pratica i sensori si dividono in tre grandi famiglie: Digitali, Analogici e “Complessi”.
un pulsante è un sensore digitale perchè può essere solo premuto oppure no

Un sensore analogico, invece, produce una variazione continua in base al valore del fenomeno fisico che sta misurando

Infine per sensori complessi indico quei dispositivi che contengono una certa intelligenza e producono le loro informazioni attraverso dei flussi di dati digitali.

Per esempio un ricevitore GPS che è in grado di darci la nostra posizione geografica produce i dati



Open Hardware Hacking 2012

SENSORI

Il sensore è un trasduttore, ne esistono di svariati tipi:

- ▶ **sensori di luce:** fotocellule, fotodiоди, fototransistor, tubi fotoelettrici, CCD, CMOS, radiometri di Nichols, fotomoltiplicatori.
- ▶ **sensori di suono:** microfoni, idrofoni, altoparlanti.
- ▶ **sensori di accelerazione:** accelerometri, sensori sismici.
- ▶ **sensori di temperatura:** termometri, termocoppie, resistori sensibili alla temperatura, termistori, termometri bimetallici e termostati.
- ▶ **sensori di calore:** bolometri, calorimetri.
- ▶ **sensori di radiazione:** contatori Geiger, dosimetri.
- ▶ **sensori di particelle subatomiche:** scintillometri, camere a nebbia, camere a bolle, camere di ionizzazione.
- ▶ **sensori di resistenza elettrica:** ohmmetri, multimetri.
- ▶ **sensori di corrente elettrica:** galvanometri, amperometri.
- ▶ **sensori di tensione elettrica:** elettroscopio, voltmetri.
- ▶ **sensori di potenza elettrica:** wattmetri.



Open Hardware Hacking 2012

SENSORI

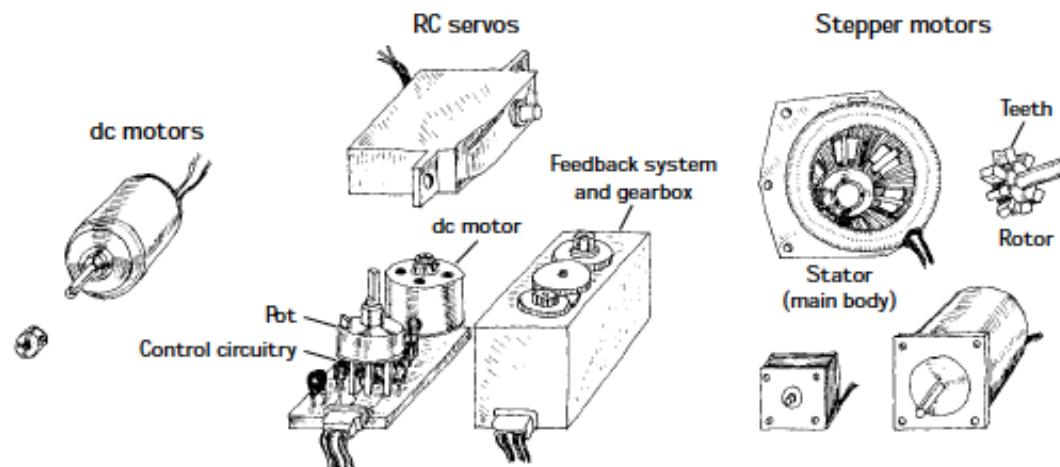
- **sensori di magnetismo:** magnetometri.
- **sensori di pressione:** barometri, barografi, misuratori di pressione, altimetri, variometri.
- **sensori di gas e flusso di liquidi:** anemometri, flussimetri, gasometri, pluviometri, indicatori di velocità dell'aria.
- **sensori di movimento:** radar, velocimetri, tachimetri, odometri.
- **sensori di orientamento:** giroscopi, orizzonte artificiale, giroscopi laser, sensori di posizione, sensore di rotazione.
- **sensori di forza:** celle di carico, estensimetri.
- **sensori di prossimità:** interruttori, prossimity ottici (un tipo di sensori di distanza che rilevano solo una prossimità specifica, sono realizzati da una combinazione di fotocellula e LED o con un laser. Trovano applicazione nei telefoni cellulari, nei rilevatori di carta delle fotocopiatrici, sistemi di spegnimento o standby automatico nei portatili e in altre apparecchiature).
- **sensori di distanza:** sensori ottici (una combinazione di fotocellula e LED o un laser. Usati principalmente nelle macchine fotografiche con autofocus, nei binocoli sofisticati e nella robotica).
- **sensori biometrici:** rilevano una caratteristica di una zona del corpo umano (conformazione della retina o i potenziali elettrici del polpastrello del dito della mano).
- **sensori chimici:** es. biosensori che si basano su organismi o componenti di organismi viventi (molti tipi di microorganismi, tessuti, ormoni, anticorpi, enzimi, ...).



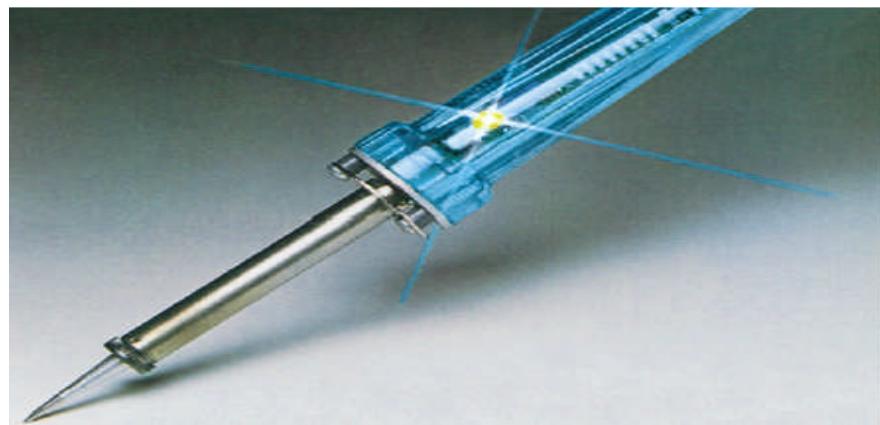
Open Hardware Hacking 2012

ATTUATORI

- ▶ Questi sono dispositivi che a partire da un segnale elettrico producono un effetto nello spazio fisico.
- ▶ Per esempio una lampadina converte un segnale elettrico in luce oppure un motore converte l'elettricità in movimento.



Open Hardware Hacking 2012



Open Hardware Hacking 2012

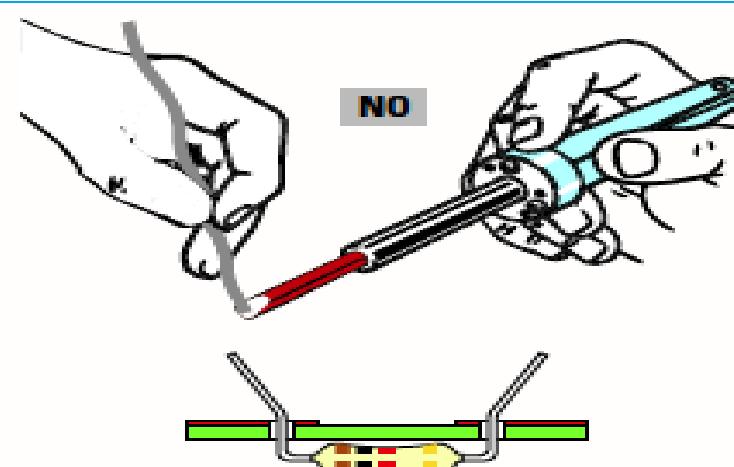


Fig.140 Per ottenere delle perfette stagnature **NON DOVETE** mai sciogliere lo stagno sulla punta del saldatore e poi depositarlo sul terminale, perché il disossidante pulirà la punta del saldatore e non il terminale sporco e ossidato del componente da stagnare.

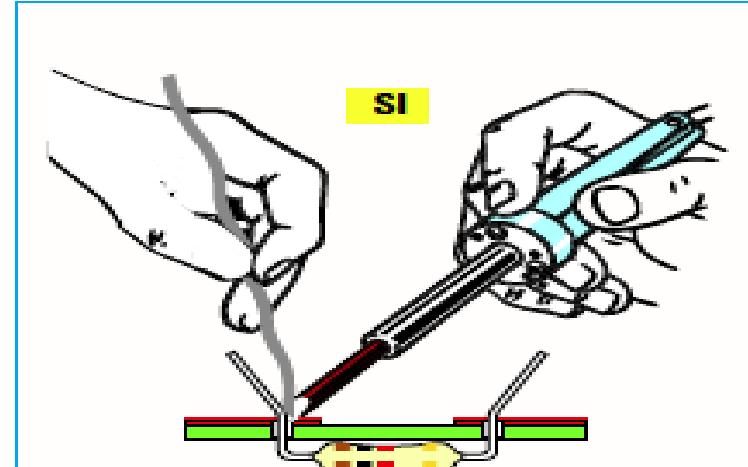
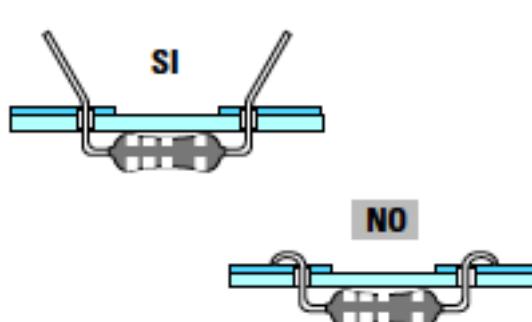
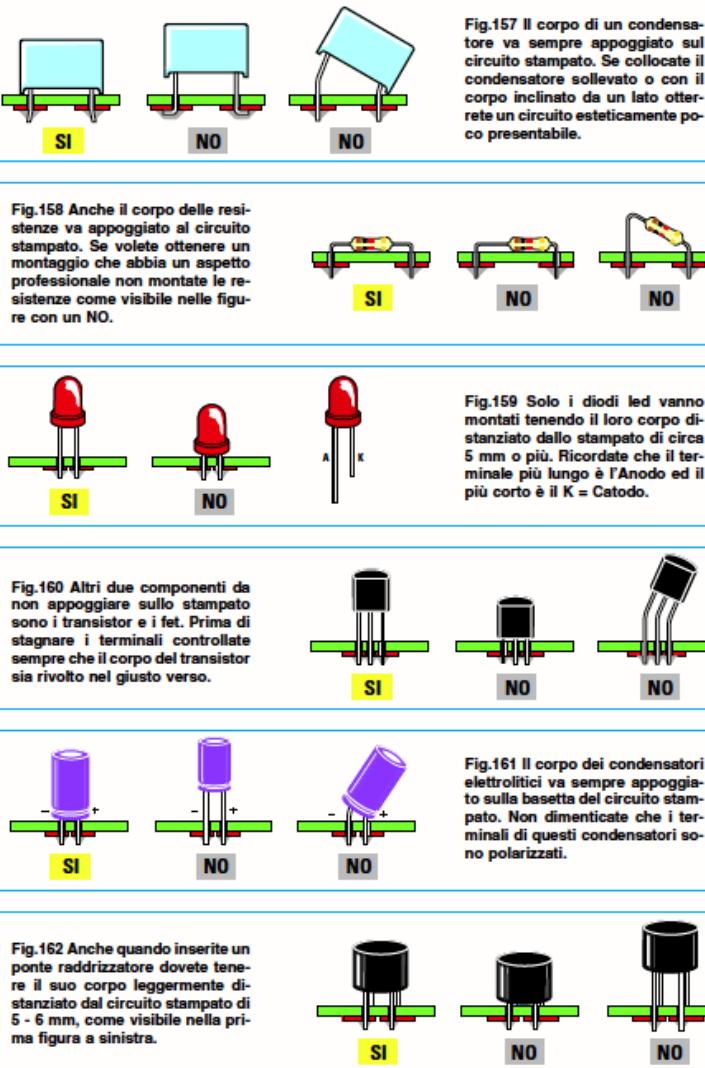


Fig.141 Le stagnature risulteranno perfette solo se appoggiate la punta PULITA sulla pista dello stampato e vicino a questa sciogliete lo stagno necessario. Il disossidante riuscirà così a bruciare gli ossidi presenti sul terminale e sullo stampato pulendoli.



Open Hardware Hacking 2012



Open Hardware Hacking 2012



Fig.379 Un buon Tester Digitale deve avere non meno di 4 cifre che in pratica corrispondono a 3 cifre e mezzo, perchè la prima cifra di sinistra non riesce mai a visualizzare un numero maggiore di 1. Scegliete possibilmente un modello che faccia apparire sui display i simboli Ω - $K\Omega$ - $M\Omega$ - μV - V - μA - mA , anche se vi costerà un po' di più.

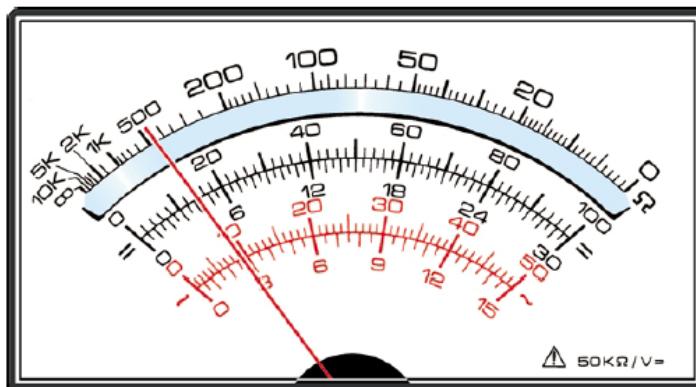
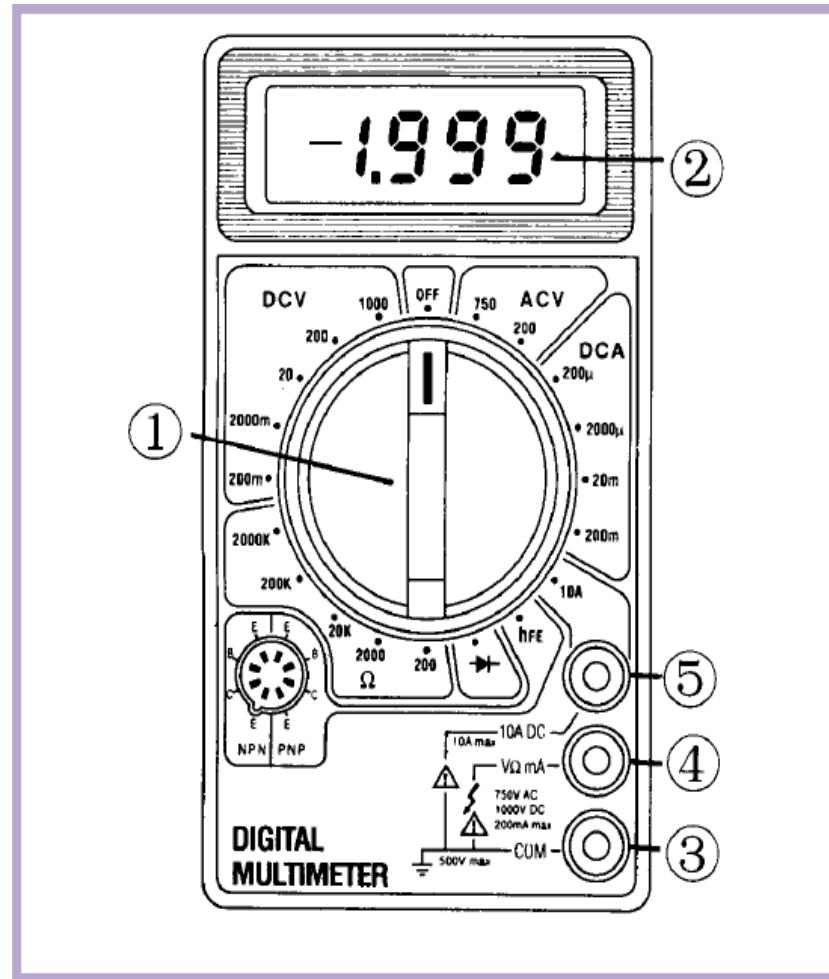


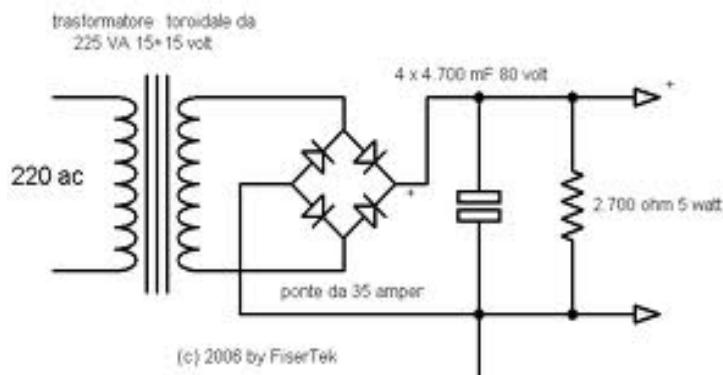
Fig.368 Nel quadrante di un Tester Analogico sono presenti una sola scala graduata per gli Ohm, che partendo da sinistra con 10 Kohm termina a destra con 0 Ohm, due scale graduate da 0 a 100 e da 0 a 30 per leggere i Volt e gli Amper in "continua" e due scale graduate da 0 a 50 e da 0 a 15 per leggere i Volt e gli Amper in "alternata".



Open Hardware Hacking 2012



Open Hardware Hacking 2012



Open Hardware Hacking 2012

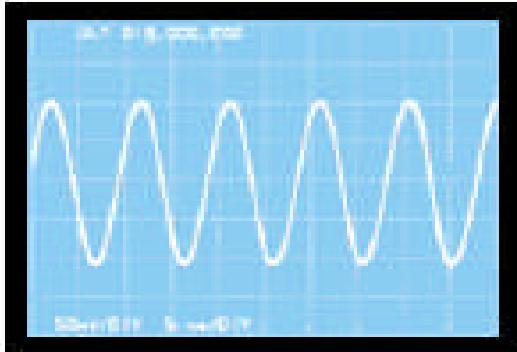
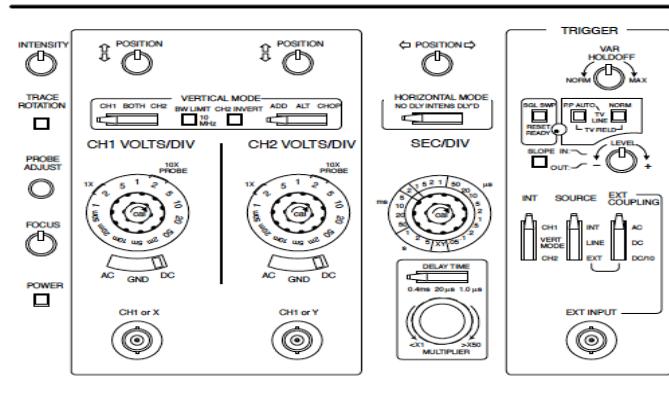
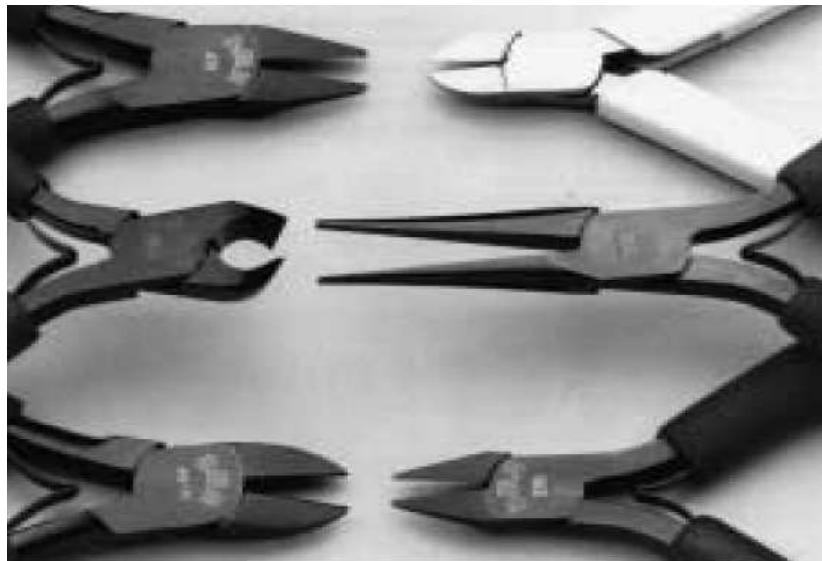


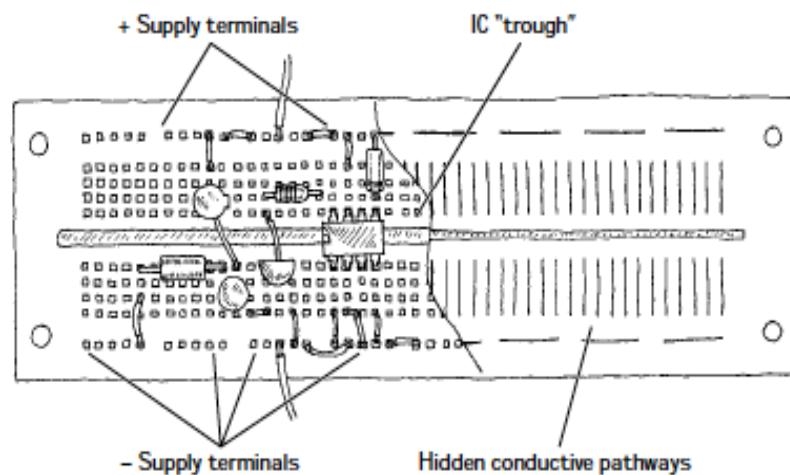
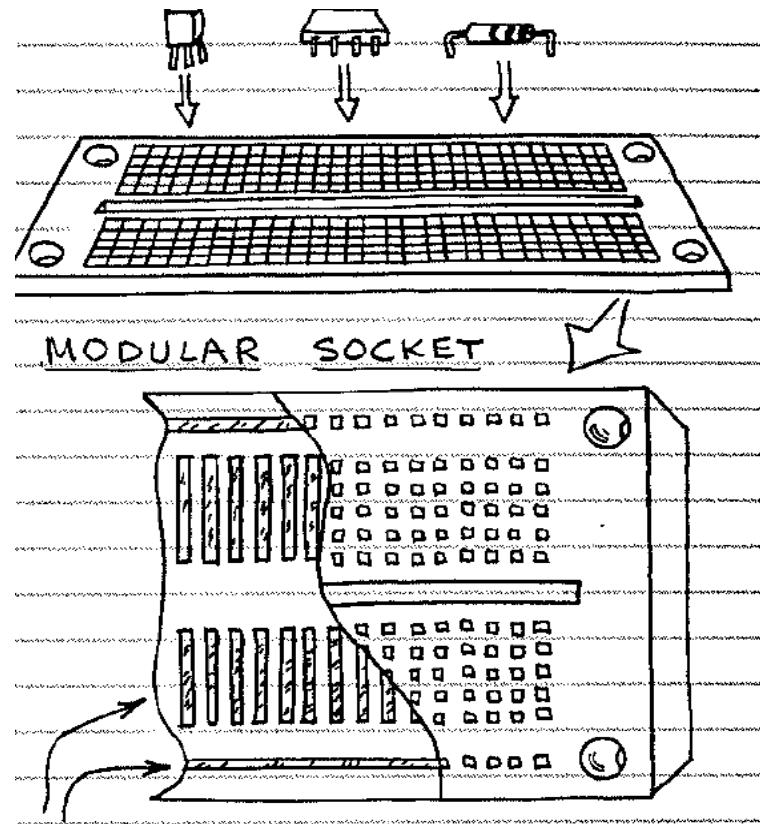
Fig.30 Possedendo uno strumento chiamato Oscilloscopio è possibile visualizzare sullo schermo il numero delle sinusoidi presenti nel tempo di 1 secondo.



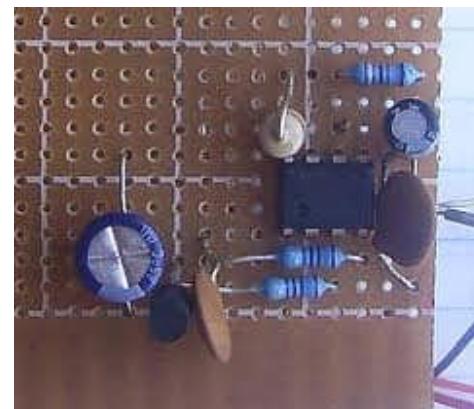
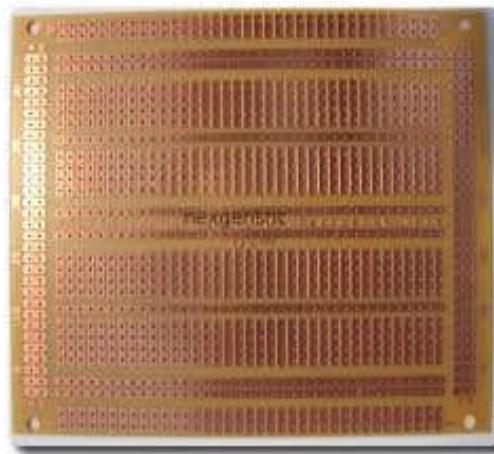
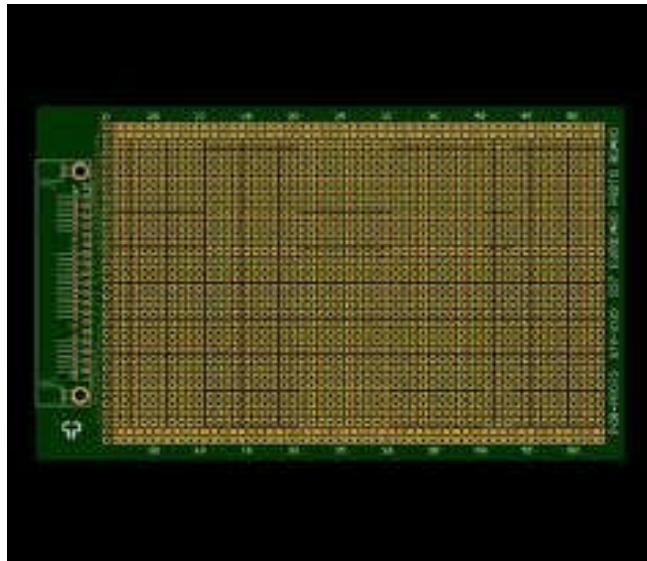
Open Hardware Hacking 2012



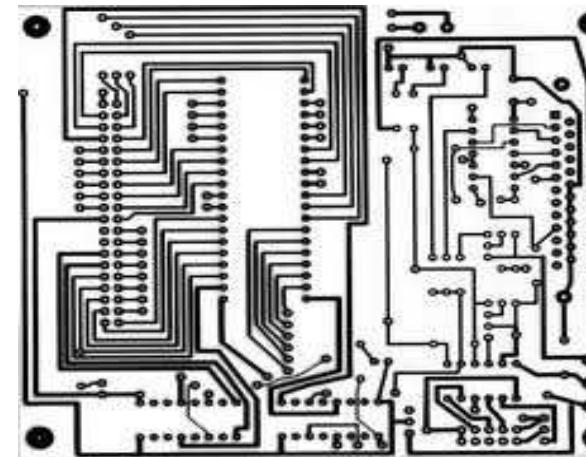
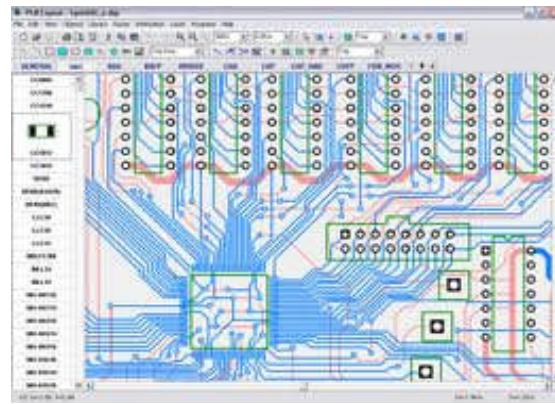
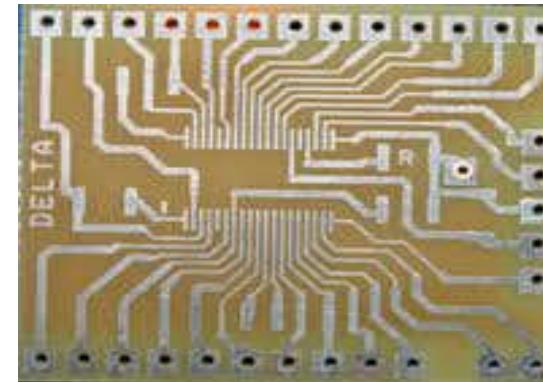
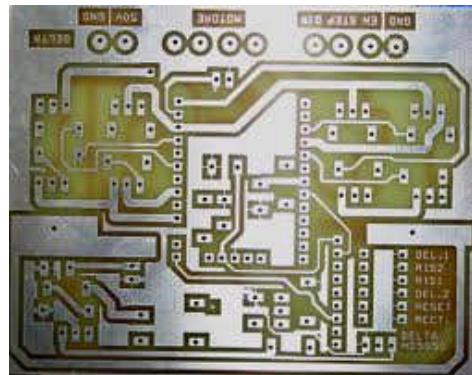
Open Hardware Hacking 2012



Open Hardware Hacking 2012



Open Hardware Hacking 2012



Open Hardware Hacking 2012

Fine 1 sessione

Thank you

A seguire tabelle



Open Hardware Hacking 2012

SIMBOLO	SIGLA	DESCRIZIONE	COME SI PRESENTA
	R	RESISTENZA	
	R	TRIMMER	
	R	POTENZIOMETRO	
	FR	FOTORESISTENZA	
	C	CONDENSATORE CERAMICO e POLIEST.	
	C	COMPENSATORE	
	C	CONDENSATORE ELETROLITICO	
	DS	DIODO AL SILICIO	
	DZ	DIODO ZENER	
	DV	DIODO VARICAP	
	DL	DIODO LED	
	FD	FOTODIODO TRASMITTENTE	
	TR	TRANSISTOR	
	FT	FET	

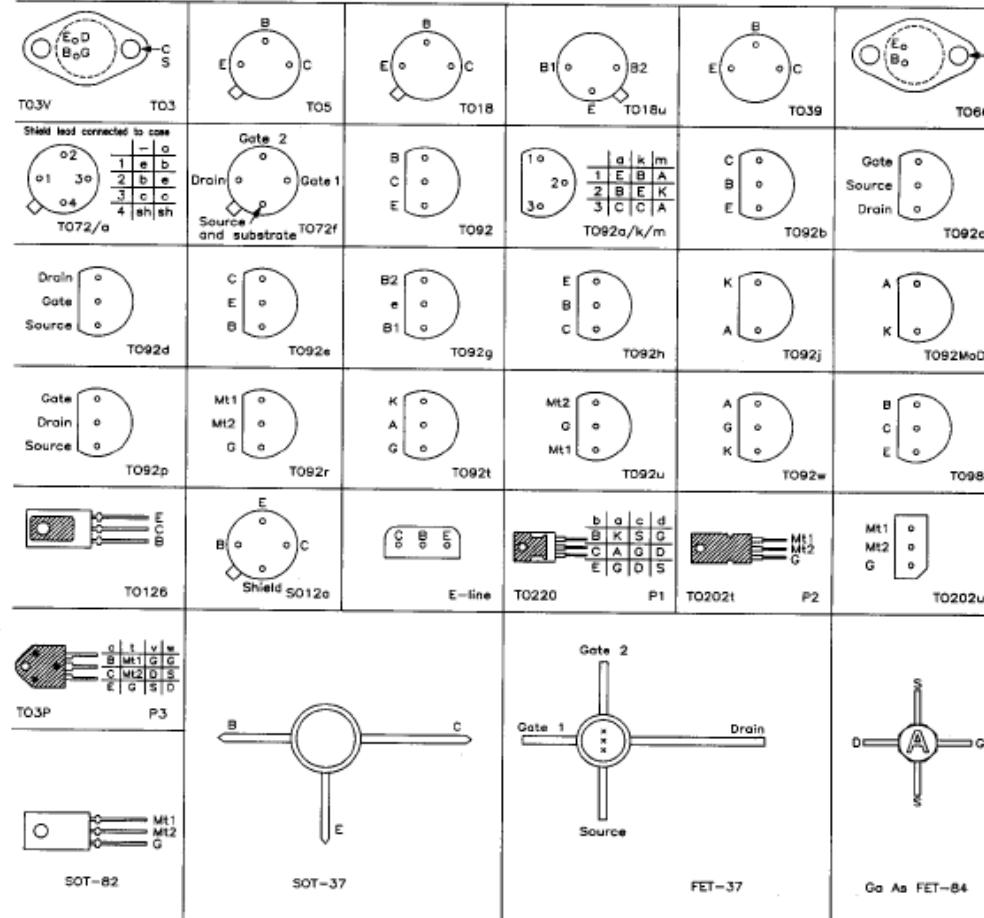
SIMBOLO	SIGLA	DESCRIZIONE	COME SI PRESENTA
	SCR	DIOODO SCR	
	TRC	DIOODO TRIAC	
	DISPLAY	DISPLAY	
	F	FUSIBILE	
	S	INTERRUTTORE	
	S	DEVIATORE	
	P	PULSANTE	
	S	DOPPIO INTERRUTTORE	
	S	DOPPIO DEVIATORE	
	S	COMMUTATORE ROTATIVO	
	RS	PONTE RADDIZZATORE	
	T	TRASFORMATORE	

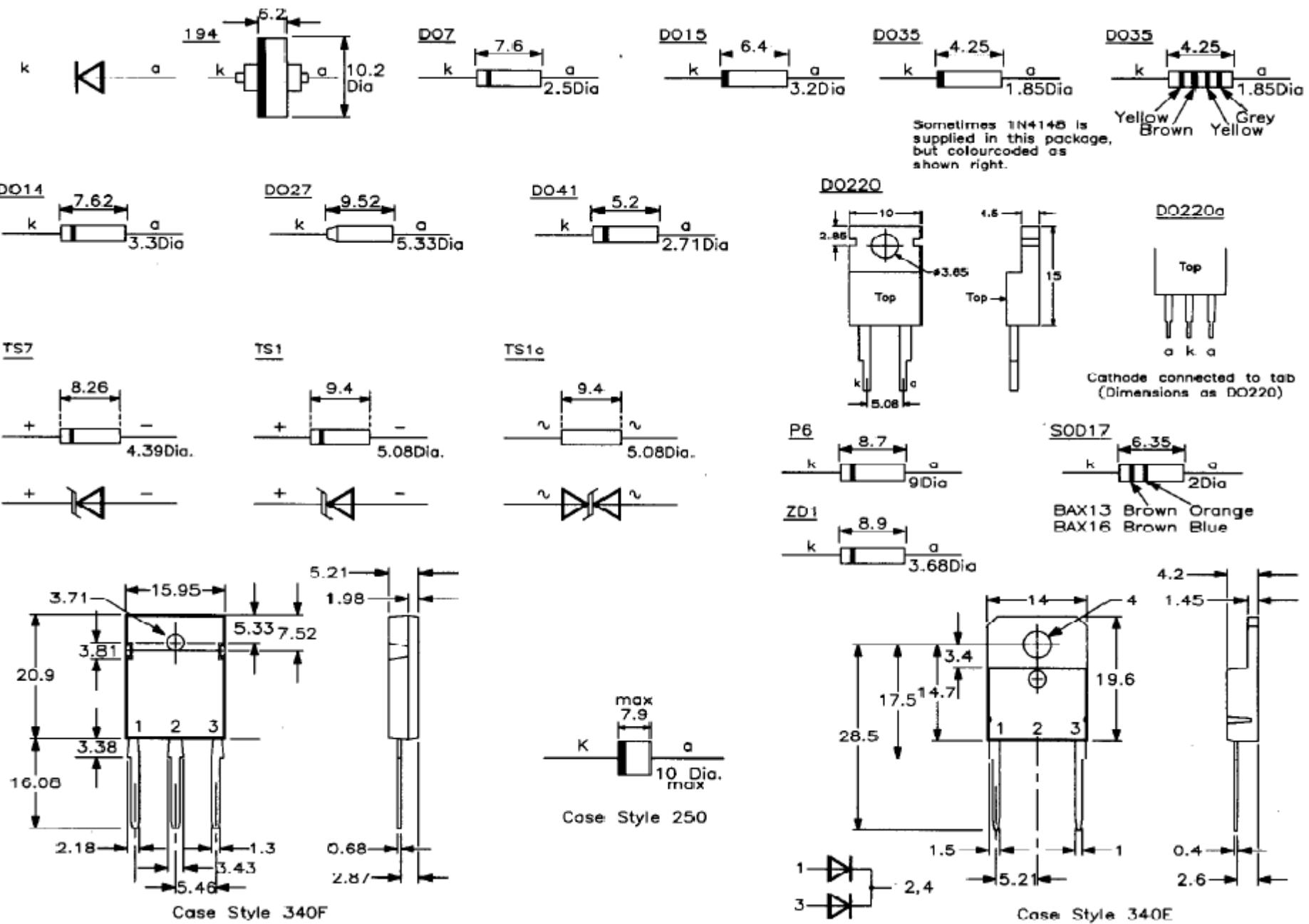
SIMBOLO	SIGLA	DESCRIZIONE	COME SI PRESENTA
	RL	RELE' 1 SCAMBIO	
	RL	RELE' 2 SCAMBI	
	L	BOBINA	
	JAF	IMPEDENZA	
	MF	MEDIA FREQUENZA	
	XTAL	QUARZO	
	FC	FILTO CERAMICO	
	Batt.	BATTERIA	
	L	LAMPADA A FILAMENTO	
	LN	LAMPADA AL NEON	
	MIC	MICROFONO	
	CP	CICALINA PIEZOELETTRICA	
	CUF.	CUFFIE	
	AP	ALTOPARLANTE	



Open Hardware Hacking 2012

Principali tipi di transistor e relativi contenitori





Open Hardware Hacking 2012

	1° CIFRA	2° CIFRA	MOLTIPLICAT.	TOLLERANZA	
NERO	---	0	x 1	10 %	ARGENTO
MARRONE	1	1	x 10	5 %	ORO
ROSSO	2	2	x 100		
ARANCIONE	3	3	x 1.000		
GIALLO	4	4	x 10.000		
VERDE	5	5	x 100.000		
AZZURRO	6	6	x 1.000.000		
VIOLA	7	7	ORO : 10		
GRIGIO	8	8			
BIANCO	9	9			

Fig.45 Le 4 fasce colorate che appaiono sul corpo delle resistenze servono per ricavare il loro valore ohmico. Nella Tabella sottostante riportiamo i valori Standard.

VALORI STANDARD delle RESISTENZE

In commercio non trovate qualsiasi valore ohmico, ma solo i valori standard riportati in questa Tabella.

TABELLA N.6

1,0 ohm	10 ohm	100 ohm	1.000 ohm	10.000 ohm	100.000 ohm	1.0 megaohm
1,2 ohm	12 ohm	120 ohm	1.200 ohm	12.000 ohm	120.000 ohm	1,2 megaohm
1,5 ohm	15 ohm	150 ohm	1.500 ohm	15.000 ohm	150.000 ohm	1,5 megaohm
1,8 ohm	18 ohm	180 ohm	1.800 ohm	18.000 ohm	180.000 ohm	1,8 megaohm
2,2 ohm	22 ohm	220 ohm	2.200 ohm	22.000 ohm	220.000 ohm	2,2 megaohm
2,7 ohm	27 ohm	270 ohm	2.700 ohm	27.000 ohm	270.000 ohm	2,7 megaohm
3,3 ohm	33 ohm	330 ohm	3.300 ohm	33.000 ohm	330.000 ohm	3,3 megaohm
3,9 ohm	39 ohm	390 ohm	3.900 ohm	39.000 ohm	390.000 ohm	3,9 megaohm
4,7 ohm	47 ohm	470 ohm	4.700 ohm	47.000 ohm	470.000 ohm	4,7 megaohm
5,6 ohm	56 ohm	560 ohm	5.600 ohm	56.000 ohm	560.000 ohm	5,6 megaohm
6,8 ohm	68 ohm	680 ohm	6.800 ohm	68.000 ohm	680.000 ohm	6,8 megaohm
8,2 ohm	82 ohm	820 ohm	8.200 ohm	82.000 ohm	820.000 ohm	8,2 megaohm

Open Hardware Hacking 2012

TABELLA n.11 condensatori CERAMICI

1 pF	1	1p0	10 pF	10	100 pF	101	n10
1.2 pF	1.2	1p2	12 pF	12	120 pF	121	n12
1.5 pF	1.5	1p5	15 pF	15	150 pF	151	n15
1.8 pF	1.8	1p8	18 pF	18	180 pF	181	n18
2.2 pF	2.2	2p2	22 pF	22	220 pF	221	n22
2.7 pF	2.7	2p7	27 pF	27	270 pF	271	n27
3.3 pF	3.3	3p3	33 pF	33	330 pF	331	n33
3.9 pF	3.9	3p9	39 pF	39	390 pF	391	n39
4.7 pF	4.7	4p7	47 pF	47	470 pF	471	n47
5.6 pF	5.6	5p6	56 pF	56	560 pF	561	n56
6.8 pF	6.8	6p8	68 pF	68	680 pF	681	n68
8.2 pF	8.2	8p2	82 pF	82	820 pF	821	n82

Fig.83 Sui corpi dei condensatori Ceramicci le capacità possono essere espresse in "picofarad" o "nanofarad". Poiché non tutti sanno decifrare i numeri stampigliati sui loro corpi, abbiamo riportato a fianco il rispettivo valore espresso in "picofarad".

TABELLA n.12 condensatori POLIESTERI

1.000 pF	102	1n	.001	10.000 pF	103	10n	.01
1.200 pF	122	1n2	.0012	12.000 pF	123	12n	.012
1.500 pF	152	1n5	.0015	15.000 pF	153	15n	.015
1.800 pF	182	1n8	.0018	18.000 pF	183	18n	.018
2.200 pF	222	2n2	.0022	22.000 pF	223	22n	.022
2.700 pF	272	2n7	.0027	27.000 pF	273	27n	.027
3.300 pF	332	3n3	.0033	33.000 pF	333	33n	.033
3.900 pF	392	3n9	.0039	39.000 pF	393	39n	.039
4.700 pF	472	4n7	.0047	47.000 pF	473	47n	.047
5.600 pF	562	5n6	.0056	56.000 pF	563	56n	.056
6.800 pF	682	6n8	.0068	68.000 pF	683	68n	.068
8.200 pF	822	8n2	.0082	82.000 pF	823	82n	.082

Fig.84 Sui corpi dei condensatori Poliesteri le capacità possono essere espresse in "picofarad", "nanofarad" o "microfarad". Per decifrare i numeri e le sigle stampigliate sui loro corpi abbiamo riportato a fianco il rispettivo valore espresso in "picofarad".

Open Hardware Hacking 2012

100.000 pF	104	100n	•1
120.000 pF	124	120n	•12
150.000 pF	154	150n	•15
180.000 pF	184	180n	•18
220.000 pF	224	220n	•22
270.000 pF	274	270n	•27
330.000 pF	334	330n	•33
390.000 pF	394	390n	•39
470.000 pF	474	470n	•47
560.000 pF	564	560n	•56
680.000 pF	684	680n	•68
820.000 pF	824	820n	•82

Le sigle M - K - J riportate dopo il valore della capacità indicano la "toleranza":
M = 20% K = 10% J = 5%.



TABLE 3.7 Characteristics of Various Capacitors

Type	Capacitance Range	Maximum Voltage	Maximum Operating Temperature (°C)	Tolerance (%)	Insulation Resistance (MΩ)	Comments
Electrolytics						
Aluminum	1 μF–1 F	3–600 V	85	+100 to –20	<1	Popular, large capacitance,
Tantalum	0.001–1000 μF	6–1000 V	125	±5 to 20	>1	awful leakage, horrible tolerances
Ceramic	10 pF–1 μF	50–1000 V	125	±5 to 100	1000	Popular, small, inexpensive, poor tolerances.
Mica	1 pF–0.1 μF	100–600 V	150	±0.25 to ±5	100,000	Excellent performance; used in high-frequency applications
Mylar	0.001–10 μF	50–600 V		Good	Good	Popular, good performance, inexpensive
Paper	500 pF–50 μF	100,000 V	125	±10 to ±20	100	—
Polystyrene	10 pF–10 μF	100–600 V	85	±0.5	10,000	High quality, very accurate; used in signal filters
Polycarbonate	100 pF–10 μF	50–400 V	140	±1	10,000	High quality, very accurate
Polyester	500 pF–10 μF	600 V	125	±10	10,000	—
Glass	10–1000 pF	100–600 V	125	±1 to ±20	100,000	Long-term stability
Oil	0.1–20 μF	200 V–10 kV			Good	Large, high-voltage filters, long life

