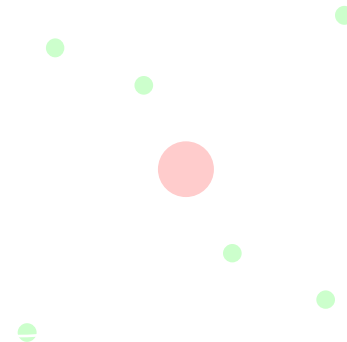

Elettronica Analogica



Materiali e componenti per l'elettronica

1- GENERALITA'

Resistività

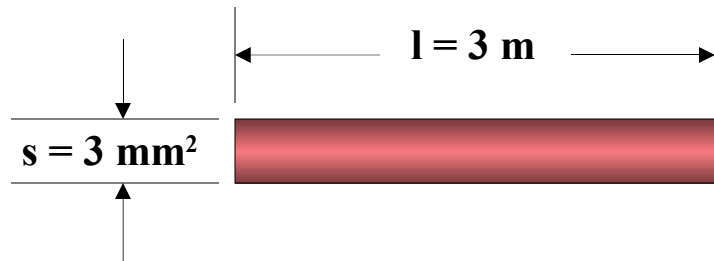
Conduttori:	Rame, ferro, alluminio
Semiconduttori:	Germanio, silicio, boro
Isolanti:	Vetro, plastica, polistirolo

$$\rho = 10^{-8} \Omega \text{ m}$$

$$\rho = \text{da } 10^{-3} \text{ a } 10^2 \Omega \text{ m}$$

$$\rho = 10^{+15} \Omega \text{ m}$$

Resistenza di un filo di lunghezza 3 m e sezione 3 mm²



conduttore

semiconduttore

isolante

$$0,01 \Omega$$

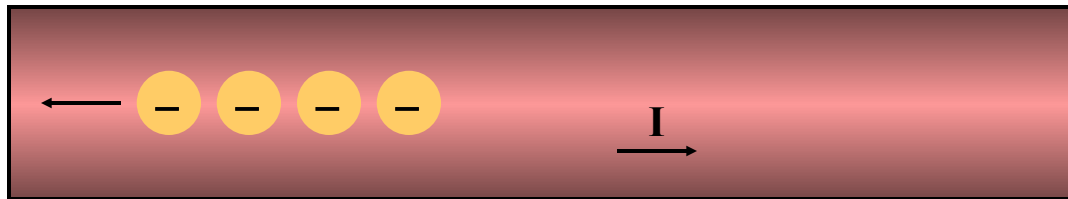
$$\text{da } 1 \text{ K}\Omega \text{ a } 100 \text{ M}\Omega$$

$$10^{13} \Omega$$



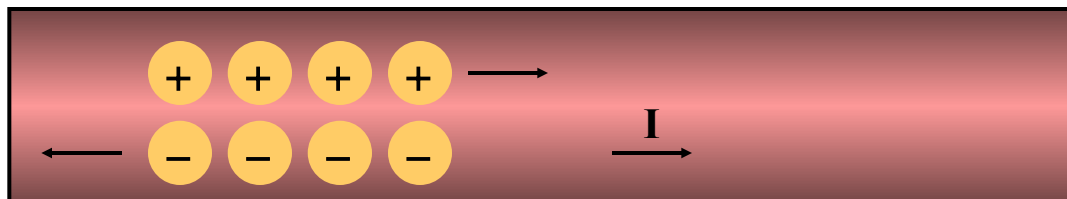
Materiali e componenti per l'elettronica

CONDUTTORE (rame)



Nei conduttori la corrente è data dal movimento di *elettroni* (unipolari).

SEMICONDUCTORE (silicio)



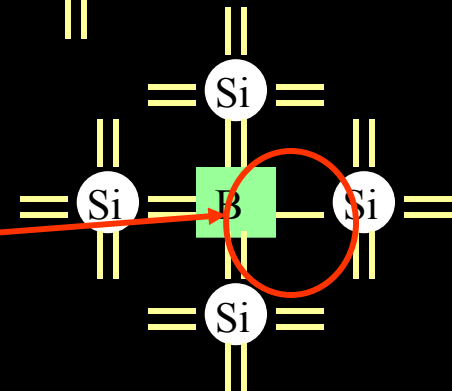
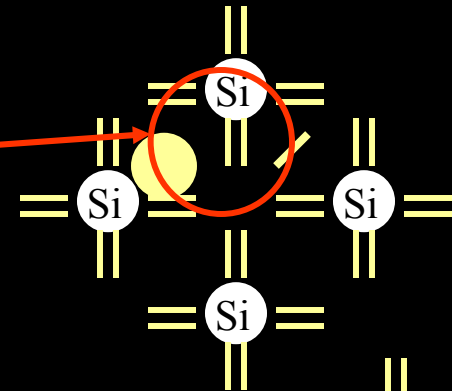
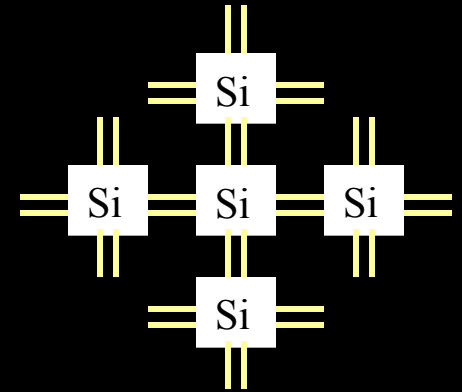
Nei semiconduttori si muovono *lacune*(+) ed *elettroni*(-) (bipolari).

Materiali e componenti per

Il semiconduttore può essere *puro* (solo Si e Ge) o *drogato* (1 parte per milione di drogante).

Semiconduttori tipo N--> drogati con donatori (di elettroni) sono gli elementi *pentavalenti* : arsenico (As), fosforo (P), antimonio (Sb).

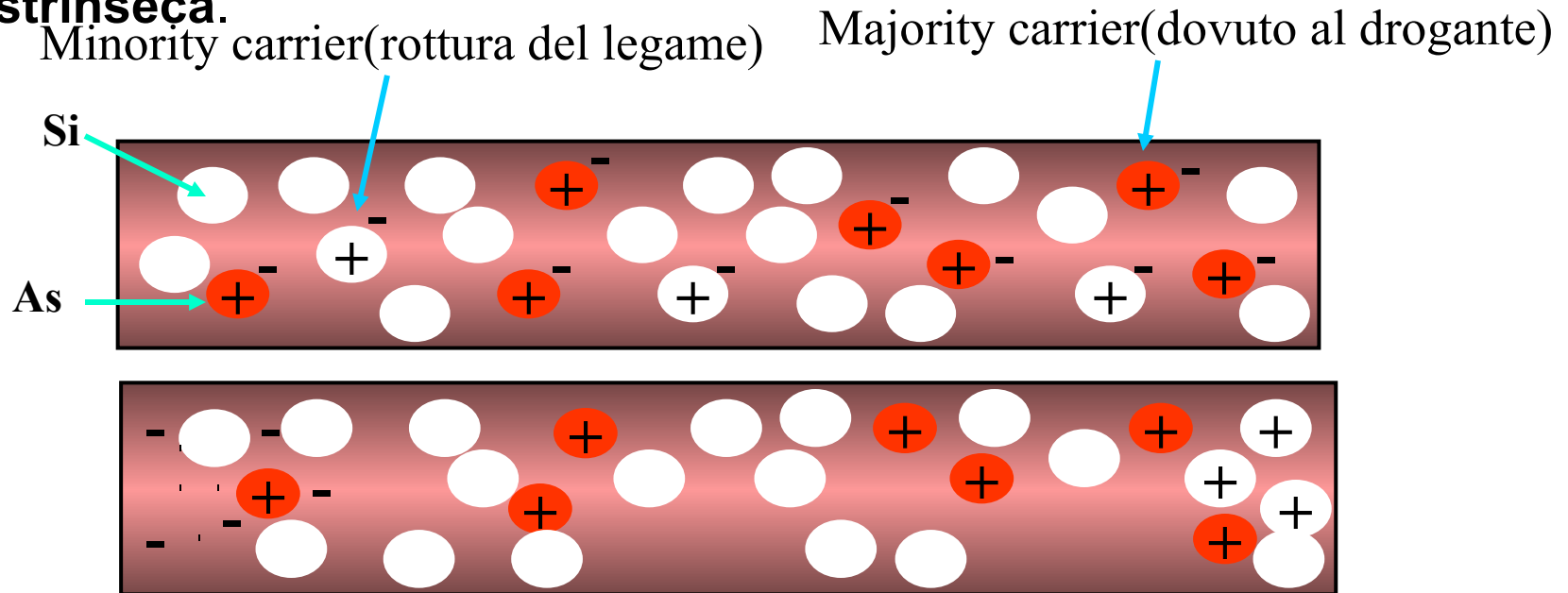
Semiconduttori tipo P--> drogati con accettori (di elettroni) sono gli elementi *trivalenti* : indio (In), gallio (Ga), boro (B).





Materiali e componenti per l'elettronica

La conduzione può avvenire per effetto di *spostamento di coppie elettroni-lacune del materiale puro* (**minority carrier**) dando luogo alla conduzione **intrinseca**, o a causa del *drogante* (**majority carrier**), conduzione **estrinseca**.





Materiali e componenti per l'elettronica

- I componenti usati in elettronica si possono suddividere in
 - componenti passivi lineari: resistenze, induttanze, condensatori
 - componenti passivi non lineari: diodi;
 - componenti attivi: transistor bipolari, FET, MOSFET.



Materiali e componenti per l'elettronica

- Un circuito può utilizzare componenti singoli, opportunamente collegati su apposita basetta (realizzazione con **componenti discreti**) o componenti **integrati** in un unico chip. Un chip può essere del tipo
 - 1960- Short Scale Integration (SSI), ($< 10^2$)
 - 1966- Medium Scale Integration (MSI), ($10^2 - 10^3$)
 - 1969- Large Scale Integration (LSI), ($10^3 - 10^4$)
 - 1975- Very Large Scale Integration (VLSI), ($10^4 - 10^9$)
 - 1990- Ultra Large Scale Integration (ULSI), ($> 10^9$)oppure realizzato con soluzioni ibride (componenti discreti e integrati montati sulla stessa scheda).
- Il sistema dovrà ovviamente essere fornito di energia elettrica, o mediante pile o per mezzo di un alimentatore.

Materiali e componenti per l'elettronica

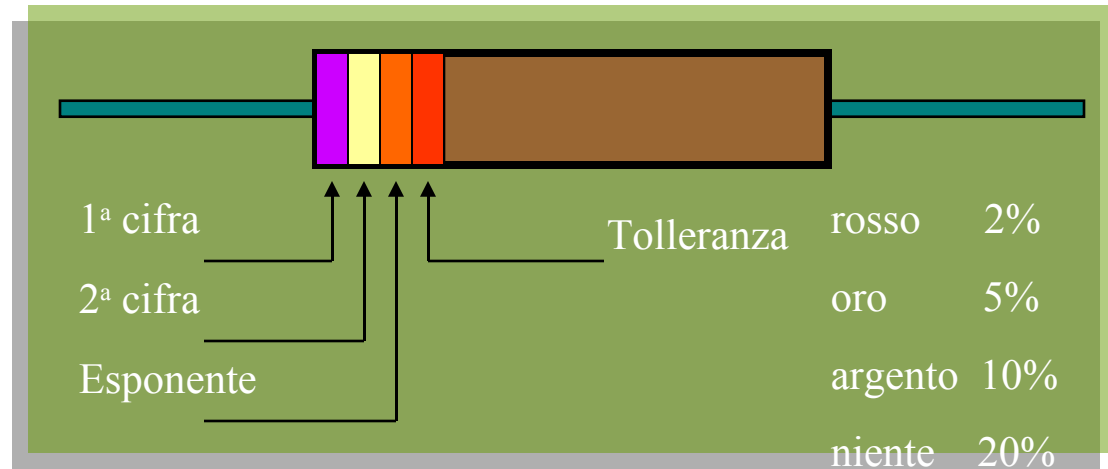
2- LE RESISTENZE

Materiali	Tolleranza	Range	Potenza	Stabilità termica	Rumore elettrico
Miscela di carbone	vari tipi 3% 5% 10% 20%	1Ω - 30 MΩ	1/8W - 2W	0.1% C alta	alto
Filo metallico	<1% fino a 5 p.p.m.	1Ω - 100 MΩ	1/4W - 1W	1 p.p.m. C	basso
Film metallico		1Ω - 100 KΩ	fino a 200 W		bassissimo
Semiconduttore				Altissima NTC -PTC	

Materiali e componenti per l'elettronica

- Il valore della resistenza è scritto in cifre o numero di codice per le resistenze a filo metallico o semiconduttore, mentre per quelle di carbone o a film esiste il seguente codice colori:

0 nero	5 verde
1 marrone	6 blu
2 rosso	7 viola
3 arancio	8 grigio
4 giallo	9 bianco



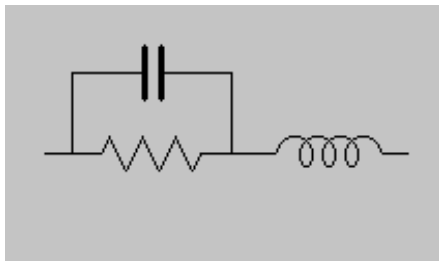
- Nell'esempio in figura il valore della resistenza è di **$74 \cdot 10^3 \Omega$** con una tolleranza del **2%**
- Valori standard **10 12 15 16 18 20 22 24 27 30 33 36 39 43 47 51 56 62 68 75 82 91**

Materiali e componenti per l'elettronica

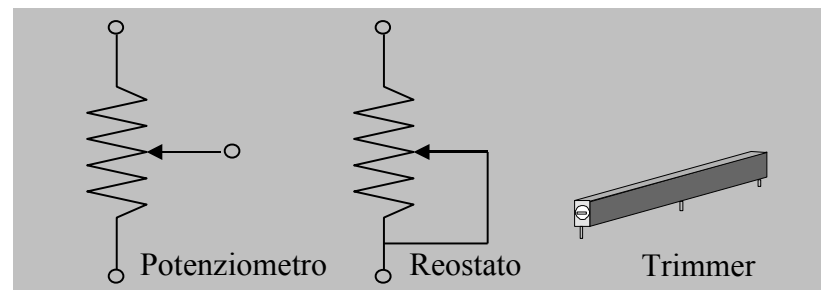
Per resistenze di piccolo valore si usa la lettera R come separatore del punto decimale. Esempio:

$$10R0 = 10\Omega \quad R10 = 0.1\Omega$$

Ogni resistenza ha come circuito equivalente una capacità parassita in parallelo ed una induttanza in serie (che si può trascurare), per cui la sua impedenza è $Z = R/(1+j\omega RC)$. Il fattore di merito è il rapporto fra la parte reale e quella immaginaria: $Q = \omega RC$.



Molto usati sono i reostati (resistenze variabili) e i potenziometri o trimmer





Materiali e componenti per l'elettronica

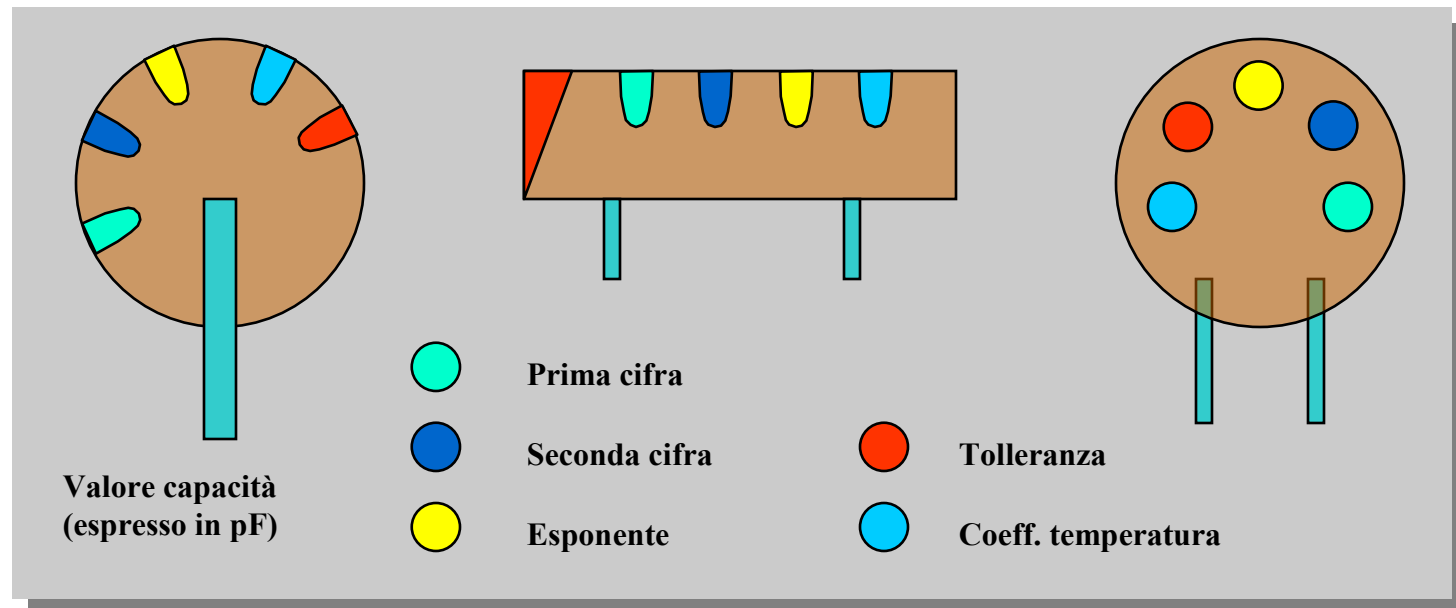
3- I CONDENSATORI

I condensatori si trovano in molteplici forme e tipi, che possono essere divisi in quattro categorie in base al dielettrico posto fra le armature:

Materiale	Note	Stabilità termica	Uso
Ceramico	Piccoli valori di capacità	Scarsa	Discreto alta frequenza
Mica	Piccoli valori di capacità	Buona	Buonissimo alta frequenza
A film plastico: 5 categorie	Mylar (alte tensioni) Polistirene (basse tensioni) Policarbonato Polipropilene Teflon (alto isolamento)	Mediocre	Buono alta frequenza
Elettrolitici	Alta capacità Alta corrente di perdita		Alcuni vanno polarizzati

Materiali e componenti per l'elettronica

- Per i condensatori a mica o ceramici vale il codice colori indicato in figura, che associa a ciascun colore lo stesso valore usato per le resistenze. Per l'esponente, oltre ai valori da zero a 4, corrispondenti ai colori nero - giallo, possono essere usati valori negativi: **-1 (oro o bianco)** **-2 (argento o grigio)**



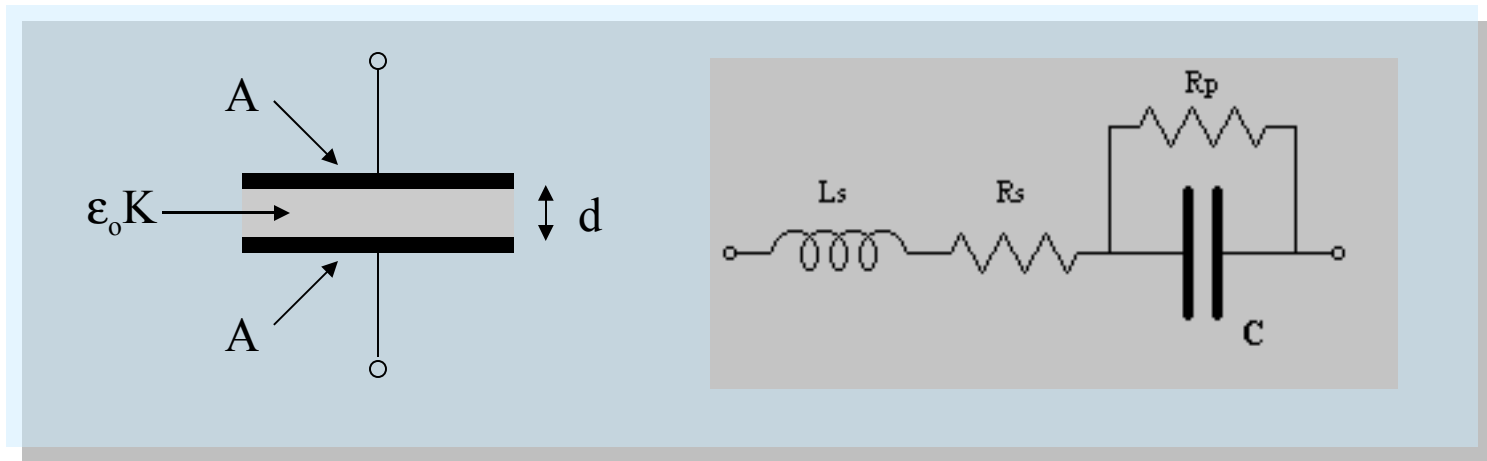


Materiali e componenti per l'elettronica

- Oltre al valore della capacità, i parametri più importanti dei condensatori sono:
 - la **tensione massima** che possono sopportare;
 - la **stabilità termica**;
 - il **fattore di dissipazione** (in corrente alternata);
 - la **resistenza** (o corrente) **di perdita** quando è sottoposto a tensione continua.

Materiali e componenti per l'elettronica

- La figura illustra il circuito equivalente di un condensatore



- Mentre R_s e L_s sono di solito trascurabili, non lo è R_p , per cui il valore dell'impedenza reale è **$Z = R_p / (1 + j\omega R_p C)$** .
- Il fattore di dissipazione DF è definito come il rapporto fra l'energia dissipata (W/f) e quella immagazzinata in un ciclo ($CV^2/2$), per cui **$DF = (W/f) / (CV^2/2)$** .



Materiali e componenti per l'elettronica

4- LE INDUTTANZE

- Sono di solito piccoli solenoidi avvolti in aria o su nuclei di ferrite.
- Presentano una resistenza parassita in serie e una capacità (spesso trascurabile) in parallelo, per cui il valore reale dell'impedenza vale $Z = R_p + j\omega L$.
- I valori disponibili variano

per gli **induttori in aria** da **0,01 μH** ad alcuni **mH**;

per gli **induttori su ferrite** da
decine di μH a decine di H

(R_p dell'ordine di 100Ω)

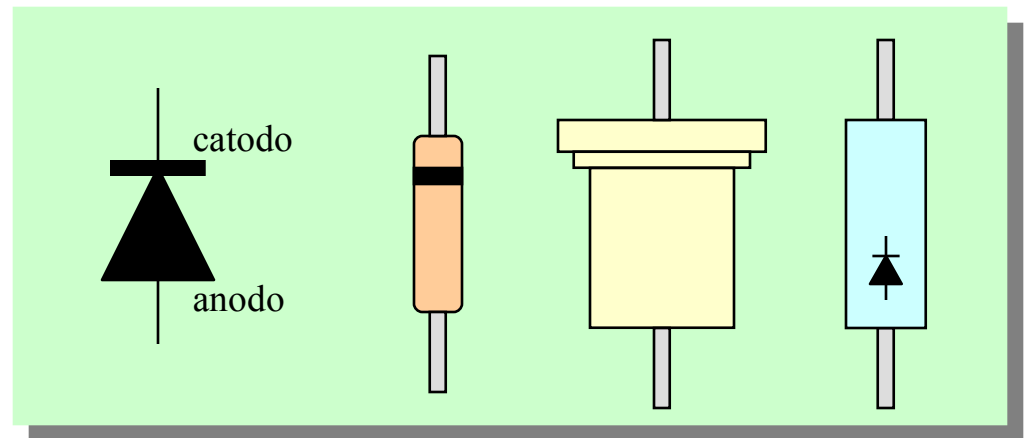
Materiali e componenti per l'elettronica

5- GENERALITA' SUI DIODI

Hanno di solito un indicatore dalla parte del catodo.

Ve ne sono di diversi tipi:

- **da segnale:** bassa potenza (frazioni di W), piccola corrente inversa (μA o nA);
- **rettificatori:** alte correnti dirette (da frazioni di A a 100 A);
- **rettificatori veloci (switching):** tempi brevi per svuotare la giunzione;
- **LED:** attraversati da corrente emettono luce;
- **Zener:** lavorano in polarizzazione inversa; ve ne sono da 250 mV a 1,5 KV.





Materiali e componenti per l'elettronica

6- IL DIODO

L'andamento della corrente nel diodo vale

$$I = I_0 \left(e^{\frac{Vq}{\eta KT}} - 1 \right)$$

V = d.d.p. applicata al diodo;

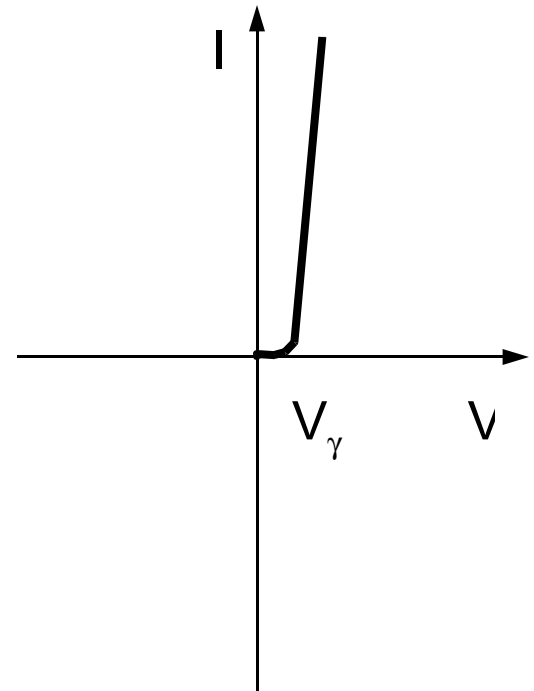
K = costante di Boltzman ($1,38 \cdot 10^{-38}$ J/°K);

T = temperatura assoluta;

q = carica dell'elettrone;

η = 1 per Ge e 1-2 per Si;

I_0 = alcuni mA.

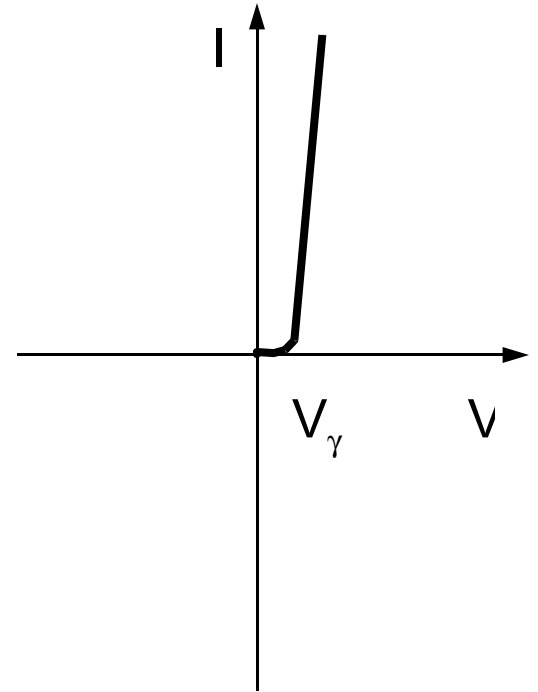


Materiali e componenti per l'elettronica

$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{\eta V_t}} - 1 \right)$$

A volte si pone $V_t = (KT/q) = 25 \text{ mV}$ a 300°K
per cui

$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{\eta V_t}} - 1 \right)$$

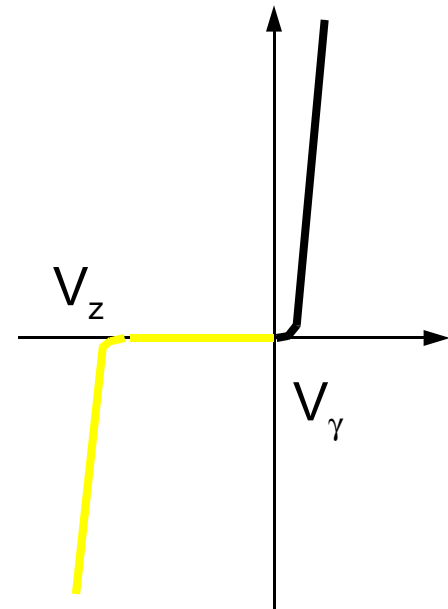
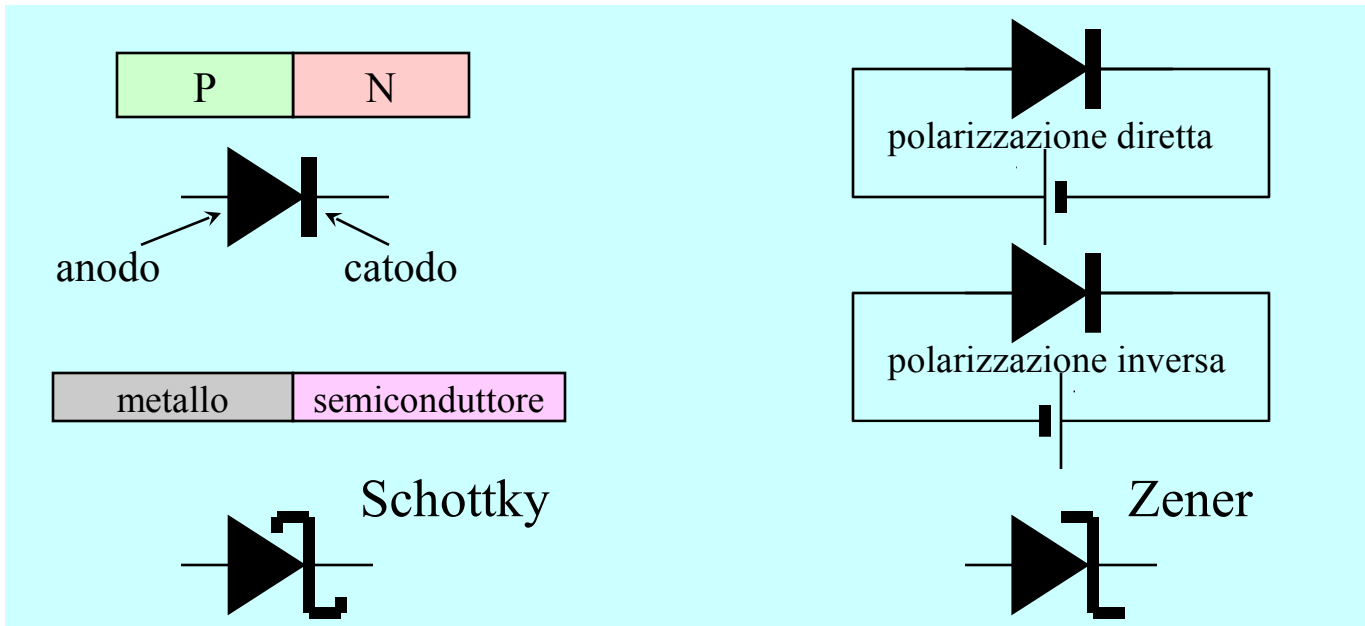


Note:

- I_0 dipende dalla temperatura e raddoppia ogni 10°C .
- V_γ (0,2 V per Si - 0,7 V per Si può superare 1 V per i LED) dipende dalla temperatura e diminuisce di $2,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$.
- La resistenza differenziale risulta $r_{\text{dif}} = dV/dI = (\eta V_t)/I$:

$$I = 25 \text{ mA} \longrightarrow r_{\text{dif}} = 1\text{-}2 \, \Omega.$$

Materiali e componenti per l'elettronica



Se si applica un potenziale inverso al diodo la corrente è quasi nulla (è data dalle cariche minoritarie) fino a che non si ha un breakdown:

- 1 - si rompono nuovi legami a causa del forte campo elettrico e la corrente inizia a crescere (Zener effect);
- 2 - se V è alta la velocità degli elettroni è alta e rompe ancora altri legami (avalanche effect).



Materiali e componenti per l'elettronica

7- RICHIAMI SULLA TEORIA DEI CIRCUITI

Leggi di Kirchhoff (relative ai nodi ed alle maglie)

$$\sum i = 0$$

$$\sum e + Ri = 0$$

Rete lineare

Ciascun elemento di una rete è caratterizzato da un parametro.

Se questo parametro non dipende dalla tensione (V) ai capi dell'elemento o dalla corrente (I) che lo attraversa, l'elemento viene detto **lineare**. Un elemento lineare è rappresentabile da un'equazione integrodifferenziale a coefficienti costanti.

Si ricordi che

per le resistenze

$$V(t) = R \cdot I(t)$$

$$(Z = R)$$

per le induttanze

$$V(t) = L \cdot dI(t)/dt$$

$$(Z_L = j\omega L)$$

per le capacità

$$I(t) = C \cdot dV(t)/dt \text{ o } V(t) = (1/C) \cdot \int I(t)$$

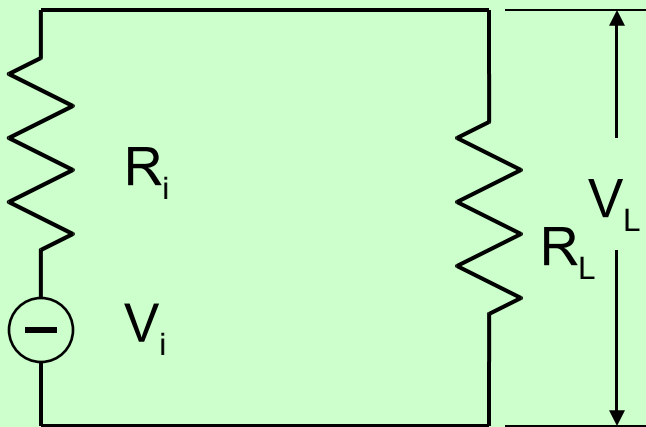
$$(Z_C = 1/j\omega C)$$

Materiali e componenti per l'elettronica

Generatore di tensione ideale e reale

Un generatore di tensione ideale è un generatore che produce la stessa tensione indipendentemente dal carico; questo equivale a dire che ha una resistenza interna nulla.

Ciò non accade nel generatore reale in cui, a causa della resistenza interna, la tensione decresce all'aumentare del carico.



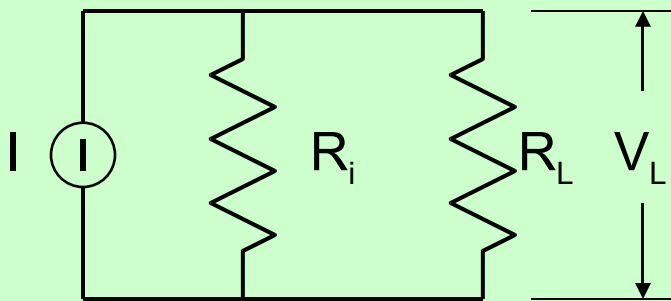
$$V_L = \frac{V_i}{R_L + R_i} \cdot R_L = \frac{V_i}{1 + \frac{R_i \rightarrow 0}{R_L}}$$

Materiali e componenti per l'elettronica

● Generatore di corrente ideale e reale

Un generatore di corrente ideale è un generatore che fornisce una corrente indipendentemente dal carico, questo equivale a dire che ha una resistenza interna infinita.

Ciò non accade nel generatore reale, la cui la resistenza interna ha un valore finito.



$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = I \cdot \frac{R_i R_L}{R_i + R_L} \cdot \frac{1}{R_L} = I \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_L}{R_i \rightarrow \infty}}$$



Materiali e componenti per l'elettronica

- **Principio di sovrapposizione**

In una rete lineare, la risposta ad un certo numero di eccitazioni (stimoli) indipendenti è uguale alla somma delle risposte alle singole eccitazioni, prese una alla volta (si cortocircuitano i generatori di tensione ... si aprono quelli di corrente).

- **Equivalenza di due reti**

Due reti sono equivalenti se si può sostituire una rete con l'altra senza influenzare la corrente e la tensione associate ad un altro elemento qualsiasi esterno alla rete.

Una rete può essere equivalente ad un generatore reale di tensione (Thevenin).

Una rete può essere equivalente ad un generatore reale di corrente (Norton).

Materiali e componenti per l'elettronica

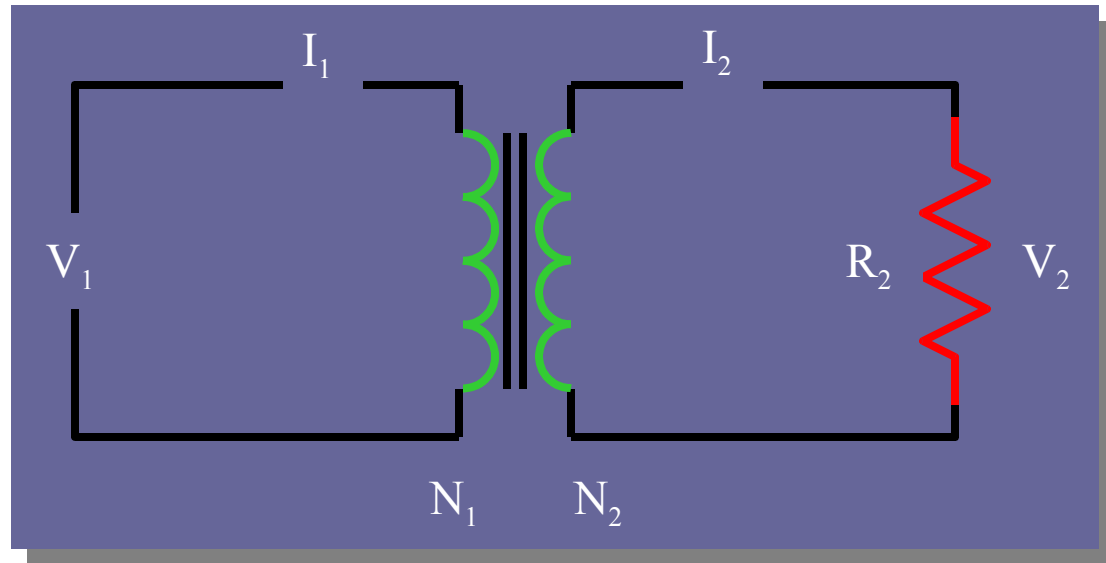
8- IL TRASFORMATORE

Nel caso ideale si avranno le seguenti relazioni:

$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1 \quad e \quad I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1$$

Sempre nel caso ideale e con carico resistivo

$$P_2 = V_2 I_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1 \frac{N_1}{N_2} I_1 = P_1$$

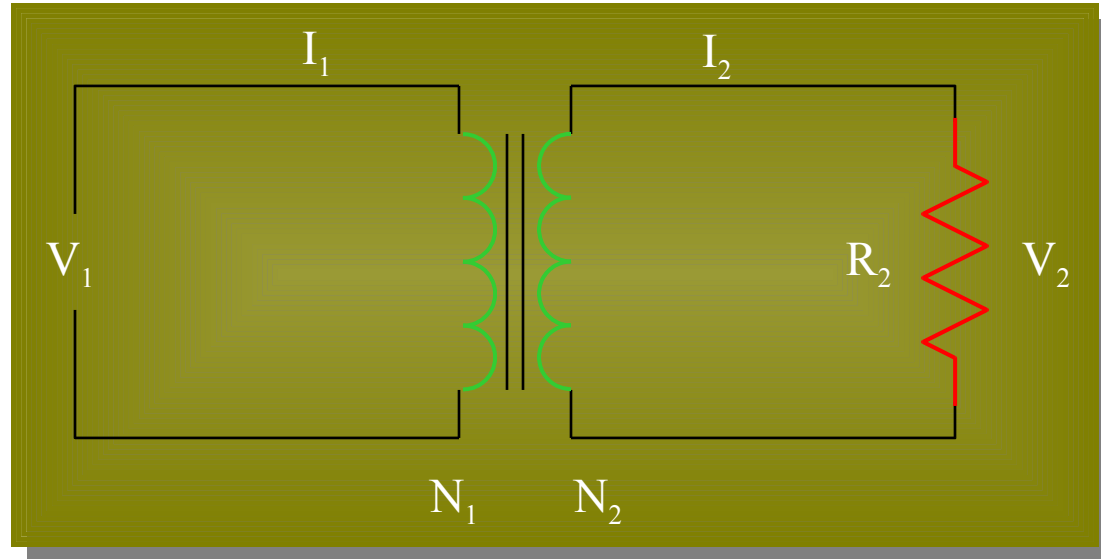


Il trasformatore cambia i parametri **V** ed **I** ma l'energia trasferita al carico è la stessa (nel caso reale ci saranno delle perdite, per cui **P**₂ sarà inferiore a **P**₁).

Materiali e componenti per l'elettronica

Nota 1 - Per effetto della reazione del circuito secondario sul primario, R_2 è vista dal primario come:

$$R_2' = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_2$$

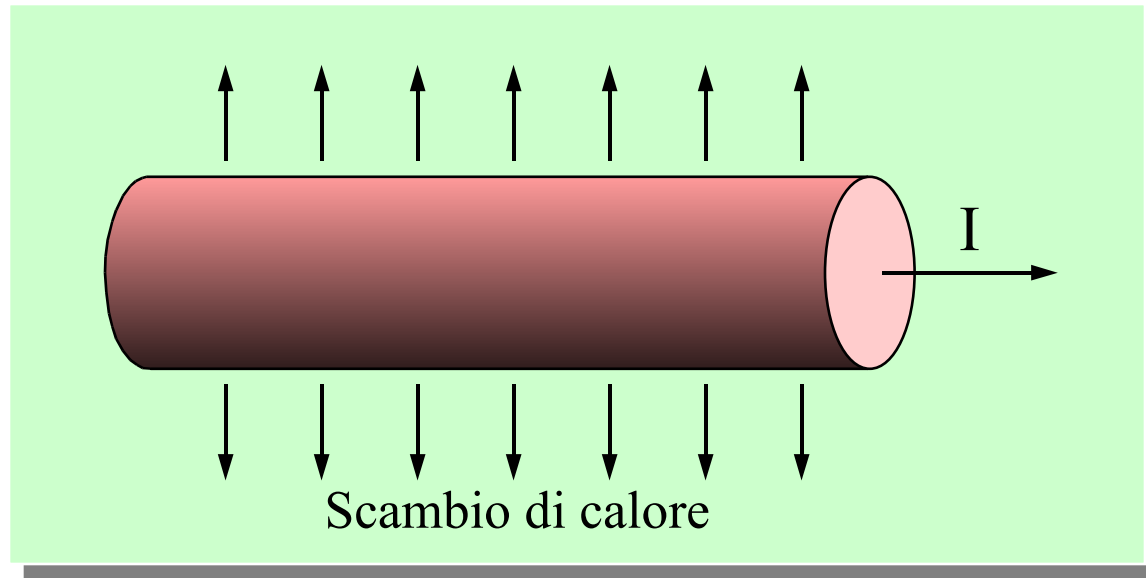


Nota 2 - Apparentemente il filo degli avvolgimenti sembra scoperto e tutto in cortocircuito; in realtà è ricoperto da uno smalto isolante che deve essere raschiato quando si procede a saldarlo per fare i collegamenti.

Nota 3 - Quando si progetta (o si acquista) un trasformatore, almeno 2 sono i parametri da precisare: **il rapporto di trasformazione e la potenza in gioco**. La diversa sezione del filo permette di distinguere in

Materiali e componenti per l'elettronica

9- ALCUNE CONSIDERAZIONI SULL'EFFETTO JOULE



- Nei conduttori percorsi da corrente la dissipazione per effetto Joule vale $E_j = R I^2 t$.
- 1 Joule = 0.238 piccole calorie $\longrightarrow E_c = 0.238 R I^2 t$

Materiali e componenti per l'elettronica

Quando il sistema conduttore-ambiente raggiunge l'equilibrio termico si avrà una sopraelevazione di temperatura dT data dalla relazione

$$0,238 R I^2 = C A dT$$

dove C = coefficiente di trasmissione tra superficie ed ambiente

A = superficie che scambia calore

ovvero $0,238 (\rho l/s) I^2 = C l p dT$

dove ρ è la resistività del conduttore, l la sua lunghezza,
 s l'area della sezione e p il perimetro della sezione
 (se il conduttore è cilindrico p è la circonferenza).

Ne segue che

$$dT = \frac{0.238 \rho l^2}{C s p}$$



Materiali e componenti per l'elettronica

A parità di altre condizioni dT dipende dalla forma del conduttore, e più precisamente dal prodotto $s \cdot p$, $dT = K I^2 / s \cdot p$.

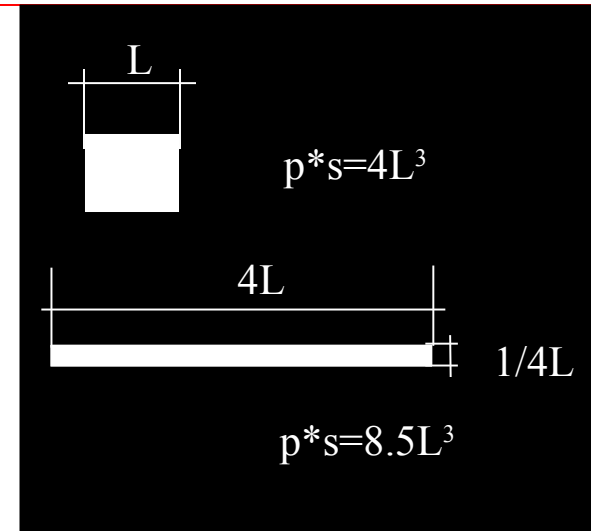
La prima conseguenza è che i conduttori cilindrici sono i peggiori dal punto di vista della dissipazione del calore, mentre le piattine sono i migliori.

La seconda considerazione è che, per molti conduttori, il prodotto $s \cdot p$ è circa $s \cdot s^{1.5}$ e quindi

$$dT = K \frac{I^2}{s \sqrt{s}}$$

per cui $s^{1.5} dT = K I^2$

Ne segue che, se s sopporta I , $2s$ sopporta $1.6 I$ e $3s$ sopporta $2.28 I$.





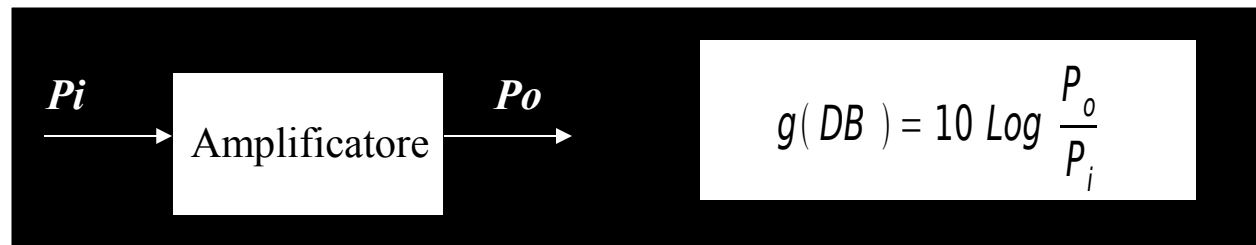
Materiali e componenti per l'elettronica

- Nella pratica, per i fili di rame, le sezioni crescono con le correnti come segue:
 - **4A per mm²** per sezioni fino a **5 mm²**
 - **3A per mm²** per sezioni da **5** a **20 mm²**
 - **2A per mm²** per sezioni da **20** a **100 mm²**
- Nota: *un filo di rame scoperto di diametro 0.2 mm fonde con circa 7A anche se la corrente consigliata è solo 500mA.*

Materiali e componenti per l'elettronica

10- IL DECIBEL

Il guadagno di un amplificatore viene spesso espresso in **decibel (DB)**



dove P_o è la potenza in uscita e P_i quella in ingresso.

Ne segue che se P_o/P_i vale 1, 10, 100... $g(DB)$ vale 0, 10, 20, ...

Analogamente per i sistemi di attenuazione(a)

se P_o/P_i vale 1/10, 1/100, 1/1000... $a(DB)$ vale -10, -20, -30, ...

Nota: se la resistenza (impedenza) di ingresso è uguale a quella di uscita

$$g(DB) = 10 \text{ Log } \frac{P_o}{P_i} = 10 \text{ Log } \left(\frac{V_o^2}{R_o} \frac{R_i}{V_i^2} \right) = 10 \text{ Log } \left(\frac{V_o^2}{V_i^2} \right) = 20 \text{ Log } \frac{V_o}{V_i}$$

Materiali e componenti per l'elettronica

Molte volte il **DECIBEL** è utilizzato anche come unità di misura della tensione o della potenza di un segnale elettrico o di un segnale acustico. In questo caso è sottinteso che si utilizza una P_i di riferimento standard.

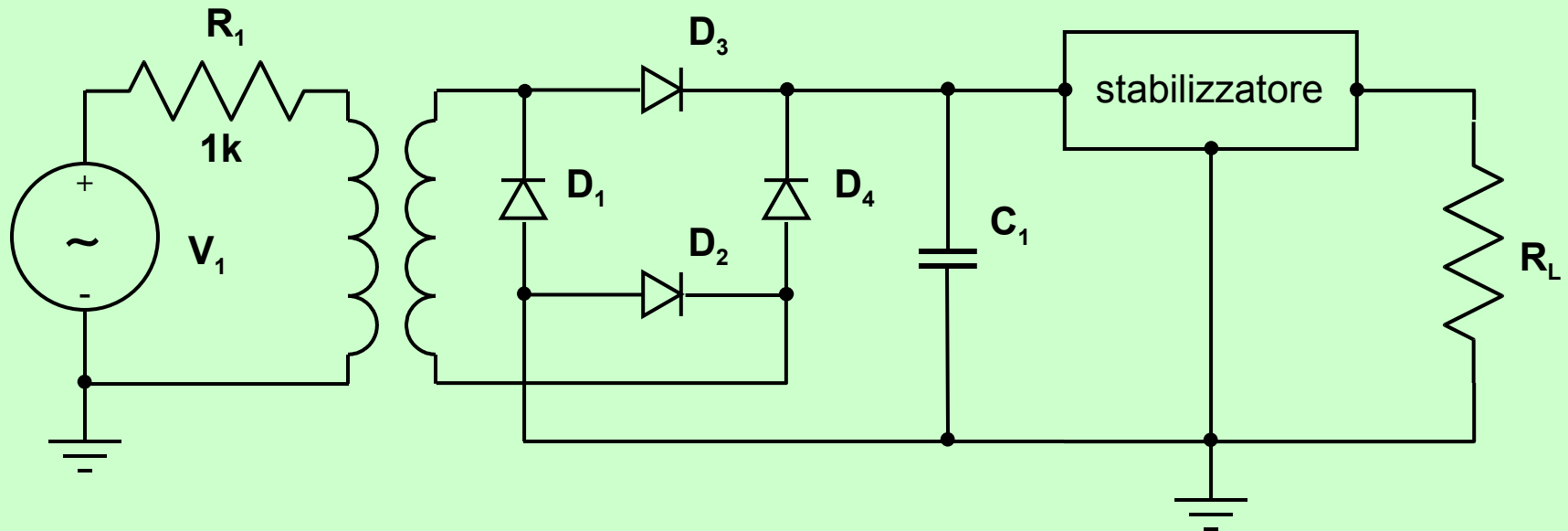
In elettrotecnica la P_i di riferimento è il **mW**; segnali che hanno la potenza di **0, 10, 20, 30 DB** equivalgono quindi a **1, 10, 100, 1000 mW**.

Quando il **DB** è usato per misurare tensioni occorre anche fissare una resistenza di riferimento che alcuni impostano a **50Ω** e altri a **600Ω**.

In acustica la potenza P_i di riferimento è la potenza minima di un segnale udibile, ovvero capace di generare una pressione di **$2 \cdot 10^5$ N/m²**, a cui è associata un'onda acustica capace di trasportare un'energia pari a **10^{-22} W/m²**. Poiché la risposta dell'orecchio non è la stessa al variare della frequenza, le grandezze sopra riportate vanno riferite ad un suono di frequenza **1000 Hz**.

Materiali e componenti per l'elettronica

11- L'ALIMENTATORE



Materiali e componenti per l'elettronica

