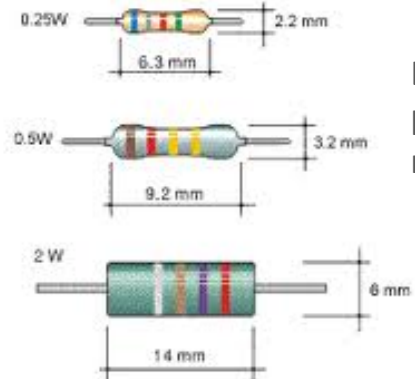
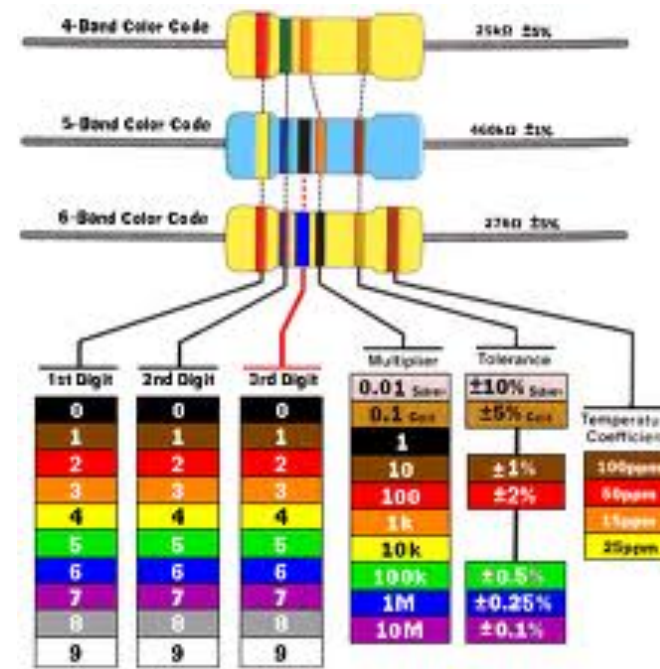
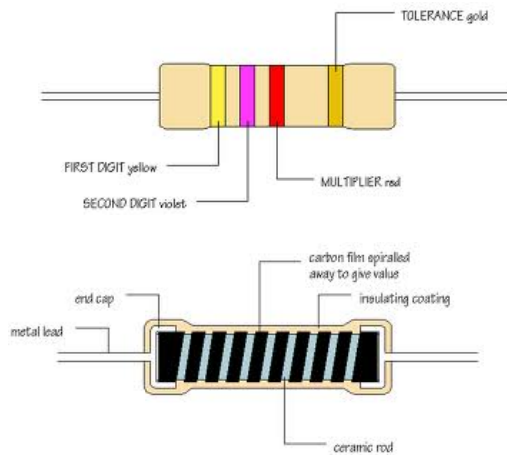


Resistori a carbone

Tipologia dei resistori usati in laboratorio (forma a salsicciotto con due reofori)



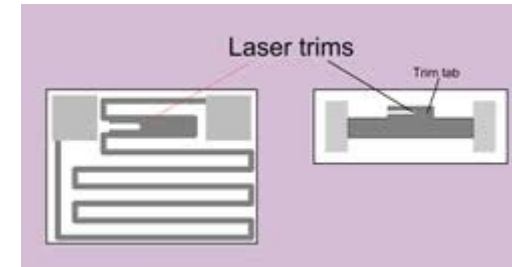
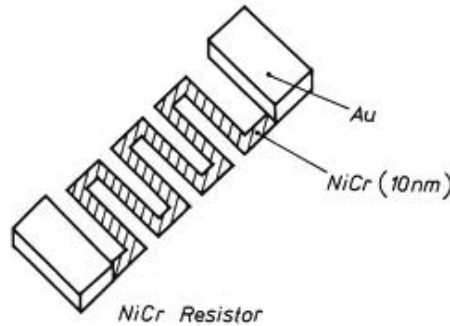
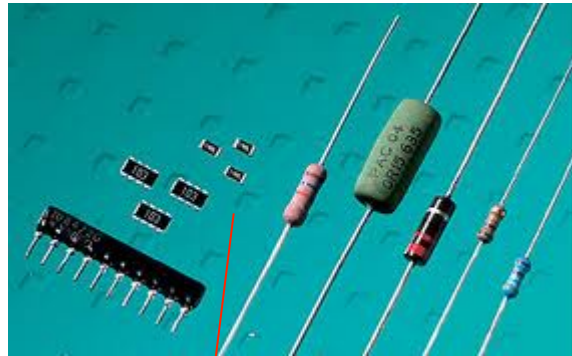
Le dimensioni dipendono dalla massima potenza che può essere “dissipata” dal resistore (valori tipici: (1/4, 1/2, 1, 2) W)



Tecnologia (old style, ma ancora usata): cilindro di “carbone*” tra due elettrodi collegati ai reofori e isolamento esterno
 * Nota: il “carbone” è generalmente una pasta caricata con materiale conduttore (grafite) in modo da ottenere resistività $r_C \sim 10^2 - 10^6 \text{ ohm m}$

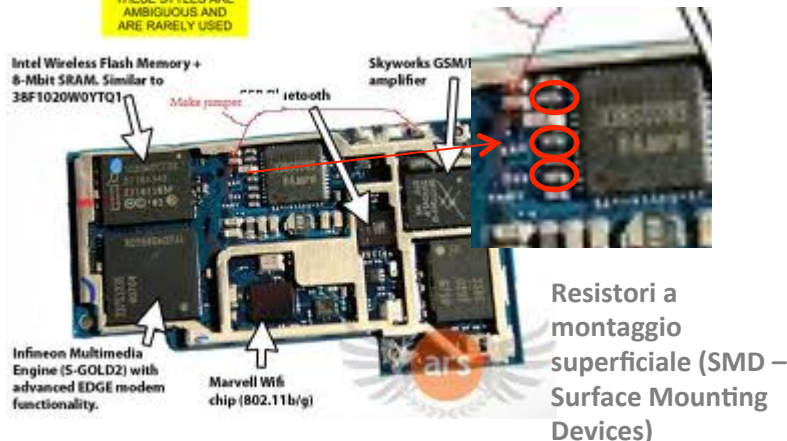
Resistori a film (sottile o spesso)

Esistono tante altre tipologie di resistori e tecnologie di fabbricazione



R47	4R7	47R	K47	4K7	47K	M47	4M7
0.47 Ω	4.7 Ω	47 Ω	470 Ω	4.7 kΩ	47 kΩ	470 kΩ	4.7 MΩ
R64	464R	4K64	471	472	473	474	475
0.464 Ω	464 Ω	4.64 kΩ	470 Ω	4.7 kΩ	47 kΩ	470 kΩ	4.7 MΩ

4640	470		
464 Ω	47 Ω		
THESE STYLES ARE AMBIGUOUS AND ARE RARELY USED			
0	00	000	0000
SHORT-CIRCUITING "ZERO-OHM LINKS" OR "JUMPERS"			



Tecnologia più recente e adatta alla miniaturizzazione (ma potenze dissipate basse!): film* (strato) di materiale conduttore, sottile e ritagliato (in genere con laser) in modo da dare la resistenza richiesta

Ricorda che, per campo omogeneo:

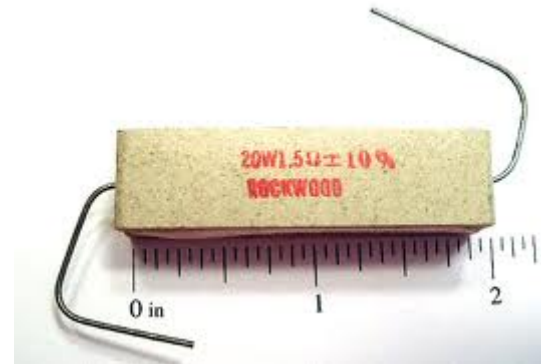
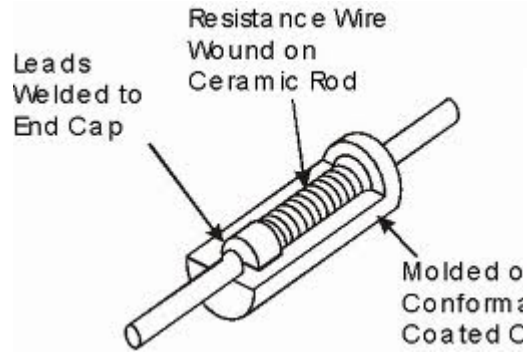
$R = \rho_c L/S$: per S piccolo si possono ottenere alti valori di R anche con resistività tipiche dei metalli ($\rho_c \sim 10^{-4} - 10^{-6} \text{ ohm m}$)

Nota: quando la resistenza è indicata con gli anelli colorati, questi sono generalmente 5 (il costruttore può determinare la resistenza con maggiore precisione → serve un anello in più per avere una “cifra significativa” in più nell’ indicazione della resistenza)

•Un film sottile è uno strato di materiale spesso meno di 1 μm

Resistori a filo

Quando occorre una potenza alta (e una bassa resistenza) si usano resistenze a filo conduttore



...che è poi la stessa tecnologia delle resistenze delle stufette elettriche!



Applicazioni un po' esotiche delle resistenze I

I resistori sono usatissimi in elettronica per partizionare tensioni (cfr. resistori in serie) e correnti (cfr. resistori in parallelo)

Tanti altri usi sono possibili: esempio **termometri con termoresistenze**

Infatti la resistività di un conduttore (metallico) aumenta con la temperatura in modo proporzionale su un range di temperature abbastanza ampio



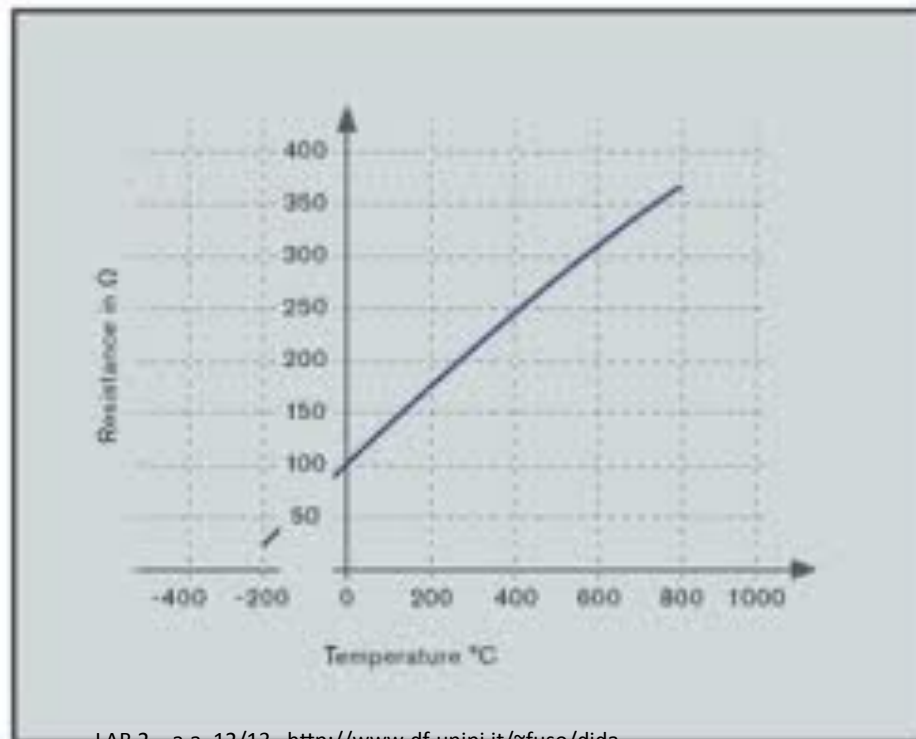
Termoresistenze tipo "Pt100"
Film sottile di platino (materiale con coefficiente di temperatura positivo, PTC)

$$R(T) \sim R(T_0) [1 + \alpha(T - T_0)]$$
$$R(T_0 = 273\text{K}) = 100 \text{ ohm}$$
$$\alpha = 0.385 \text{ ohm/K}$$

(range ~70-900 K)



PRICE

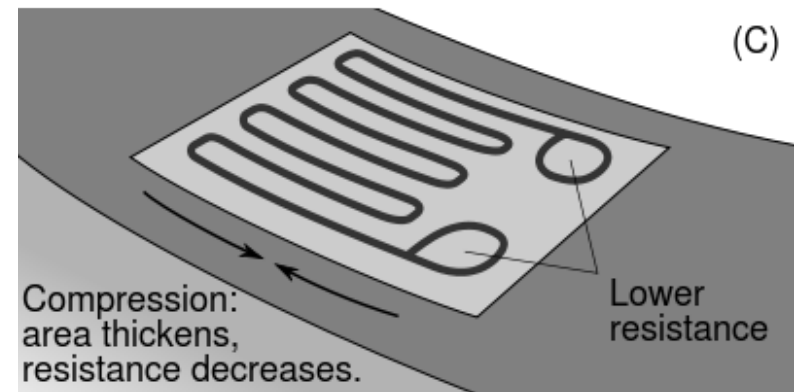
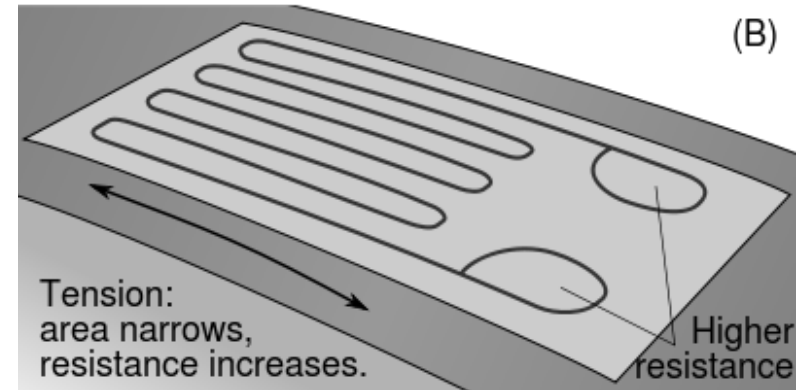
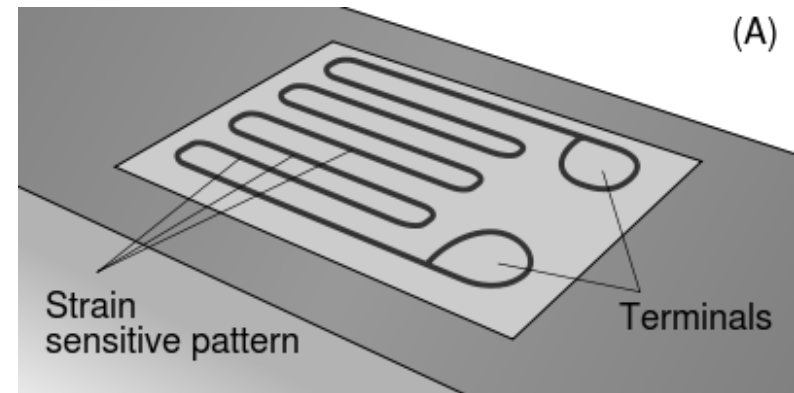


Applicazioni un po' esotiche delle resistenze II

Dato che, nel caso di campo omogeneo, $R = \rho_C L/S$, se si modifica la geometria del resistore, cioè il rapporto L/S , si ha una variazione della resistenza

Depositando un film di materiale conduttore su un substrato elastico (dielettrico) si può ottenere una variazione di resistenza in seguito alla deformazione del sistema

Questo è il meccanismo di funzionamento delle **strain gauges**, misuratori di deformazione (dunque di spostamento) che possono essere calibrati e resi in grado di misurare spostamenti anche micrometrici



Sheet resistance

Nella tecnologia attuale (microelettronica) i materiali sono quasi sempre in forma di film sottili

Spesso conviene esprimere ρ_C in unità di [ohm superficie/lunghezza], per esempio ohm mm²/m

Ancora più spesso conviene usare la **sheet resistance** ρ_{sheet} (unità di misura [ohm/sq] oppure [ohm/■])

Infatti in un film di spessore t , “larghezza” w e “lunghezza” L , si ha $R = \rho_C L/(wt) = \rho_{\text{sheet}} L/w$

Occhio, però!

1. La resistività di un film sottile tende ad aumentare con il diminuire dello spessore (effetti di scattering degli elettroni alla superficie)
2. Nel caso di sistemi “confinati” (dimensionalità minore di 3D, es. nanofili/nanotubi) esistono effetti quantistici che rendono “quantizzata” la resistenza (e trasporto non più diffusivo!)

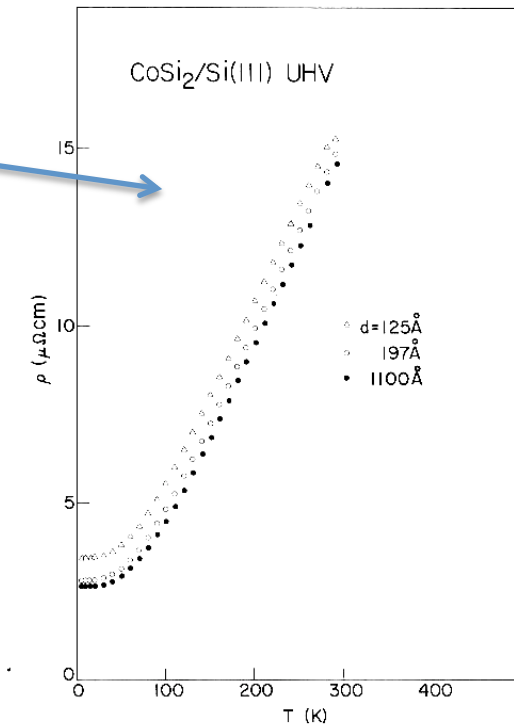
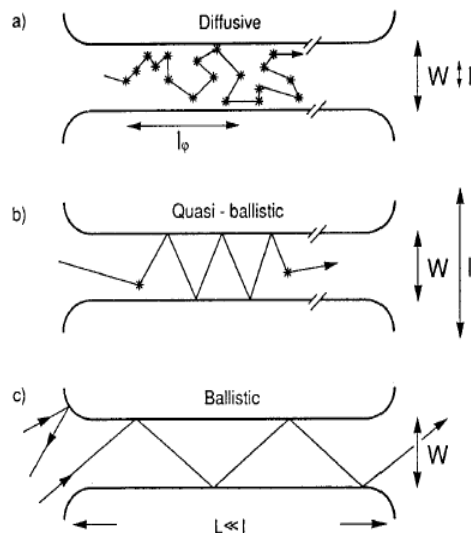


Figure 10-6. Temperature dependence of resistivity of CoSi₂ films. The 125- \AA 197- \AA films are epitaxial. The 1100- \AA film is polycrystalline. (From Ref. 10).

Four-probe measurements

Nella misura convenzionale di resistenza (“a due fili”) la resistenza dei contatti (tra puntale e materiale) può non essere trascurabile se devono essere misurate resistenze molto basse ($< 1\text{-}2\text{ ohm}$, e.g.)

La misura **a quattro punte** (o a quattro fili) permette di limitare il problema. In essa:

- Due fili servono per iniettare una corrente nota e stabile (generatore di corrente)
- Due fili servono per misurare la d.d.p. (e la resistenza viene dedotta grazie ad Ohm)

Se il voltmetro ha resistenza molto alta, la caduta di potenziale ai contatti è trascurabile e la misura

La misura a quattro punte (con debiti modelli, e.g., Van der Pauw) può servire per stimare la resistività

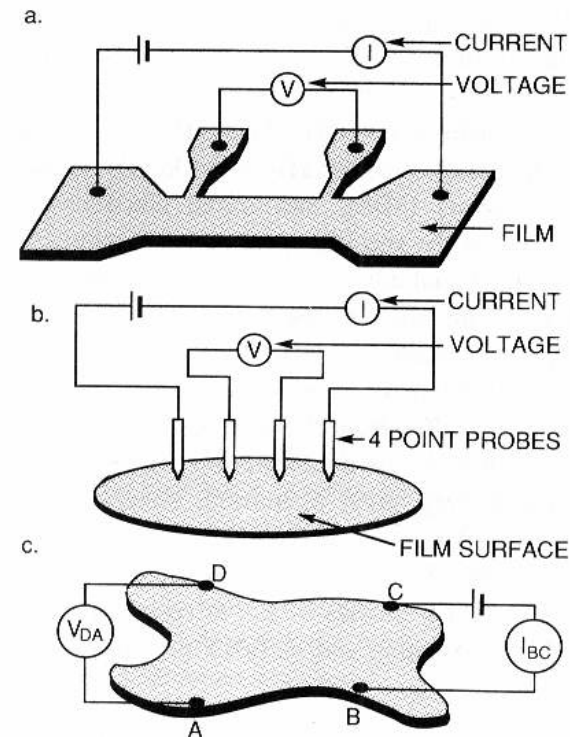


Figure 10-1. Techniques for measuring thin-film electrical resistance. (a) Four-terminal method for conducting stripes. Current is passed through outer terminals, and voltage is measured across inner terminals. (b) Four-point probe method for measuring sheet resistance. (c) Van der Pauw method for measuring resistivity of arbitrarily shaped film.