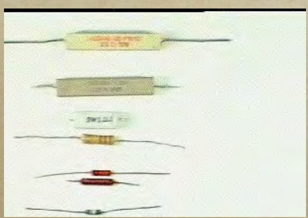
Lezione 8

I resistori nella realtà



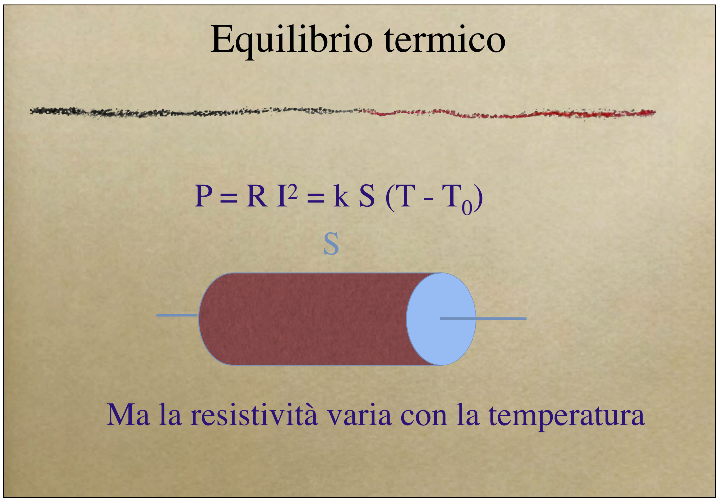
Nella immagine sono mostrati alcuni resistori di dimensioni molto diverse. Si potrebbe pensare che ciò corrisponda al fatto che essi hanno valori di resistenza molto diversi tra loro. Ma nel caso particolare tutti i resistori mostrati hanno la stessa resistenza. Il valore in ohm della resistenza di un resistore non è quindi l'unico parametro sufficiente a caratterizzare il bipolo "fisico" resistore. Vediamo brevemente per quali motivi.

I resistori e la potenza

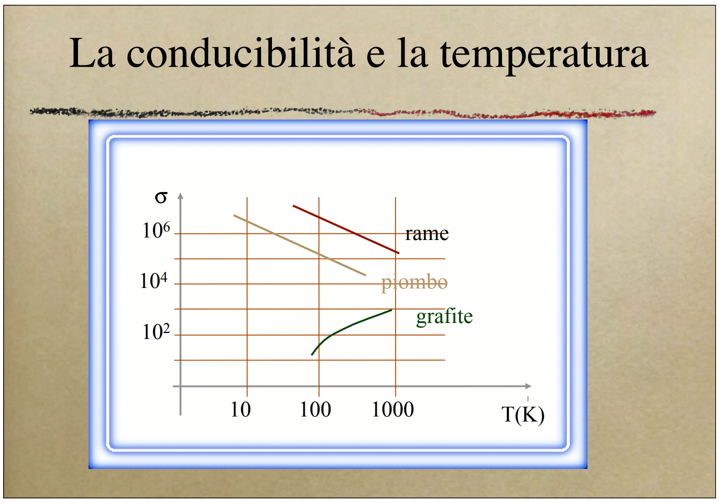
$P = R\,I^2$ $\qquad R = \rho \frac{L}{S}$

$dQ = R\,I^2\,dt$

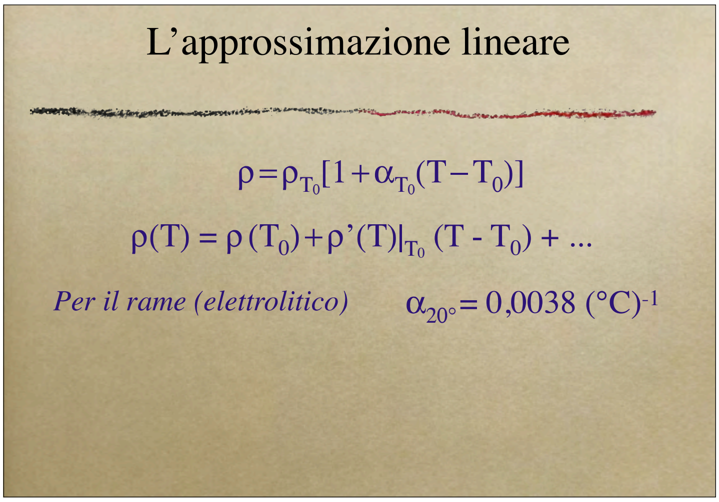
Quando abbiamo introdotto il bipolo resistore, abbiamo sottolineato come la sua resistenza dipenda anche dal materiale di cui il bipolo è fatto. Nella formula tale ruolo è svolto dalla resistività ρ. Abbiamo anche visto che il modello di Drude dà una giustificazione microscopica di questa dipendenza lineare tra tensione e corrente. D'altra parte, abbiamo anche visto che la potenza dissipata nel resistore, RI , si trasforma tutta in calore, con la conseguenza che il dipolo deve aumentare la sua temperatura.



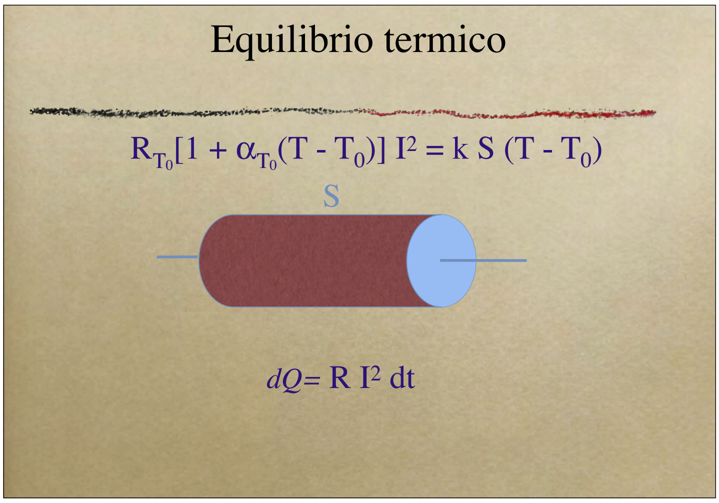
Se la resistività non dipendesse dalla temperatura, questo non avrebbe alcuna conseguenza sul funzionamento del resistore e la sua temperatura potrebbe essere calcolata con un semplice bilancio termico: la temperatura di regime si avrà quando la potenza fornita al dipolo sarà uguale alla quantità di calore ceduta nell'unità di tempo al mezzo circostante, che come è noto è proporzionale alla differenza di temperatura con l'ambiente circostante.
Ma la resistività dipende dalla temperatura!



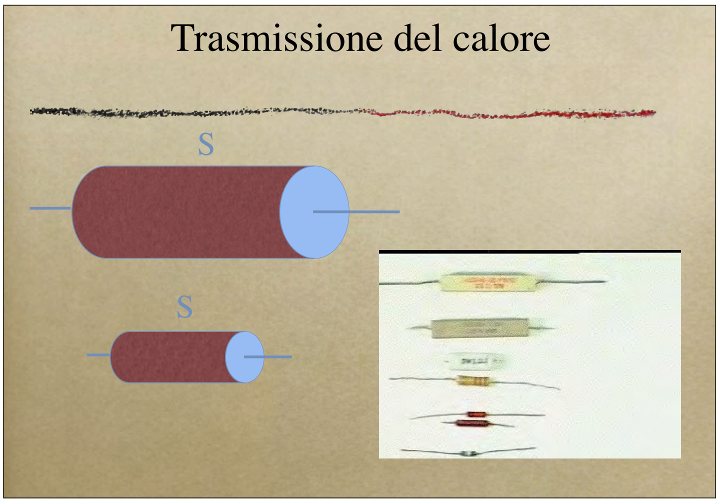
Del resto lo stesso modello di Drude ci aveva già indotti a pensare che l'attrito opposto al moto delle cariche non potesse essere indipendente dalla temperatura. Nell'immagine sono riportate qualitativamente in un diagramma alcune tipiche dipendenze della conducibilità $\sigma = 1/\rho$ in funzione della temperatura, per tre materiali diversi. Come si vede mentre la conducibilità del rame e del piombo diminuisce al crescere della temperatura, quella della grafite aumenta.



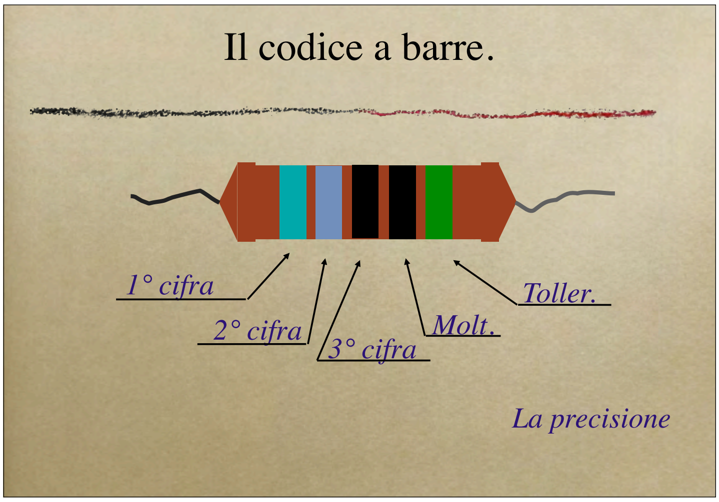
Osserviamo che la dipendenza $\rho(T)$ non è in generale lineare. In figura le scale sono logaritmiche. Ciò nonostante se il campo di variazione delle temperature è limitato, possiamo approssimare tale dipendenza con una relazione lineare, dove ρ_0 è la resistività alla temperatura T_0 e α_0 un opportuno coefficiente di temperatura. Un osservatore attento riconoscerà in questa relazione il semplice sviluppo in serie di potenze della funzione $\rho(T)$ con punto iniziale T_0. il termine $\rho_0\alpha_0$ è il valore di $d\rho/dT$ valutato in T_0, e perciò dipende dal punto iniziale.



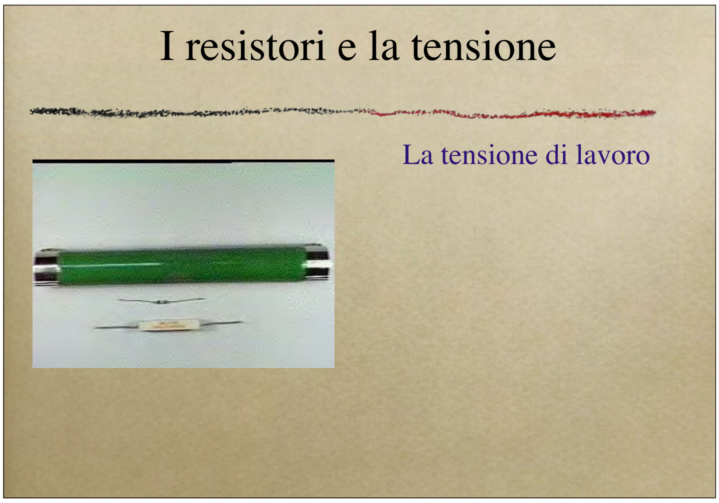
Il bilancio energetico per determinare la temperatura di regime diventa ora più complesso. Una volta raggiunta la temperatura, anche il valore di R resta costante pur se diverso da quello iniziale. Ma c'è di più. Se la temperatura di regime che si dovrebbe raggiungere è troppo elevata, le caratteristiche del materiale possono cambiare totalmente: al limite, per correnti troppo elevate, il resistore, può fondersi localmente.



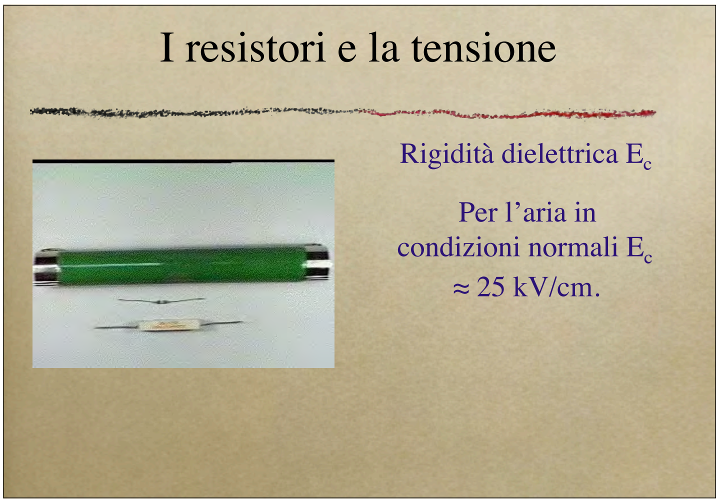
Naturalmente per consentire ad un resistore di dissipare una maggiore potenza il metodo più immediato è quello di aumentare la sua superficie di contatto con l'ambiente esterno. Ecco spiegato il motivo per cui i resistori in figura pur avendo lo stesso valore sono così diversi: sono progettati per dissipare potenze diverse. Ecco il nuovo parametro che occorre specificare: valore della resistenza e valore della potenza dissipabile.



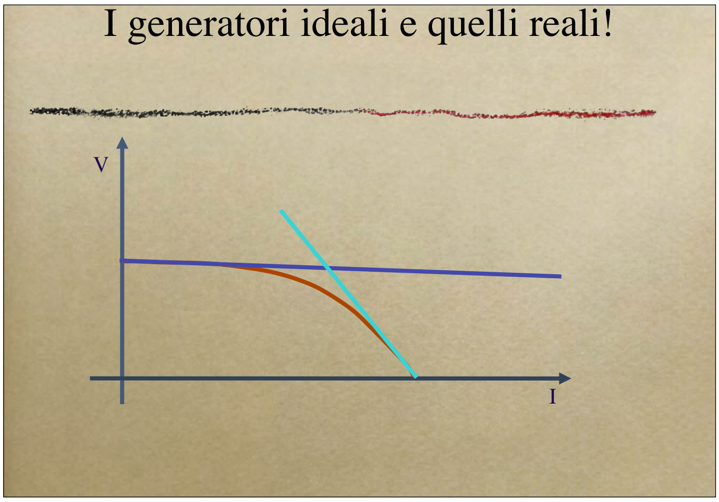
Per resistori di dimensioni abbastanza ridotte, può risultare difficile riportare sulla loro superficie esterna il valore della resistenza da essi offerta. Si è convenuto quindi di segnalare tali valori mediante un codice a barre colorate, che risulta per altro anche molto più visibile ed evidente. Il significato dei vari colori è riportato in tabelle che si possono trovare in qualsiasi manuale specialistico.



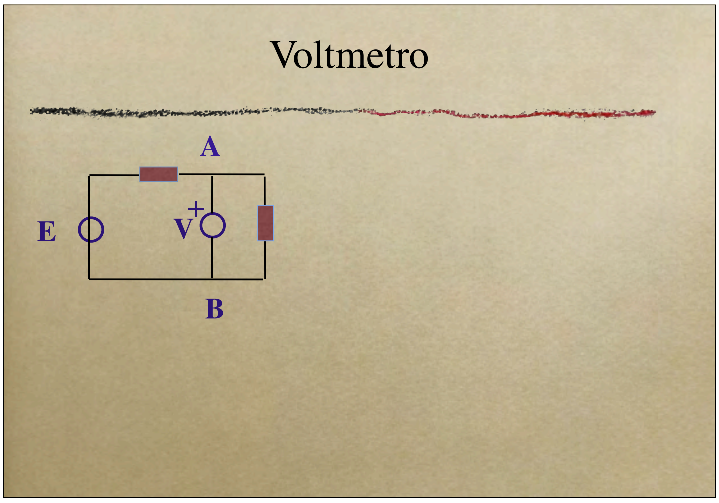
Un altro fattore che può influenzare le dimensioni di un bipolo resistore è la tensione di lavoro per cui esso è costruito. Fino ad ora abbiamo implicitamente assunto il resistore immerso in un mezzo isolante – l'aria tipicamente – di modo che il moto delle cariche fosse obbligato a svilupparsi esclusivamente attraverso il resistore stesso. In effetti qualsiasi mezzo isolante si comporta come tale solo se la forza che agisce sulle cariche in esso presenti, che è proporzionale al campo E, non supera determinati limiti.



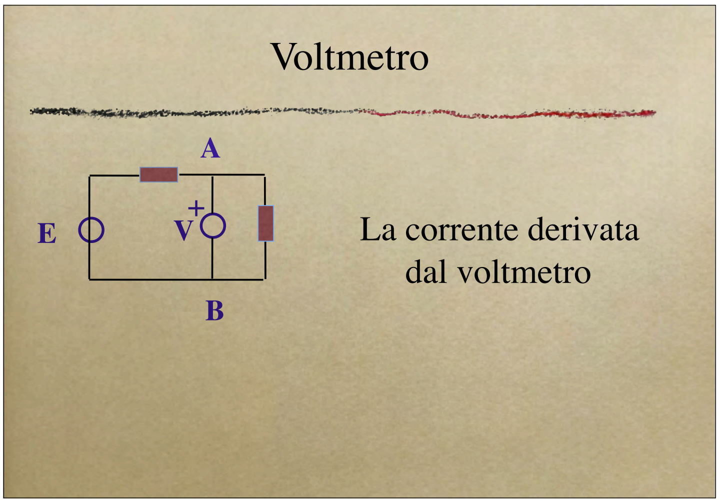
Oltre tali limiti l'isolante perde le sue caratteristiche, si sviluppa una scarica al suo interno ed il passaggio di cariche non è più interdetto. Per l'aria, per esempio, tale valore, che prende il nome di rigidità dielettrica, si aggira intorno ai 25 kV/cm, e dipende dalle sue condizioni fisiche. È chiaro dunque che non sarebbe possibile realizzare un bipolo resistore, atto a sopportare una tensione di 25kV, che non abbia tra i suoi morsetti una distanza sufficientemente maggiore di un centimetro.



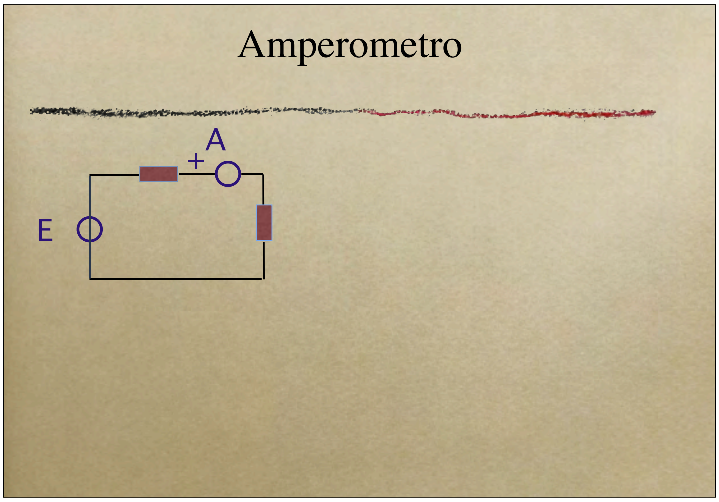
Dei generatori "reali" abbiamo già fatto cenno in precedenza e del come essi debbano necessariamente avere una caratteristica del tipo mostrato in figura in cui con l'aumentare della corrente erogata, la tensione ai morsetti, come suol dirsi, "si siede". Avremo dunque una tensione a vuoto, che sarà la massima possibile, ed una corrente di cortocircuito, valore che in generale non è concretamente raggiungibile, a meno che non si voglia rischiare di distruggere il dispositivo.



Qualche considerazione ora su gli strumenti di misura “reali” che abbiamo fin qui introdotti. Un Voltmetro, per esempio, dovrà disporre di due sonde – o morsetti – che dovranno essere posti in contatto elettrico con i punti tra i quali si desidera misurare la differenza di potenziale. Se si prescinde dalla sua specifica funzione e si focalizza l'attenzione sul suo inserimento nella rete, si può vedere un voltmetro come un bipolo; in tal senso esso sarà caratterizzato da una sua resistenza interna $R_{i.}$

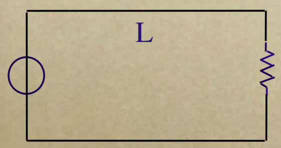


Una caratteristica fondamentale di ogni strumento di misura è ovviamente che esso deve "disturbare" quanto meno è possibile il sistema in cui esso viene inserito. Uno sguardo allo schema di principio mostrato (notare il simbolo del voltmetro) fa subito comprendere che un voltmetro ideale deve presentare ai suoi morsetti una resistenza infinita; solo in tal caso infatti la corrente derivata dal voltmetro è nulla e quindi la tensione ai morsetti del carico risulta indipendente dalla presenza del voltmetro stesso.



Considerazioni del tutto analoghe possono svolgersi per l’amperometro: esso, naturalmente, dovrà essere inserito in serie nel ramo di cui si vuole misurare la corrente, così come è indicato schematicamente, e, se ideale, dovrà presentare una resistenza nulla ai suoi morsetti, altrimenti la tensione ai morsetti del carico, e quindi la corrente da esso assorbita, non risulteranno indipendenti dalla presenza dell'amperometro stesso.

I collegamenti tra i bipoli

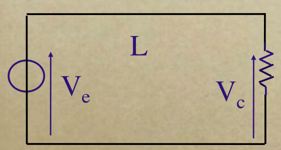


$R = 2\,\rho\, L/S$

La resistenza dei conduttori dipende dalla loro lunghezza e dalla sezione oltre che, naturalmente, dalla resistività del materiale di cui sono fatti.

Abbiamo sempre immaginato di poter connettere i nostri generatori al carico mediante conduttori perfetti. Naturalmente ciò non è possibile nella realtà; le connessioni al carico sono realizzate con materiali che, per quanto buoni conduttori, presentano sempre una certa resistività. Con riferimento allo schema riportato a lato, immaginiamo che la distanza tra carico e generatore sia L e che la sezione del conduttore sia S. Quali conseguenze dovremo attenderci da queste circostanze?

Tre problemi

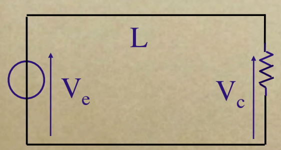


$R = 2\,\rho\, L/S$

- La tensione V_c non è uguale a V_e!
- La potenza fornita dal generatore è in parte dissipata dalla linea!
- Per effetto di tale potenza i conduttori si riscaldano!

Si possono porre tre diversi tipi di problema.

Primo problema



La tensione V_c non è uguale a V_e!

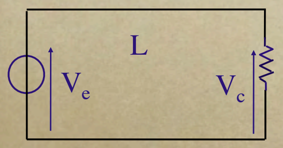
$R = 2\,\rho\, L/S$

$$\Delta V = V_e - V_c = 2\rho\frac{L}{S}JS = 2\rho LJ$$

La tensione sul carico dunque non sarà uguale a quella del generatore; è facile calcolare la caduta di tensione, tenendo conto che la lunghezza complessiva del collegamento è 2L. Appare chiaro che, se immaginiamo fissata la distanza L, la caduta di tensione può essere ridotta attraverso l'utilizzo di un miglior materiale conduttore (generalmente più costoso), oppure riducendo J, ovvero aumentando S. Generalmente si considera accettabile una densità di 5-6 A/mm^2.

Secondo problema

$R = 2\,\rho\,L\,/S$

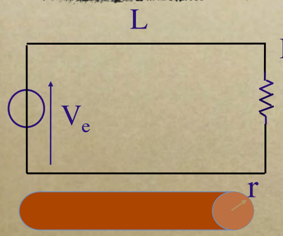


La potenza fornita dal generatore è in parte dissipata dalla linea!

$$\Delta P = 2\,(\rho\,L\,/S)\,I^2 = 2\,(\rho\,L\,/S)\,J^2\,S^2 = 2\,\rho\,L\,J^2\,S$$

Secondo problema: la corrente I che attraversa i conduttori produce una dissipazione di potenza. Volendo ridurre tale potenza dissipata è possibile agire sulla sezione S. Ma non è tutto: la potenza dissipata nel conduttore produce un innalzamento della temperatura T del conduttore rispetto alla temperatura ambiente T_0 e quindi un cambio del valore di R, e quindi della potenza dissipata e così via. È chiaro che si raggiungerà una condizione di regime. Per esempio, ammettendo una geometria cilindrica del resistore…

Terzo problema



Per effetto della potenza dissipata i conduttori si riscaldano!

$$\Delta P = 2\,(\rho\,L\,/S)\,I^2 =$$
$$= 2\,p\,L\,k\,\Delta T.$$
$$\Delta T = \rho\,r\,J^2\,/\,(2\,k)$$

$R = 2\,\rho\,L\,/S$

Anche in questo caso, quindi, per limitare l'innalzamento di T bisogna essenzialmente ridurre J!

La temperatura di regime che si raggiunge sarà fissata dalla condizione di equilibrio tra la potenza elettrica dissipata e la quantità di calore che, nell'unità di tempo, viene trasferita all'ambiente esterno. Quest'ultima è proporzionale al salto di temperatura $\Delta T = T - T_0$ ed all'area della superficie di contatto tra corpo conduttore ed ambiente esterno. Abbiamo implicitamente fatto l'ipotesi che il meccanismo principale di trasferimento del calore sia quello della convezione.

Riepilogo della Lezione

- **Confronto tra bipoli ideali e componenti reali;**
- **Resistori;**
- **Generatori;**
- **Proporzionamento dei conduttori.**