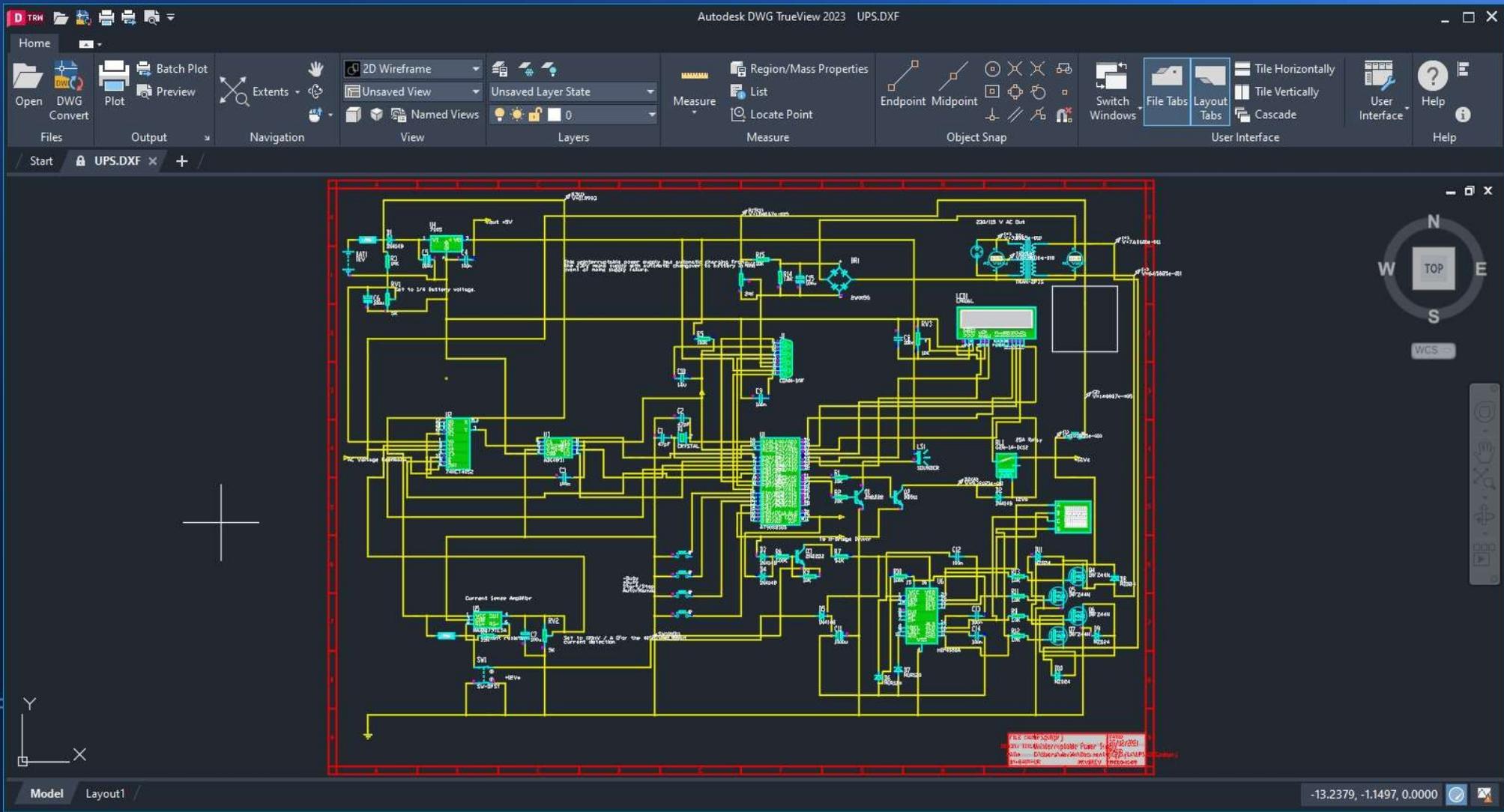


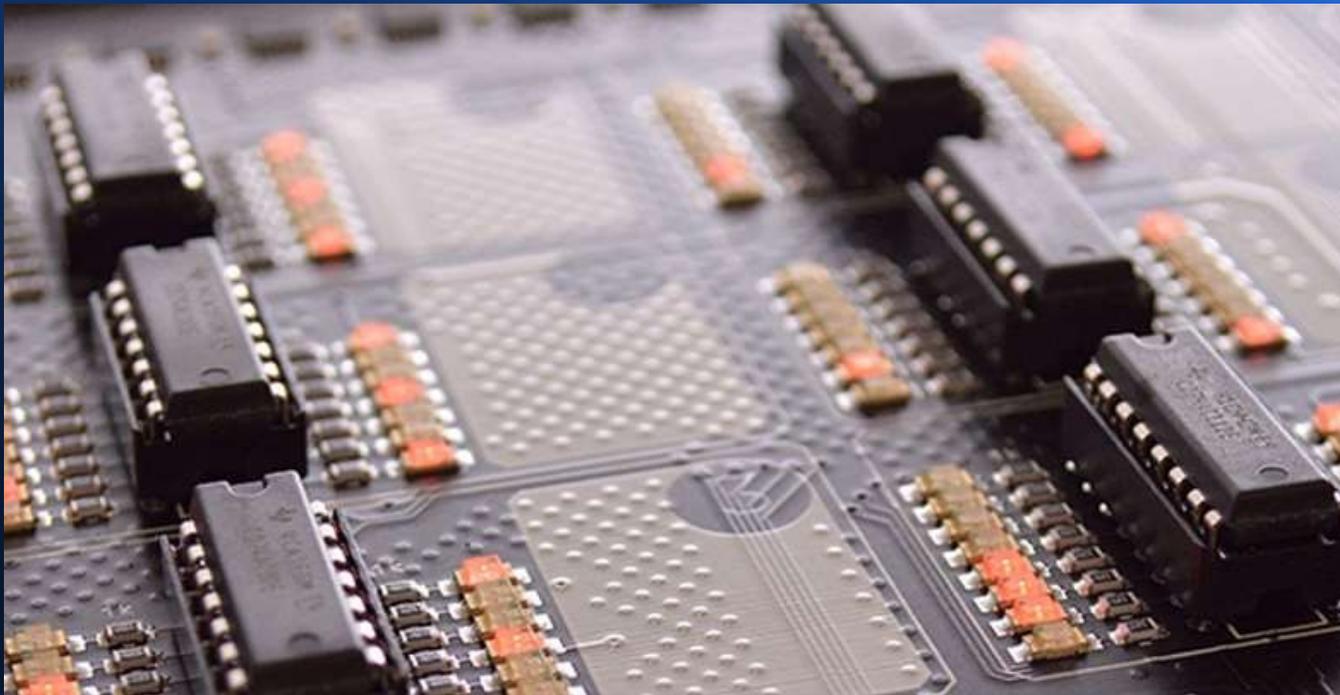
# Il progetto precedente come schema CAD (Computer Aided Design). Copyright © David





# Introduzione all'elettronica

- "L'elettronica consiste nel manipolare l'elettricità per svolgere un compito particolare ed è un'attività molto pratica. Poiché il risultato della costruzione di circuiti elettronici è di solito un dispositivo che esegue un compito, questo aspetto pratico dovrebbe essere



evidente".

# L'elettronica è fondamentale per la vita del 21<sup>st</sup> secolo!

- I dispositivi e i sistemi elettronici sono fondamentali per la vita moderna. In questo corso introduttivo, vi mostrerò quanto i dispositivi e i sistemi elettronici siano centrali nella vita moderna, pervadendo tutto ciò che facciamo, e vi illustrerò alcune idee fondamentali per spiegare il loro funzionamento.
- I moderni dispositivi elettronici avanzati sono spesso definiti autonomi.
- Qualsiasi sistema autonomo presenta tre aspetti fondamentali: il rilevamento dell'ambiente tramite sensori, il ragionamento attraverso la logica e l'elaborazione delle informazioni e l'interazione con l'ambiente tramite gli attuatori. Insieme, questi aspetti sono noti come ciclo di rilevamento-logica-attuazione.

# Un importante avviso di sicurezza!

- Anche se potrei citare dispositivi che funzionano a tensioni più elevate (ad esempio un alimentatore da banco alimentato dalla rete elettrica) tutti i circuiti presentati funzionano a un massimo di 24 volt - **la maggior parte funziona a 12 volt o meno.**
- Verranno forniti dettagli su come alimentare i circuiti. **Tuttavia, in nessun caso è possibile utilizzare la rete elettrica di casa vostra per QUALSIASI dimostrazione. Le reti elettriche di tutto il mondo includono 100 volt (Giappone), 110 volt (USA), 220 volt (Cina), 230 volt Regno Unito/Europa e 240 volt (Australia). Sono tutte molto pericolose sia per la tensione che per la corrente che sono in grado di erogare. Non lasciatevi mai tentare dall'uso della rete elettrica per alimentare i vostri circuiti. Non posso insistere più di tanto su questo punto.**
- Tra gli alimentatori adatti vi sono le batterie (i dettagli saranno forniti) e gli alimentatori da banco approvati (in genere i circuiti integrati necessitano di un'alimentazione regolata a 5 volt, i dettagli saranno forniti).

# Elettricità ed elettronica: La differenza

- L'elettricità consiste nel far fluire l'energia elettromagnetica all'interno di un circuito in modo da azionare qualcosa come un motore elettrico o un elemento riscaldante, alimentando apparecchi come cucine elettriche, bollitori, veicoli e macchine. In genere, gli apparecchi elettrici hanno bisogno di una grande quantità di energia per funzionare, quindi utilizzano correnti elettriche piuttosto grandi (e spesso pericolose). L'elemento riscaldante da 2300 watt all'interno di un bollitore elettrico (funzionante con una tensione UE di 230 volt) funziona con una corrente di 10 ampere. I componenti elettronici, invece, utilizzano correnti misurate in milliampere (mA) o addirittura microampere (µA) (che sono rispettivamente millesimi e milionesimi di ampere)! Inoltre, gli alimentatori di rete hanno una tensione alternata relativamente alta, ad esempio 100V (Giappone), 110V (USA), 220V (Cina), 230V (Regno Unito/UE) e 240V (Australia).

# Elettricità ed elettronica: La differenza

- Prendiamo ad esempio un forno a microonde. Una corrente elettrica fornisce l'energia che genera onde radio ad alta energia a 2,4 Ghz che cuociono il cibo; un circuito elettronico controlla invece il funzionamento e le funzioni di temporizzazione.
- A differenza dell'alta tensione della rete CA, i circuiti elettronici funzionano a basse tensioni CC. Ad esempio, i circuiti TTL (logica a transistor) funzionano solo a 5 volt CC, la tensione di un caricabatterie standard americano.
- A sinistra: un caricatore speciale che ho progettato per ricaricare i dispositivi USB nel settore edile nel Regno Unito e nella Repubblica d'Irlanda. La fornitura  
-un'alimentazione a bassa tensione ridotta (55-0-55 volt CA, centro collegato a terra)  
Questo è molto più sicuro di un'alimentazione di rete a 230 volt nel settore edile.



# Elettronica analogica e digitale: la differenza

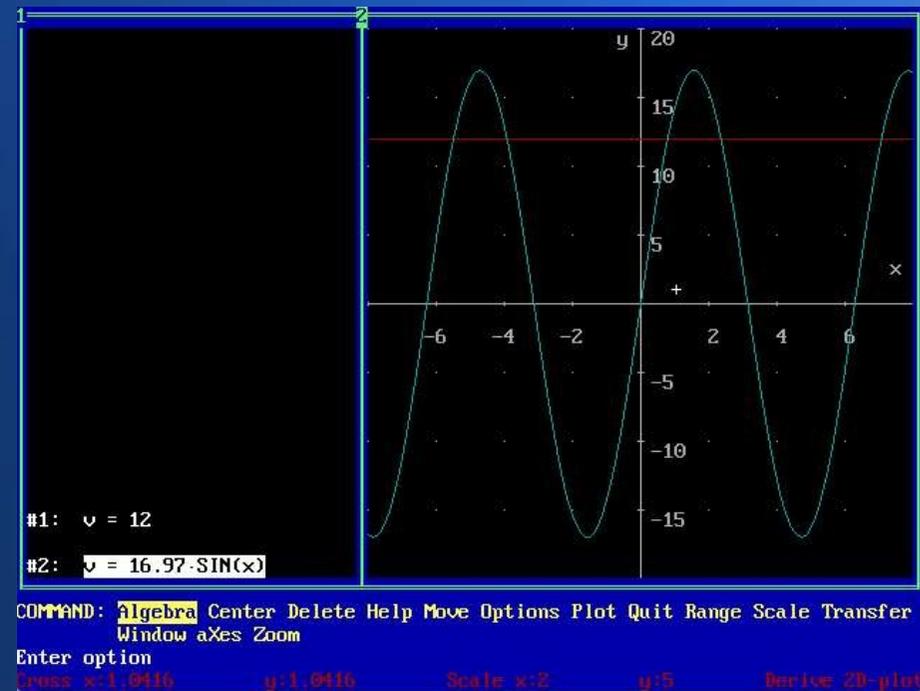
- Esistono due modi molto diversi di memorizzare le informazioni: quello analogico e quello digitale. La maggior parte delle cose che vogliamo esprimere sono grandezze analogiche: l'intensità del suono, la temperatura, l'intensità della luce e, naturalmente, la tensione ne sono un esempio. I metodi convenzionali di registrazione del suono, come i dischi e le cassette, sono analogici. La registrazione è una "analogia" del suono.
- Tuttavia, la registrazione moderna memorizza il suono in modo totalmente diverso. Invece di salvare un modello riconoscibile di suono che verrà riprodotto direttamente, converte le componenti di ampiezza e frequenza in numeri binari e li memorizza. La memorizzazione di una versione numerica e codificata di qualcosa è nota come digitale.

# Corrente continua e alternata

- In realtà esistono due "tipi" fondamentali di elettricità, la corrente continua e quella alternata.
- La corrente continua scorre in una sola direzione costante. Esempi di sorgenti sono le batterie, le dinamo e i pannelli fotovoltaici (solari).
- La corrente alternata presenta variazioni cicliche di tensione e polarità. Il numero di cambiamenti al secondo è chiamato frequenza, misurata in Hertz. La corrente alternata in Nord e Sud America ha 60 cicli al secondo (60Hz) e nel resto del mondo 50 cicli al secondo (50Hz).
- La tensione di un'alimentazione in corrente continua è facile da misurare! Ma che dire della corrente alternata? In questo caso si parla di RMS (acronimo di root mean square), ovvero la tensione "media".
- Per un'onda sinusoidale, tensione RMS = tensione di picco /  $\sqrt{2}$ .

# CA E CC

- La corrente continua, indicata in rosso, ha una tensione e una direzione costanti. Si tratta di 12 volt, come quelli della batteria di un'automobile. La corrente alternata, indicata in blu, ha una frequenza e una tensione RMS.
- La corrente alternata ha una tensione RMS (root mean Square) di 12 volt e la tensione di picco è  $12 \times \sqrt{2} \approx 16,97V$ . Il software è Derive, di Texas Instruments.



# Componenti elettronici

- I circuiti all'interno delle apparecchiature elettroniche sembrano a prima vista sconcertanti: sono pieni di componenti che hanno funzioni diverse e sono collegati tra loro da fili o da connessioni metalliche stampate. I circuiti elettronici sono costituiti da un numero relativamente ridotto di componenti standard. Ma così come è possibile costruire una varietà di strutture da un numero relativamente piccolo di materiali, è possibile creare infiniti circuiti per servire un determinato scopo.
- Questo è simile al fatto che tutto ciò che esiste, compreso il nostro corpo, è costruito da 92 elementi chimici presenti in natura.

# Resistori

Sono i componenti più semplici di qualsiasi circuito. Il loro compito è quello di limitare il flusso di elettroni e ridurre la corrente o la tensione che scorre convertendo l'energia elettrica in calore. I resistori sono disponibili in diversi tipi e materiali. I resistori variabili possono avere un valore di resistenza variabile, in modo da cambiare la quantità di resistenza quando li si regola. I controlli del volume delle apparecchiature audio, ad esempio, utilizzano spesso resistenze variabili come queste. La corrente che scorre in un resistore = tensione (V) / resistenza ( $\Omega$ ). Ad esempio,  $12\text{ V} / 4\Omega = 3\text{ ampere (A)}$ .

La potenza si ricava dalla tensione X la corrente. Nell'esempio precedente,  $12\text{V} \times 3\text{A} = 36\text{W} = \text{watt}$ . Si tratta della potenza di un saldatore.

# Condensatori

- Questi componenti relativamente semplici sono costituiti da due pezzi di materiale conduttore (normalmente metallico) separati da un materiale non conduttore (isolante) chiamato dielettrico. Sono spesso utilizzati come dispositivi di cronometraccio, ma possono separare correnti elettriche alternate e continue e anche segnali di frequenze diverse in altri modi. In una radio, uno dei compiti più importanti, la sintonizzazione sulla stazione che si desidera ascoltare, è svolto da un condensatore variabile. L'unità di misura della capacità è il Farad, F. Poiché il Farad è un'unità di misura estremamente grande, un esempio di valore del condensatore potrebbe essere  $3,3 \mu\text{F}$  o microfarad.

# Diodi

- Equivalenti elettronici di una valvola nella fluidodinamica, i diodi consentono il passaggio di una corrente elettrica in una sola direzione. I diodi possono essere utilizzati per cambiare le correnti alternate (quelle che scorrono avanti e indietro in un circuito, invertendo continuamente la direzione) in correnti continue (quelle che scorrono sempre nella stessa direzione). Quattro diodi formano un raddrizzatore a ponte di base.

# Induttori

- Gli induttori sfruttano le caratteristiche elettromagnetiche del flusso di corrente. L'induttore di base è una bobina di filo, anche se l'induttanza può essere aumentata utilizzando un nucleo di ferrite. Un trasformatore è un induttore a doppio avvolgimento. L'unità di misura dell'induttanza è l'hendry, H. L'hendry è un'unità estremamente grande, quindi i valori tipici possono essere espressi in microhendry,  $\mu\text{H}$ .

# Transistor

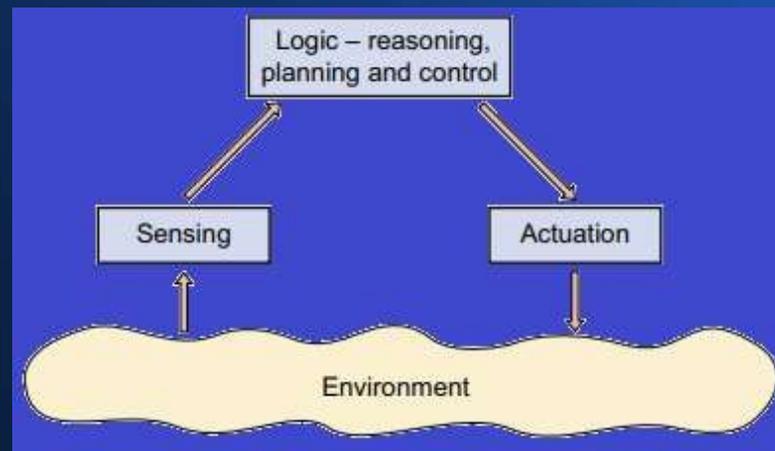
- I transistor, i componenti più noti dei dispositivi elettronici, sono in grado di attivare e disattivare piccole correnti elettriche o di amplificarle. I transistor che funzionano come interruttori sono, a livello fondamentale, le memorie dei computer, mentre i transistor che funzionano come amplificatori aumentano il volume dei suoni nei dispositivi audio. Quando i transistor sono collegati tra loro, creano dispositivi chiamati porte logiche (AND, OR, NOT e così via) che possono eseguire forme di decisione molto elementari. (I tiristori sono un po' come i transistor, ma funzionano in modo molto diverso).

# Componenti optoelettronici (elettronici ottici)

- Esistono vari componenti in grado di trasformare la luce in elettricità o viceversa. Le cellule fotovoltaiche (note anche come cellule fotoelettriche) generano correnti elettriche quando la luce cade su di esse e sono utilizzate in vari tipi di apparecchiature di rilevamento, tra cui alcuni tipi di rilevatori di fumo. I diodi a emissione di luce (LED) funzionano nella direzione opposta, convertendo piccole correnti elettriche in luce, e sono tipicamente utilizzati sui pannelli degli strumenti delle apparecchiature audio. Gli schermi a cristalli liquidi (LCD), come quelli utilizzati nei televisori a schermo piatto e nei computer portatili, sono esempi più sofisticati di optoelettronica.
- Su larga scala, le celle fotovoltaiche convertono l'energia solare in energia elettrica. Ho intenzione di avviare un'attività elettronica a energia solare nell'Africa occidentale.
- E come stiamo per vedere, il ciclo di rilevamento/logica/attuazione dipende fortemente dai sensori, compresi i dispositivi optoelettronici.

# Che cos'è il ciclo rilevamento-logica-attuazione?

- I dispositivi elettronici possono percepire il mondo circostante, convertendo un'ampia varietà di fenomeni fisici in segnali elettrici che comunicano informazioni utili. Tali dispositivi (chiamati trasduttori) hanno capacità simili ai nostri sensi umani: l'udito (microfoni), la vista (telecamere, comprese quelle a luce visibile e a infrarossi, e sensori di prossimità), il tatto (trasduttori piezoelettrici) e l'olfatto e/o il gusto (sensori chimici).



# Rilevamento: un semplice esempio

- Un resistore dipendente dalla luce utilizzato come sensore di luce diurna in una simulazione Proteus. Poiché il sensore è virtuale, la torcia sostituisce la luce diurna reale. Un UA741 è configurato come comparatore nel seguente circuito.

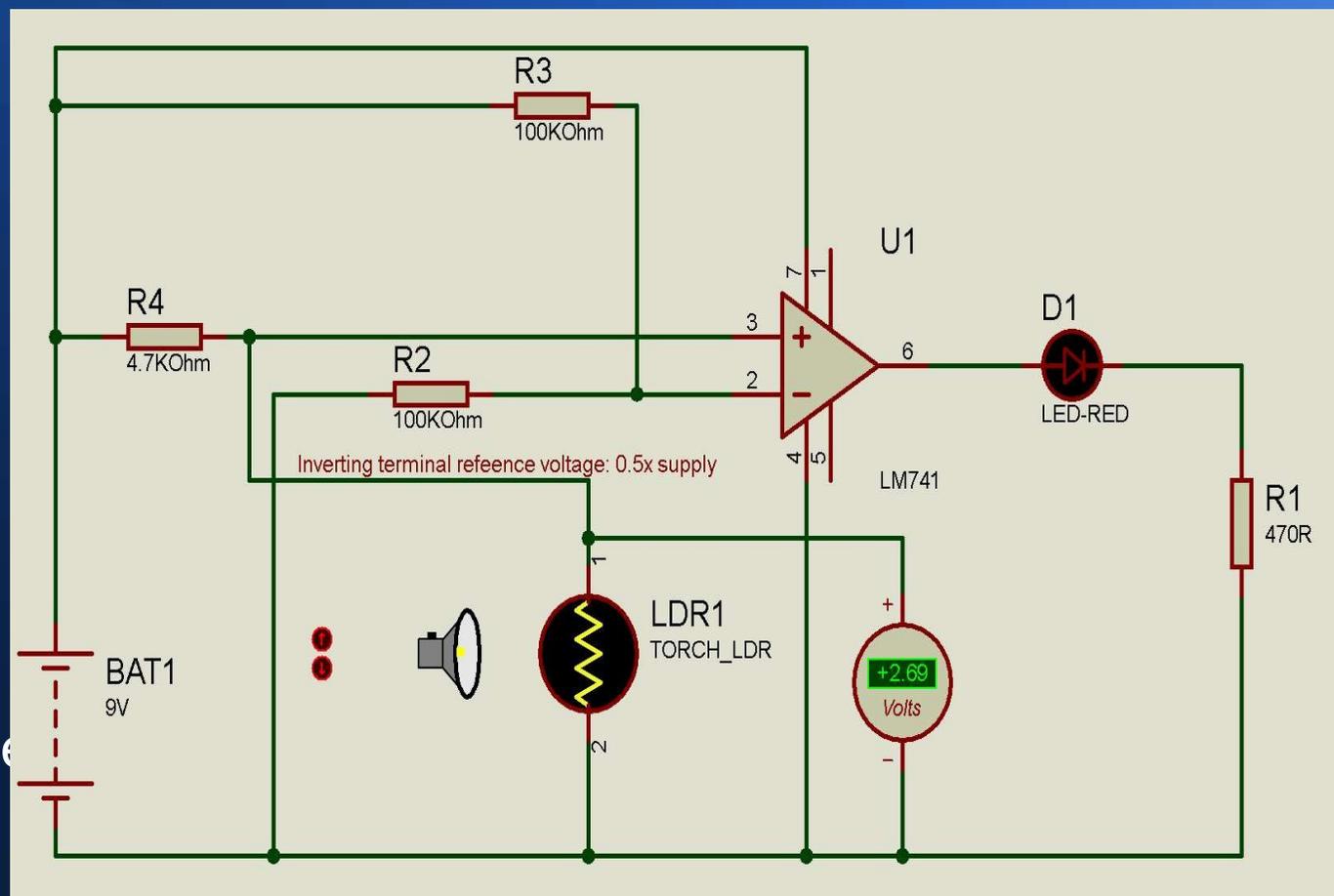
**Questa è una semplice dimostrazione di come l'illuminazione può essere controllata mediante un resistore dipendente dalla luce. L'LDR funge da rilevatore di luce diurna.**

**L'idea è che l'illuminazione si attivi automaticamente quando la luce scende al di sotto di un determinato livello. In questo circuito dimostrativo la torcia sostituisce la luce del giorno. L'amplificatore operazionale UA741 viene utilizzato come un comparatore. La tensione di riferimento è pari alla metà della tensione di alimentazione.**

# Rilevamento - Diurno (torcia spenta) - notare che il diodo luminoso D1 è spento.

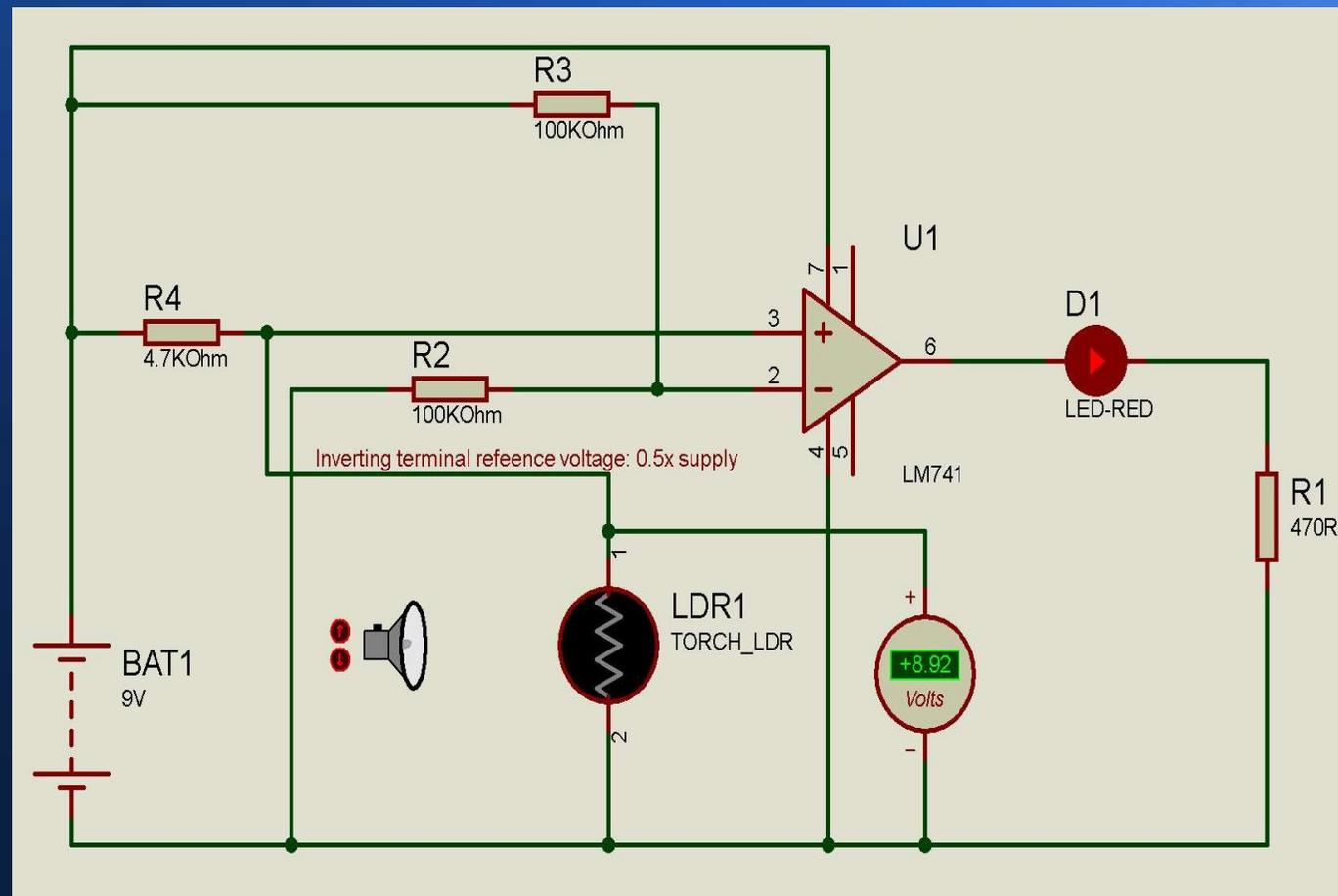
Quando il livello di luce riduce la tensione al di sotto del valore di riferimento di 4,5 V, D1 si spegne.

Un modo semplice per automatizzare l'illuminazione.



# Rilevamento - Notturmo (torcia spenta) - notare che il diodo luminoso D1 è acceso.

8,92 V è superiore alla tensione di riferimento.

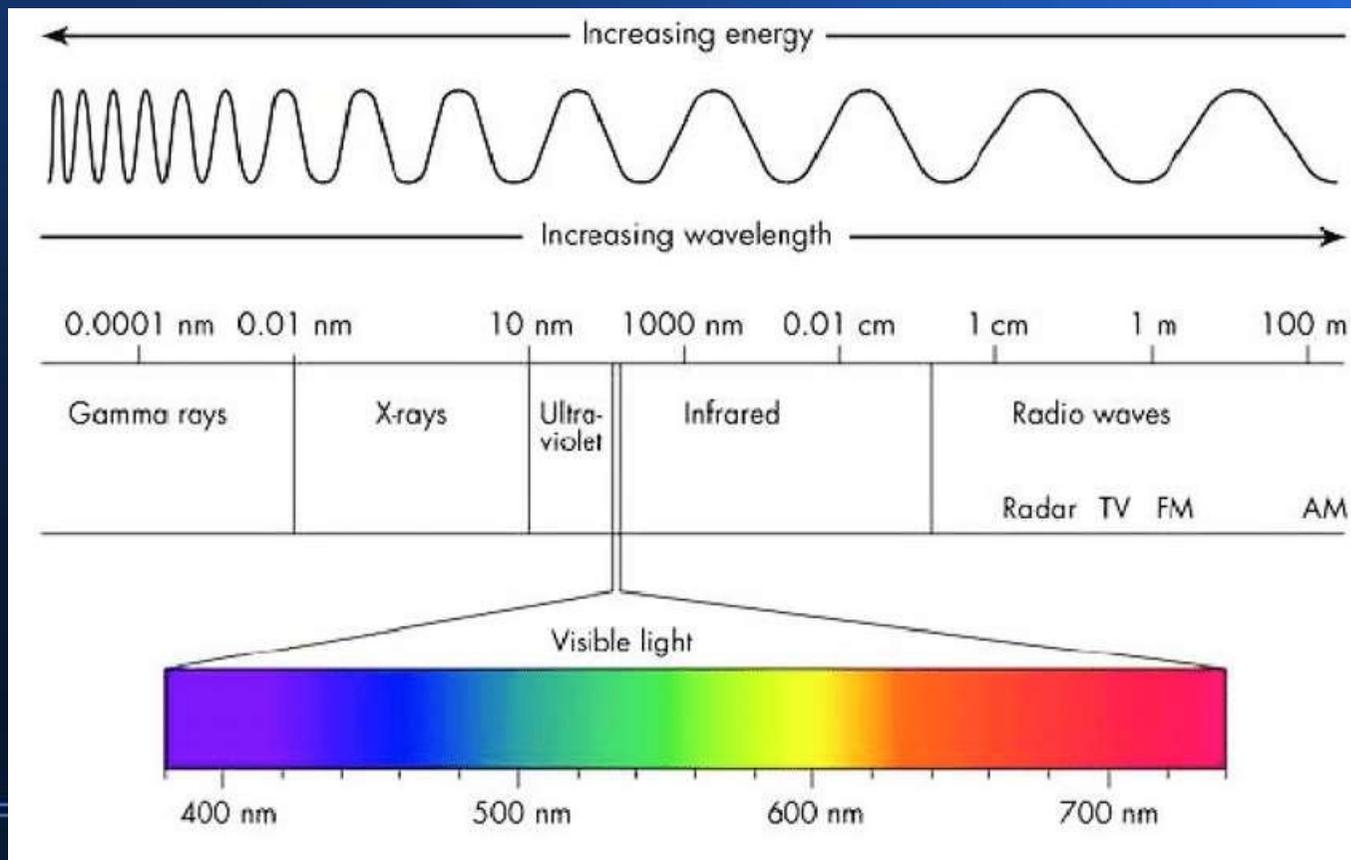


# Rilevare oltre i sensi umani

- È possibile progettare dispositivi elettronici in grado di percepire cose che non possiamo percepire direttamente. Per fare qualche esempio:
- Gli ultrasuoni ci permettono di "vedere" all'interno del nostro corpo;
- Le immagini delle telecamere a infrarossi ci permettono di "vedere" le immagini del calore irradiato;
- le immagini a terahertz (micrometriche) ci permettono di vedere attraverso i materiali opachi
- I nostri occhi sono sensibili solo a una piccola "finestra" nello spettro elettromagnetico....

# Lo spettro elettromagnetico

- I nostri occhi percepiscono solo lunghezze d'onda comprese tra 0,4 e 0,7 mm.



# La logica: cos'è?

- A volte le informazioni provenienti dai sensori vengono trasmesse direttamente a un essere umano che deve agire, come nel caso di una visualizzazione. Tuttavia, in molti casi queste informazioni vengono utilizzate per controllare automaticamente i sistemi. Per fare ciò sono necessarie le funzioni della logica, che vengono svolte da circuiti logici o da microprocessori programmabili o microcontrollori.

# Azionamento

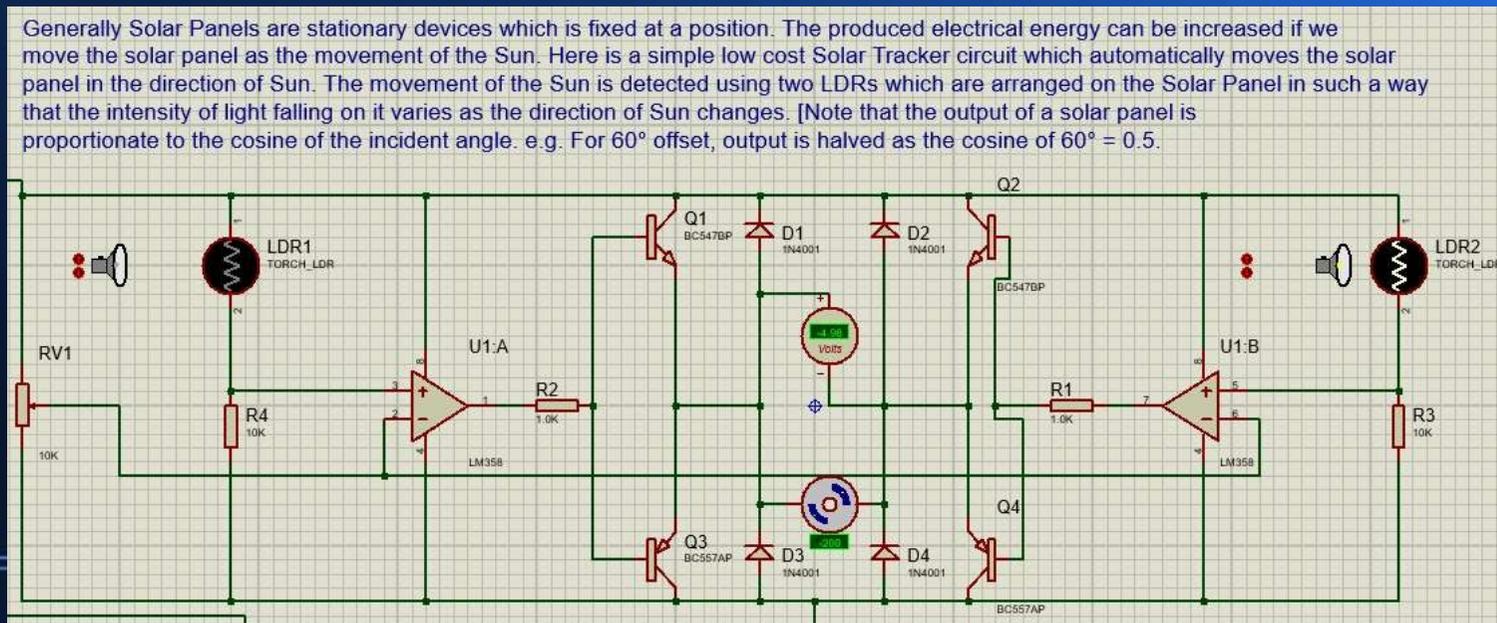
- Gli attuatori sono componenti che controllano il movimento in un sistema autonomo. In molti sistemi, gli attuatori di vario tipo sono controllati automaticamente per ottenere il comportamento desiderato. Tra gli esempi vi sono i motori elettrici (compresi i motori passo-passo) e gli attuatori pneumatici.
- La robotica è possibile grazie all'uso intelligente dell'attuazione!

# Azionamento

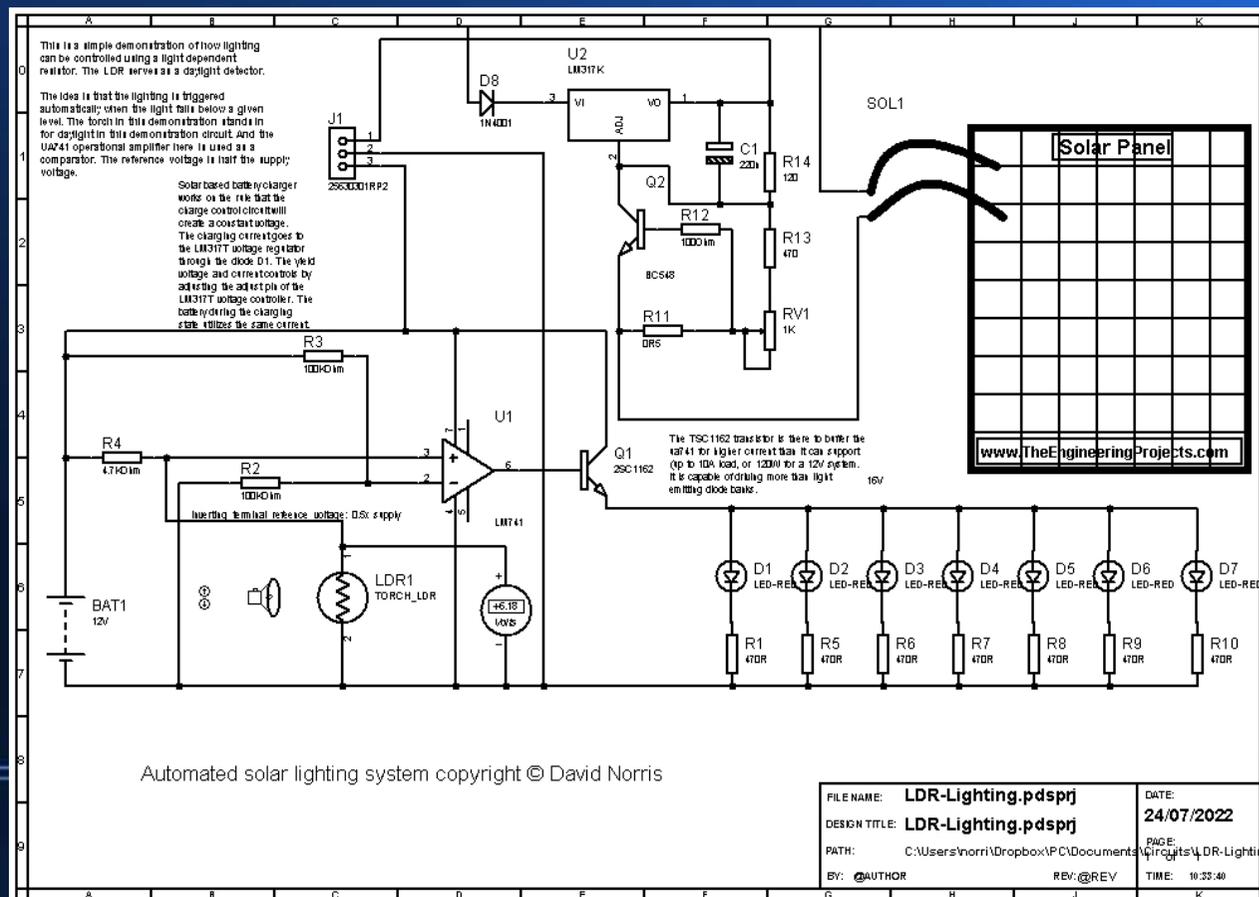
- Gli attuatori sono componenti che controllano il movimento in un sistema autonomo. In molti sistemi, gli attuatori di vario tipo sono controllati automaticamente per ottenere il comportamento desiderato. Tra gli esempi vi sono i motori elettrici (compresi i motori passo-passo) e gli attuatori pneumatici.
- La robotica è possibile grazie all'uso intelligente dell'attuazione!

# Un semplice metodo di controllo analogo: un anello di retroazione a due vie

- Questo è un semplice esempio di circuito di controllo a retroazione analogica. Non ci sono controlli digitali. In questo caso, l'azionamento avviene tramite due amplificatori operazionali impostati come comparatori: se un LDR rileva più luce dell'altro, emette una tensione maggiore rispetto all'altro e fa girare il motore finché gli LDR non ricevono la stessa intensità luminosa. Semplice, ma efficace.



# Un sistema di illuminazione completamente automatizzato e alimentato a energia solare. Il rilevamento utilizza resistenze dipendenti dalla luce, mentre l'amplificatore operativo è un comparatore in questa applicazione. Copyright © David Norris, 2022



# Relazioni tra tensione, corrente, resistenza e potenza

- Per un circuito in corrente continua, le relazioni sono semplici...
- Potenza (W) = tensione (V) x corrente (in ampere, simbolo I)
- Resistenza (W) =  $V/I$
- Quindi la potenza è il prodotto di tensione e corrente, e la corrente è proporzionale alla tensione nella maggior parte dei materiali, detti "ohmici".
- Si noti tuttavia che alcuni materiali non hanno una relazione ohmica (si vedano i diodi e i transistor più avanti).
- E per quanto riguarda i circuiti in corrente alternata, notate che la questione è più complessa! In seguito parleremo anche di resistenza e capacità.

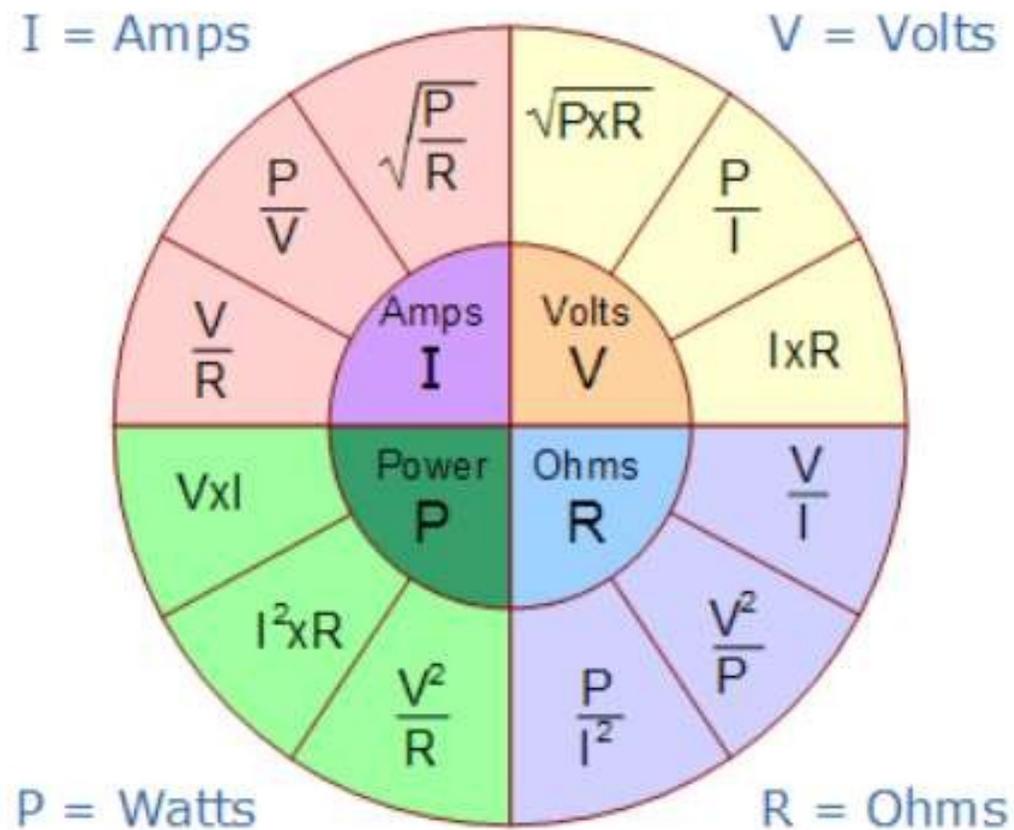
# Prefissi - per grandi e piccole quantità

- Esistono anche prefissi più o meno grandi!
- Ma ce ne sarà abbastanza per iniziare.
- Queste sono tutte unità SI.

Prefix	Symbol	Multiple of standard unit		Example
micro	$\mu$	one millionth	$10^{-6}$	microamp, $\mu\text{A}$
milli	m	one thousandth	$10^{-3}$	millivolt, mV
kilo	k	one thousand	$10^3$	kilo-ohm, $\text{k}\Omega$
mega	M	one million	$10^6$	megawatt, MW

# Un modo semplice per ricordare la legge di Ohm...

Ohms Law Pie Chart



# Alcuni componenti di base

- **Funzione dei componenti elettronici di base**
- Terminali e connettori: Componenti per la realizzazione di collegamenti elettrici.
- Resistori: Componenti utilizzati per resistere alla corrente.
- Interruttori: Componenti che possono essere fatti funzionare (chiusi) o non funzionare (aperti).
- Condensatori: Componenti che immagazzinano carica elettrica in un campo elettrico.
- Componenti magnetici o induttivi: Si tratta di componenti elettrici che sfruttano il magnetismo, come gli induttori....
- Componenti di rete: Componenti che utilizzano più di un tipo di componente passivo.
- Dispositivi piezoelettrici, cristalli, risonatori: Componenti passivi che utilizzano l'effetto piezoelettrico.
- Semiconduttori: Parti di controllo elettronico senza parti in movimento.
- Diodi: Componenti che conducono l'elettricità in una sola direzione.
- Transistor: Dispositivo a semiconduttore in grado di amplificare.
- Circuiti integrati o IC: Un circuito microelettronico incorporato in un chip o in un semiconduttore; un intero sistema piuttosto che un singolo componente.

# Introduzione ai circuiti elettrici

- Unità di misura: un elenco più completo

Quantity	Quantity Symbol	Unit	Unit Symbol	Quantity	Quantity Symbol	Unit	Unit Symbol
Length	l	metre	m	Resistance	R	ohm	$\Omega$
Mass	m	kilogram	kg	Conductance	G	siemen	S
Time	t	second	s	Electromotive force	E	volt	V
Velocity	v	metres per second	m/s or $\text{m s}^{-1}$	Potential difference	V	volt	V
Acceleration	a	metres per second squared	$\text{m/s}^2$ or $\text{m s}^{-2}$	Work	W	joule	J
Force	F	newton	N	Energy	E (or W)	joule	J
Electrical charge or quantity	Q	coulomb	C	Power	P	watt	W
Electric current	I	ampere	A	These are the units we need in our discussion of electrical machines. Please use these symbols to prevent confusion.			
				All of these are S.I units.			

# Caratteristiche elettriche

- Le caratteristiche elettriche hanno spesso equivalenti fisici nel mondo delle macchine...

Pressione	G/m <sup>2</sup>	Pressione elettrica	Tensione (V)
Attuale	Litri/secondo	Corrente elettrica	Ampere (I)
Attrito	Newton	Resistenza	Ohm (W)
Capacità	Litri	Carica	Coulomb (C)
-	-	Potenza	Watt (W)
Conduttanza termica	W/M <sup>2</sup> .K	Conduttanza	Siemens (s)
-	-	Induttanza	Hendries (L)



# Legge di Ohm - in dettaglio

- Legge di Ohm
- La legge di Ohm stabilisce che la corrente  $I$  che scorre in un circuito:
- è direttamente proporzionale alla tensione applicata  $V$  e
- inversamente proporzionale alla resistenza  $R$ , a patto che la
- temperatura rimane costante. Quindi,
- $I = V/R$  o  $V = IR$  o  $R = V/I$
- Ciò è analogo al flusso di corrente in un tubo d'acqua. Il flusso di corrente è proporzionale alla pressione e inversamente proporzionale alla forza di attrito.
- La conduttanza è il reciproco della resistenza. Si misura in Siemens (S) come  $1/R$ .

# Esempio di calcolo

- Un diodo a emissione luminosa (l.e.d.) necessita di un resistore di limitazione della corrente per garantire che non passi più di 20 mA attraverso il l.e.d. (altrimenti si brucia). La tensione è di 9 V da una batteria PP3. Qual è il valore più basso della resistenza che possiamo utilizzare? (Si noti che il l.e.d. non ha una resistenza ohmica, ma introduce una caduta di tensione in un circuito. È un esempio di dispositivo non ohmico. Senza resistenza limitante, il flusso di corrente sarebbe:  $9V / 0W = \infty!$ . In pratica, la corrente massima che la batteria può erogare. In questo modo si brucia il l.e.d.).
- Facendo riferimento alla legge di Ohm,  $R = V/I = 9 \times 0,002 = 4500W$  o 4,5kW. Come 4,5kW non è un valore preferibile, in pratica utilizzerei una resistenza da 4,7kW o 4k7.
- Ma come si fa a capire il valore di un resistore?

# Resistore Codice colore

- Il nostro resistore da 4k7 avrà delle bande: gialla, viola, marrone (la tolleranza non è troppo critica in questo caso).

Color	Value	Multiplier	Tolerance
Black	0	$\times 10^0$	$\pm 20\%$
Brown	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$
Red	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
Orange	3	$\times 10^3$	$\pm 3\%$
Yellow	4	$\times 10^4$	- 0, + 100%
Green	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$
Blue	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\%$
Violet	7	$\times 10^7$	$\pm 0.10\%$
Gray	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\%$
White	9	$\times 10^9$	$\pm 10\%$
Gold	-	$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
Silver	-	$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$

**4-band resistor**



**270 ohms  $\pm 5\%$**

**5-band resistor**



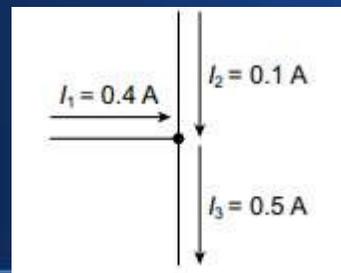
**100k ohms  $\pm 1\%$**

# Esercizio sulla legge di Ohm

- Un bollitore è progettato per assorbire 10A di corrente dalla rete elettrica a 230V. Trovare: la resistenza dell'elemento e la potenza nominale del bollitore?
- $R(W) = V/I = 230/10 = 23W$
- Potenza (W) =  $VI = 230V \times 10A = 2300W$   
o 2,3KW.

# Prima legge di Kirchhoff (legge della corrente)

- In qualsiasi giunzione, o nodo, di un circuito, la somma delle correnti che entrano nel nodo è uguale alla somma delle correnti che escono dal nodo. Ciò equivale a dire che la carica non può essere immagazzinata in questi nodi, né dispensata da essi. Si tratta di una regola utile da ricordare, che aiuta a distinguere i luoghi in cui l'energia può essere immagazzinata (induttori e condensatori, di cui si parlerà più avanti) da quelli in cui non può essere immagazzinata (come connettori, resistenze e trasduttori).



# Leggi di Kirchhoff | KCL e KVL

- Legge di tensione di Kirchhoff (KVL)
- La seconda legge è detta anche legge di Kirchhoff sulla tensione (KVL). Essa afferma che la somma degli aumenti e delle diminuzioni di tensione su tutti gli elementi di un circuito chiuso è uguale a zero. In forma di formula:
- $\sum_{i=1}^n V_i = 0$

Legge di tensione di Kirchov:

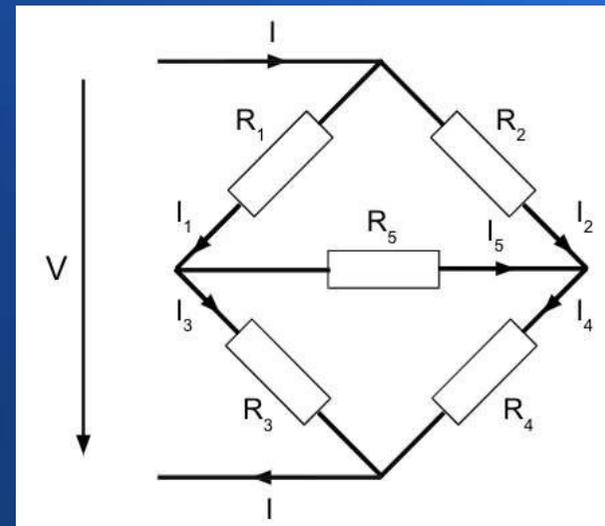
$$\sum_k V_k = 0 \quad \text{where } k = 1, 2, 3, 4, \dots$$
$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots = 0$$

Legge di Kirchov sulle correnti:

$$\sum_k i_k = 0 \quad \text{where } k = 1, 2, 3, 4, \dots$$
$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots = 0$$

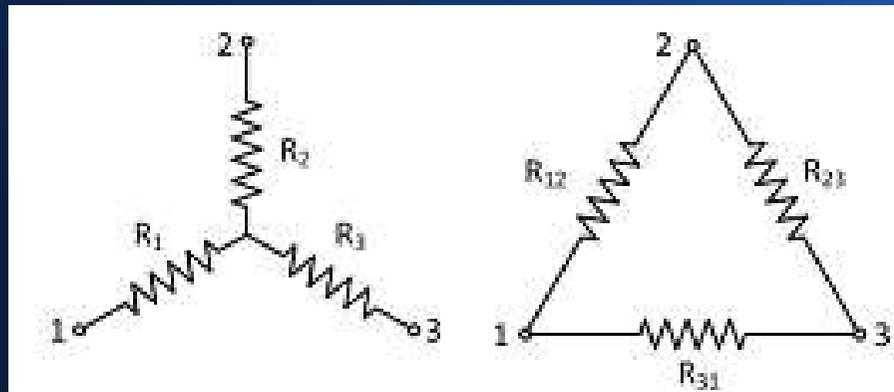
# Legge di Kirchhoff Esempio: il ponte di Wheatstone

- I circuiti a ponte sono uno strumento molto comune in elettronica. Sono utilizzati nelle misure, nei trasduttori e nei circuiti di commutazione. Da studente ho avuto un compito che ne prevedeva uno. In questo esempio, mostreremo come utilizzare le leggi di Kirchhoff per determinare la corrente  $I_5$ . Il circuito ha quattro sezioni a ponte con resistenze  $R_1 - R_4$ . C'è un collegamento a ponte incrociato con la resistenza  $R_5$ . Il ponte è soggetto a una tensione  $V$  e a una corrente  $I$  costanti.
- La prima legge di Kirchhoff (KCL) afferma che la somma di tutte le correnti in un nodo è zero. Pertanto, la corrente totale in entrata deve essere uguale alla corrente totale in uscita: non è possibile produrre elettroni ed energia o distrutto.



# Legge di Kirchoff Esempio: la conversione stella-delta (o Y-D)

- Le leggi di Kirchoff possono essere utilizzate per convertire un collegamento a stella (noto anche come Y) in un collegamento a triangolo. Ad esempio, questo collegamento è spesso presente nei sistemi a corrente alternata trifase (ad esempio la rete elettrica a 400/230 V dell'Unione Europea). Un'applicazione molto diffusa per i collegamenti stella-triangolo, oltre ai trasformatori trifase, è la limitazione della corrente di avviamento dei motori elettrici. L'elevata corrente di avviamento causa forti cadute di tensione nel sistema di alimentazione. Come soluzione, gli avvolgimenti del motore sono collegati in configurazione a stella durante l'avviamento e poi passano al collegamento a triangolo.



# Capacità

- La capacità è il rapporto tra la quantità di carica elettrica immagazzinata su un conduttore e la differenza di potenziale elettrico.
- In genere, per separare la carica elettrica si utilizzano due conduttori, uno dei quali è carico positivamente e l'altro negativamente, ma il sistema ha una carica totale pari a zero. Il rapporto in questo caso è la grandezza della carica elettrica su uno dei due conduttori e la differenza di potenziale misurata tra i due conduttori.
- La capacità è funzione solo della geometria del progetto (l'area delle piastre e la distanza tra di esse) e della permittività del materiale dielettrico tra le piastre del condensatore. Per molti materiali dielettrici, la permittività e quindi la capacità è indipendente dalla differenza di potenziale tra i conduttori e dalla carica totale su di essi.
- L'unità di misura della capacità è il Farad (F). Un condensatore da 1 farad, caricato con 1 coulomb di carica elettrica, presenta una differenza di potenziale di 1 volt tra le sue piastre. Il reciproco della capacità è chiamato elastanza. La formula per calcolare la reattanza capacitiva è:  $X_c = 1 / (2\pi f C)$  dove  $f$  è in hertz,  $C$  in farad.
- Il Farad è, in pratica, un'unità molto grande, quindi la maggior parte dei valori è espressa in mF, nF e persino pF.

# Esempio di reattanza capacitiva

$$X_c = \frac{1}{(2\pi FC)}$$

- Trovare la reattanza di una capacità di 1uF alla frequenza di rete di 50Hz.
- $X_c = 1/(2\pi FC) = 1/(2\pi(50)(0,000001)) = 3,183k\Omega$
- Su un'alimentazione in corrente continua, un condensatore si carica semplicemente fino alla tensione di alimentazione e non scorre più corrente. Nel caso della corrente alternata, la polarità si inverte continuamente, quindi il condensatore non raggiunge mai la tensione, consentendo un "flusso" di corrente!

# Esempio di reattanza induttiva

$$X_L = 2\pi FL$$

- Ad esempio, prendiamo un induttore da 10000mH alla frequenza di rete di 50Hz:
- $X_L = 2\pi FL = 2\pi(50)(0,0001) = 3,14\Omega$
- Ricordate che 10000mH = 10mH!
- Quando si applica la corrente continua a un induttore, si verifica un breve picco di tensione (noto come back EMF) e poi la corrente costante che scorre non induce più tensione nell'induttore. Nel caso della corrente alternata, la corrente cambia continuamente! Quindi, viene indotta una tensione inversa che cerca di opporsi al flusso di corrente.

# Resistori, condensatori e induttori in serie e in parallelo

- Memorizzare!

	<b>RESISTOR</b>	<b>CAPACITOR</b>	<b>INDUCTOR</b>
Elements Symbol			
Denoted by	<b>R</b>	<b>C</b>	<b>L</b>
Equation	$R = \frac{V}{I}$	$C = \frac{Q}{V}$	$L = \frac{V_L}{(di/dt)}$
Series	$R_T = R_1 + R_2$	$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$	$L_T = L_1 + L_2$
Parallel	$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$	$C_T = C_1 + C_2$	$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$

# Resistività elettrica: una breve introduzione

- La resistività elettrica è una misura della proprietà di un materiale di opporsi al flusso di corrente elettrica. Viene espressa in Ohm-metri ( $\Omega \cdot m$ ). Il simbolo della resistività è solitamente la lettera greca  $\rho$  (rho). Un'alta resistività significa che un materiale non conduce carica elettrica. Una bassa resistività significa un buon conduttore!
- La resistività elettrica è definita come la relazione tra il campo elettrico all'interno di un materiale e la conseguente corrente elettrica che lo attraversa:
  - $\rho = E/J$  dove
  - in cui  $\rho$  è la resistività del materiale ( $\Omega \cdot m$ ),
  - $E$  è la grandezza del campo elettrico nel materiale (V/m),
  - $J$  è l'entità della densità di corrente elettrica nel materiale (A/m<sup>2</sup>)
- Se il campo elettrico ( $E$ ) attraverso un materiale è molto grande e il flusso di corrente ( $J$ ) è molto piccolo, significa che il materiale ha un'alta resistività.
- Ad esempio, il filo di rame ha una resistività inferiore a quella del filo di nichel (utilizzato per la produzione di elementi riscaldanti).

# Resistenza del filo

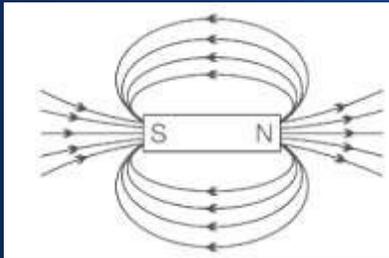
- Qual è la resistenza effettiva di un filo? Il valore della resistenza di un filo dipende da tutti e tre i seguenti parametri: resistività, lunghezza e diametro. La formula per calcolare la resistenza del filo è la seguente:
- $R = \rho (l / A)$
- in cui R è la resistenza in ( $\Omega$ ),
- $\rho$  è la resistività del materiale ( $\Omega \cdot m$ ),
- l è la lunghezza del materiale (m),
- A è l'area della sezione trasversale del materiale ( $m^2$ ).
- Ne consegue che un lungo filo sottile ha una resistenza molto più elevata di un cavo spesso di breve lunghezza dello stesso materiale.
- In pratica, le prestazioni e le considerazioni economiche determinano il tipo di cavo da utilizzare in una determinata applicazione.

# Esempi di resistività

Material	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ ) at 20°C	$\sigma$ (S/m) at 20°C	Temperature coefficient (1/°C) $\times 10^{-3}$
Silver	$1.59 \times 10^{-8}$	$6.30 \times 10^7$	3.8
Copper	$1.68 \times 10^{-8}$	$5.96 \times 10^7$	3.9
Gold	$2.44 \times 10^{-8}$	$4.10 \times 10^7$	3.4
Aluminum	$2.82 \times 10^{-8}$	$3.5 \times 10^7$	3.9
Tungsten	$5.60 \times 10^{-8}$	$1.79 \times 10^7$	4.5
Zinc	$5.90 \times 10^{-8}$	$1.69 \times 10^7$	3.7
Nickel	$6.99 \times 10^{-8}$	$1.43 \times 10^7$	6
Lithium	$9.28 \times 10^{-8}$	$1.08 \times 10^7$	6
Iron	$1.0 \times 10^{-7}$	$1.00 \times 10^7$	5
Platinum	$1.06 \times 10^{-7}$	$9.43 \times 10^6$	3.9
Tin	$1.09 \times 10^{-7}$	$9.17 \times 10^6$	4.5
Lead	$2.2 \times 10^{-7}$	$4.55 \times 10^6$	3.9
Manganin	$4.82 \times 10^{-7}$	$2.07 \times 10^6$	0.002
Constantan	$4.9 \times 10^{-7}$	$2.04 \times 10^6$	0.008
Mercury	$9.8 \times 10^{-7}$	$1.02 \times 10^6$	0.9
Nichrome	$1.10 \times 10^{-6}$	$9.09 \times 10^5$	0.4
Carbon (amorphous)	$5 \times 10^{-4}$ to $8 \times 10^{-4}$	1.25 to $2 \times 10^3$	-0.5

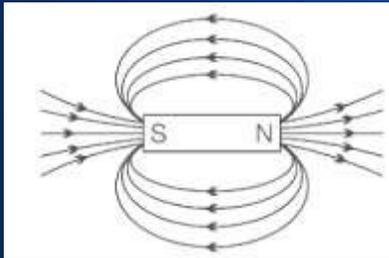
# Elettromagnetismo

- Un magnete è un materiale o un oggetto che crea un campo magnetico. Sebbene il campo magnetico sia completamente invisibile, crea una forza che attira altri materiali ferromagnetici, come ferro, acciaio, nichel e cobalto. Può anche attrarre o respingere altri magneti (i poli simili si respingono, i poli diversi si attraggono). Mentre un magnete attrae questi esempi di materiali magnetici, i materiali non magnetici, come la gomma, le monete, la piuma e il cuoio, non vengono attratti. Questo è un diagramma del campo attorno a un semplice magnete a barra:



# Elettromagnetismo

- Un magnete è un materiale o un oggetto che crea un campo magnetico. Sebbene il campo magnetico sia completamente invisibile, crea una forza che attira altri materiali ferromagnetici, come ferro, acciaio, nichel e cobalto. Può anche attrarre o respingere altri magneti (i poli simili si respingono, i poli diversi si attraggono). Mentre un magnete attrae questi esempi di materiali magnetici, i materiali non magnetici, come la gomma, le monete, la piuma e il cuoio, non vengono attratti. Questo è un diagramma del campo attorno a un semplice magnete a barra:



# Elettromagnetismo

- Le correnti elettriche sono tipicamente costituite da un numero enorme di cariche elettriche che si muovono in un movimento coordinato e complessivo. Tuttavia, a meno che non lo si veda riscaldarsi e iniziare a brillare, non è facile capire dall'esterno se un filo sta trasportando una corrente o meno.
- Questo perché un conduttore rimane elettricamente neutro mentre gli elettroni lo attraversano. Gli elettroni in eccesso che entrano in un segmento del filo da un'estremità saranno simultaneamente compensati dagli elettroni che escono da quel segmento dall'altra estremità. Ricordiamo che il conduttore contiene tante cariche positive nei nuclei dei suoi atomi quanti sono gli elettroni in esso contenuti.
- L'elettromagnetismo è il modo migliore per rilevare e quantificare quanti ampere di corrente stanno attraversando un circuito. È creato dal movimento degli elettroni a carica negativa che costituiscono la corrente, mentre i nuclei a carica positiva non hanno alcun effetto magnetico perché non si muovono! Quindi, mentre le influenze elettriche di elettroni e nuclei si annullano viste dall'esterno, i loro effetti magnetici non si annullano.

# Elettromagnetismo

- Come si creano i campi elettromagnetici e cosa ne determina l'intensità?
- Un elettromagnete utilizza una corrente elettrica per creare le stesse forze magnetiche di cui abbiamo appena parlato. Gli elettromagneti vengono utilizzati per qualsiasi cosa, dalla gru di un rottamaio che solleva le auto in disuso al controllo del fascio di un acceleratore di particelle. Ma se si osserva da vicino un elettromagnete, non è altro che una bobina di filo ad anello, proprio come le bobine di cui abbiamo appena parlato nei motori e nei contattori.
- Come possiamo utilizzare lo stesso dispositivo (una bobina) per due scopi diversi: creare una forza su una corrente, come in un motore, e trasformare una corrente in un campo magnetico?
- Ricordiamo la terza legge di Newton: ogni azione crea una reazione uguale e contraria. In un motore, un magnete crea una forza sulla bobina portatrice di corrente attraverso il campo magnetico. Per la terza legge di Newton, la bobina di corrente deve contemporaneamente esercitare una forza sul magnete. Questo è il campo magnetico creato dalla bobina, che la trasforma in un elettromagnete.

# Elettromagnetismo e legge di Ampere

- Per quantificare l'intensità e la direzione del campo magnetico creato dalle correnti che scorrono, è meglio iniziare con il caso più semplice di un filo rettilineo.
- In tutti i casi, il campo magnetico è proporzionale alla corrente. Ma il modo in cui il comportamento del campo magnetico dipende dalla posizione dell'utente rispetto ai fili è molto influenzato dalla geometria dei fili.
- Il comportamento più semplice si riscontra per un filo rettilineo: in questo caso il campo magnetico diminuisce inversamente alla distanza misurata perpendicolarmente al filo.
- La Legge di Ampère è una scoperta di André-Marie Ampère - è un esempio della Terza Legge di Newton in azione, perché mette la "fonte" e il "destinatario" di una forza magnetica sullo stesso piano - devono esserlo (poiché azione e reazione sono uguali!).

# Elettromagnetismo: è tempo di numeri!

- Un Tesla è uguale a un Newton per metro e ampere. Un esempio lo illustra: Corrisponde esattamente alla densità di flusso di un Tesla, che esercita su un conduttore elettrico lungo 1 metro, che a sua volta conduce una corrente di 1 ampere, esattamente 1 Newton di attrazione.
- L'unità Tesla (T) nel magnetismo: Il Tesla prende il nome dall'ingegnere e inventore Nikola Tesla. La definizione di densità di flusso magnetico non corrisponde direttamente a quella di campo magnetico. Tuttavia, può essere specificata nelle due quantità (unità) Gauss e Tesla. Per convertire l'unità Tesla si applica la seguente relazione:
  - $1 \text{ Tesla} = 10.000 \text{ Gauss}$
  - $1 \text{ T} = 1000 \text{ mT}$
  - $1 \text{ KG (esterno)} = 0,1 \text{ T}$

# Fondamenti dell'unità Tesla e del calcolo

- La definizione di densità di flusso magnetico non corrisponde a quella di campo magnetico. Tuttavia, può essere specificata nelle due quantità (unità) Gauss e Tesla. Per convertire l'unità Tesla si applica la seguente relazione:
- $1 \text{ Tesla} = 10.000 \text{ Gauss}$
- $1 \text{ T} = 1000 \text{ mT (esla)}$
- $1 \text{ KG (esterno)} = 0,1 \text{ T (esla)}$
- In fisica, la densità di flusso magnetico è abbreviata con la lettera B. Un magnete è un materiale ferromagnetico magnetizzato. La forza del magnete è descritta dalla rimanenza. Le unità di rimanenza di un magnete permanente sono quindi anche le unità Gauss e Tesla.

L'unità Tesla e il calcolo:

- La densità di flusso magnetico può infine essere calcolata dalla forza delle cariche in movimento. Si applica la seguente relazione:
- $1/\text{T} = 1(\text{N}/\text{Am})$ .
- Un Tesla è uguale a un Newton per metro e ampere. Un esempio lo illustra: Corrisponde esattamente alla densità di flusso di un Tesla, che esercita su un conduttore elettrico lungo 1 metro, che a sua volta conduce una corrente di 1 ampere, esattamente 1 Newton di attrazione. Il campo magnetico necessario è creato dal flusso di corrente nel conduttore o dagli elettroni in movimento.

# Fondamenti dell'unità Tesla e del calcolo

- Dalla densità di flusso magnetico  $B$  si può determinare l'intensità del campo magnetico  $H$ . La densità di flusso magnetico deve essere divisa per la permeabilità del vuoto  $\mu_0$  e quella del materiale  $\mu$  - ad esempio, il materiale del nucleo di una bobina (di solito il ferro in un trasformatore):
- $H = 1/(\mu * \mu_0) B$

# Fondamenti dell'unità Tesla e del calcolo

- Definizione
- Una particella che trasporta una carica di un coulomb e si muove perpendicolarmente attraverso un campo magnetico di un tesla, alla velocità di un metro al secondo, subisce una forza di magnitudo un newton, secondo la legge di Lorentz. Il Tesla, come qualsiasi unità S.I., può essere espresso come:

$$T = \frac{V \cdot s}{m^2} = \frac{N}{A \cdot m} = \frac{J}{A \cdot m^2} = \frac{H \cdot A}{m^2} = \frac{Wb}{m^2} = \frac{kg}{C \cdot s} = \frac{N \cdot s}{C \cdot m} = \frac{kg}{A \cdot s^2}$$

# Caratteristiche termiche dei materiali: progettazione chimica e meccanica

- Molte macchine alimentate elettricamente sono progettate per trasferire calore (e/o impedire il trasferimento di calore) e questo rende la progettazione termica un aspetto importante. Inoltre, il calore residuo può accumularsi in qualsiasi macchina: poiché nessuna forma di conversione dell'energia è efficiente al 100%, una parte dell'energia viene persa sotto forma di calore. I motori, i trasformatori e persino i componenti elettronici creano calore, quindi la progettazione termica diventa un aspetto da considerare. Ad esempio, il computer richiede una ventola di raffreddamento e alcuni componenti elettronici, in particolare i transistor di potenza, possono necessitare di un dissipatore per evitare un riscaldamento eccessivo.
- Esistono 3 leggi della termodinamica.
- 1a legge della termodinamica - L'energia non può essere creata o distrutta, ma può essere convertita da una forma all'altra;
- Seconda legge della termodinamica - Per un processo spontaneo, l'entropia dell'universo aumenta.
- Terza legge della termodinamica - Un cristallo perfetto a zero Kelvin ha entropia zero.

# Meccanismi di trasferimento del calore

- I meccanismi di trasferimento del calore sono sostanzialmente quattro. I meccanismi di trasferimento del calore sono i seguenti:
- **Conduzione:** È il trasferimento di calore (di solito attraverso un solido; i liquidi e i gas intrappolati non conducono bene). Ad esempio, il calore generato all'interno di un involucro viene trasferito alla superficie esterna per conduzione.
- **La convezione** è il trasferimento di calore da una superficie per mezzo di un fluido (liquido o gas). La convezione si verifica quando i liquidi o i gas vengono riscaldati: si espandono, salgono e vengono sostituiti da un fluido più freddo. La quantità di convezione può essere aumentata utilizzando una ventola per aumentare il flusso.
- **Radiazione:** È un processo in cui l'energia viene irradiata per mezzo di radiazioni elettromagnetiche quando un oggetto ha una temperatura  $>$  dello zero assoluto ( $-273,16^{\circ}\text{C}$  o  $0^{\circ}\text{K}$ ). Sebbene sia efficace per le sorgenti ad alta temperatura come il sole, è meno efficace per le piccole differenze di temperatura.
- **Raffreddamento evaporativo:** Il calore latente di un liquido può essere utilizzato per trasferire calore assorbendo l'energia necessaria per farlo evaporare. Il calore assorbito viene rilasciato lasciando che il liquido si condensi all'esterno dell'involucro: è così che funziona il vostro frigorifero.

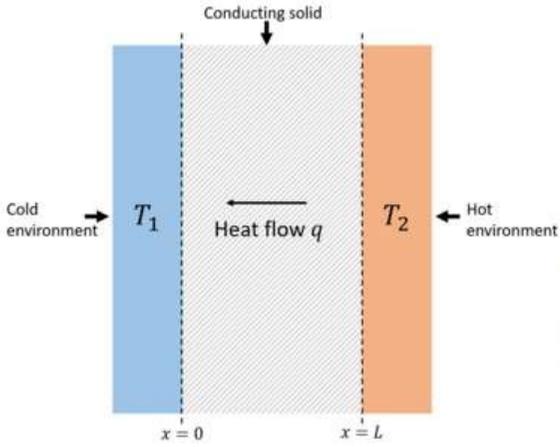
# Prevenzione del trasferimento di calore

- In alcune situazioni il trasferimento di calore non è auspicabile. Come mostra la diapositiva precedente, il calore viene trasferito in molti modi. Presenta sia vantaggi che svantaggi. Il trasferimento di calore può essere controllato e impedito con l'isolamento, in modo da ridurre al minimo il trasferimento all'ambiente. Lo scopo dell'isolamento è quello di impedire il trasferimento di calore da una temperatura più alta a una più bassa; pertanto, nella progettazione dell'isolamento si deve tenere conto di tutte le modalità di trasferimento del calore. La proprietà più importante dell'isolamento è la scarsa conduttività termica: un materiale con scarsa conduttività termica agisce come un buon isolante termico.
- Poiché il trasferimento di calore può avvenire in molti modi e



# La conducibilità termica in pratica...

- Un buon isolante presenta una scarsa conduttività termica...



The diagram shows a central grey hatched rectangle labeled "Conducting solid" between two vertical bars. The left bar is blue and labeled "Cold environment" with temperature  $T_1$  and an arrow pointing right. The right bar is orange and labeled "Hot environment" with temperature  $T_2$  and an arrow pointing left. A horizontal arrow labeled "Heat flow  $q$ " points from right to left through the solid. The left boundary of the solid is at  $x = 0$  and the right boundary is at  $x = L$ .

$$q = -k \cdot \frac{T_2 - T_1}{L}$$

$q$  = thermal conductivity

$T_2 - T_1$  is the temperature differential

$L$  is the thickness of the conductor.

$A$  is the surface area.

Thermal conductance is defined as  $kA/L$  and is measured in watts per degree Kelvin.

Thermal resistance is the inverse of thermal conductance,  $L / (kA)$  and is measured in  $k.W^{-1}$ .

The heat transfer coefficient =  $k/L$ , measured in watts per kelvin,  $W.K.A^{-1}$  - i.e watts per kelvin per square metre.

# Esempio di conducibilità termica

- Considerate cosa succede quando in un congelatore si accumula uno strato di ghiaccio. Quando ciò accade, il congelatore è molto meno efficiente nel mantenere gli alimenti congelati. In condizioni normali, un congelatore mantiene gli alimenti congelati trasferendo il calore attraverso le pareti di alluminio del congelatore. L'interno del congelatore è mantenuto a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; questa temperatura viene mantenuta dall'altro lato dell'alluminio a una temperatura di  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 
- L'alluminio ha uno spessore di  $1,5\text{ mm}$ . La conducibilità termica dell'alluminio è di  $240\text{ J / (s m }^{\circ}\text{C)}$ . Con una differenza di temperatura di  $15^{\circ}$ , la quantità di calore condotta attraverso l'alluminio al secondo per metro quadro può essere calcolata dall'equazione della conduttività:
- $q = kDt/l = 240(15)/0,0015 = 2,4 \times 10^6\text{ J / s m}^2$ .
- Si tratta di un buon tasso di trasferimento del calore.

# Esempio di conducibilità termica

- Considerate cosa succede quando in un congelatore si accumula uno strato di ghiaccio. Quando ciò accade, il congelatore è molto meno efficiente nel mantenere gli alimenti congelati. In condizioni normali, un congelatore mantiene gli alimenti congelati trasferendo il calore attraverso le pareti di alluminio del congelatore. L'interno del congelatore è mantenuto a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; questa temperatura viene mantenuta dall'altro lato dell'alluminio a una temperatura di  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 
- L'alluminio ha uno spessore di 1,5 mm. La conducibilità termica dell'alluminio è di  $240\text{ J / (metri quadrati, m }^{\circ}\text{C)}$ . Con una differenza di temperatura di  $15^{\circ}$ , la quantità di calore condotta attraverso l'alluminio al secondo per metro quadro può essere calcolata dall'equazione della conduttività:
- $q = kDt/l = 240(15)/0,0015 = 2,4 \times 10^6\text{ J / s m}^2$ .
- Si tratta di un buon tasso di trasferimento del calore.

# Esempio di conducibilità termica

- Cosa succede se si accumulano 5 mm di ghiaccio all'interno del congelatore? Il calore deve ora essere trasferito dal congelatore, a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , attraverso 5 mm di ghiaccio, poi attraverso 1,5 mm di alluminio, fino all'esterno dell'alluminio a  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La velocità di trasferimento del calore deve essere la stessa attraverso il ghiaccio e l'alluminio (poiché il calore deve passare attraverso entrambi); ciò consente di calcolare la temperatura all'interfaccia ghiaccio-alluminio.
- Impostando i tassi di trasferimento di calore uguali, si ottiene:
- $k_{ice}(-10 - T)/l_{ice} = k_{al}(T - 25)/l_{al}$
- La conducibilità termica del ghiaccio è di  $2,2\text{ J} / (\text{s m }^{\circ}\text{C})$ .
- Risolvendo per T si ottiene:  $T = (-10k_{ice} / l_{ice} - 25k_{al} / l_{al}) / (k_{ice} / l_{ice} + k_{al} / l_{al}) = -24,959^{\circ}\text{C}$
- Ora, invece di trasferire il calore attraverso l'alluminio con una differenza di temperatura di  $15^{\circ}$ , la differenza è di soli  $0,041^{\circ}$ . Si ottiene così un tasso di trasferimento del calore pari a:
- $J = kDt/l = 240(0,041) / (0,0015) = 6,6 \times 10^3\text{ J} / (\text{s m}^2)$ .
- Quindi, con soli 5 mm di ghiaccio che ricoprono le pareti, la velocità di trasferimento del calore si riduce di oltre 300 volte! Il congelatore deve utilizzare molta più energia per mantenere il cibo freddo. Ecco perché i produttori consigliano di sbrinare regolarmente!

# Tavola periodica degli elementi

(A titolo di riferimento, il silicio e il germanio sono matalloidi).

The periodic table is color-coded by groups. The legend below the table defines the categories:

- Alkali metals (Light blue)
- Alkaline earth metals (Light red)
- Transition metals (Light purple)
- Post-transition metals (Light green)
- Metalloids (Light yellow)
- Reactive nonmetals (Light blue)
- Noble gases (Light pink)
- Lanthanides (Light blue)
- Actinides (Light orange)
- Unknown properties (Light grey)

1	2																	10	11				
H											He												
3	4																	9	10				
Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
5	6																	13	14	15	16	17	18
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36						
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86						
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118						
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og						
58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71																							
Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu																							
Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr																							

# Errori e incertezze

- PRECISIONE E ACCURATEZZA:
- L'accuratezza è l'accordo tra un valore misurato e un valore vero o accettato (l'errore di misura rivela la quantità di imprecisione).
- La precisione è una misura del grado di coerenza e accordo tra misure indipendenti della stessa grandezza (anche l'affidabilità o riproducibilità del risultato).
- Un voltmetro che fornisce letture di 10, 10, 10, 10 e 10 volt su cinque misurazioni di una tensione nota di 10 volt è preciso e accurato;
- Un misuratore che registra 8,8,8,8 e 8 volt su cinque misurazioni a una tensione nota di 10 volt è preciso, ma non accurato.
- Un misuratore che legge 11, 10, 8, 9 e 12 volt su cinque misurazioni di una sorgente nota di 10 volt non è né preciso né accurato.

# Errori e incertezze

- ERRORI CASUALI E SISTEMATICI

- Esistono due tipi di errori nei dati misurati. È importante capire con quali si ha a che fare e come gestirli.
- Gli **ERRORI CASUALI** si riferiscono a fluttuazioni casuali nei dati misurati dovute a:
  - La leggibilità dello strumento
  - Gli effetti del cambiamento di qualcosa nell'ambiente circostante tra una misurazione e l'altra
  - L'osservatore non è perfetto (sì, siete voi!).
  - Gli errori casuali possono essere ridotti con una media. Un esperimento preciso ha un piccolo errore casuale.
- Gli **ERRORI SISTEMATICI** si riferiscono a fluttuazioni riproducibili costantemente nella stessa direzione dovute a:
  - Uno strumento tarato in modo errato
  - Uno strumento con errore di zero (non legge lo zero quando dovrebbe - per correggerlo, il valore dovrebbe essere sottratto da ogni lettura)
  - L'osservatore non è perfetto allo stesso modo durante ogni misurazione. □
  - Gli errori sistematici non possono essere rilevati o ridotti effettuando più misurazioni. Anche un esperimento accurato presenta un piccolo errore sistematico.
- Quando si tracciano i grafici dei dati sperimentali, è possibile capire immediatamente se si tratta di errori casuali o sistematici (se si possono confrontare con i risultati teorici o attesi).

# Errori e incertezze

- **SEGNALAZIONE DI UNA SINGOLA MISURA**
- Sarebbe sorprendente vedere quante poche persone sanno come leggere correttamente qualcosa!
- La maggior parte delle persone cerca di riportare un valore misurato con un grado di certezza troppo generoso - esprimendo più certezza in un valore riportato di quanta ne esista realmente. Questo va evitato! È una pratica scorretta.
- In genere si riporta il valore misurato di qualcosa con la cifra decimale o la precisione che non va oltre la più piccola graduazione (chiamata "conteggio minimo") sullo strumento. Nei casi in cui i minimi conteggi sono sufficientemente ampi da poter stimare con certezza anche al di là di essi, è possibile farlo. In ultima analisi, spetta allo sperimentatore decidere come riportare un valore misurato, ma siate prudenti e non sopravvalutate la precisione dello strumento.
- A volte si sente dire che le incertezze dovrebbero essere generalmente riportate come  $\frac{1}{2}$  del conteggio minimo; questo è tecnicamente corretto. Ma poiché devono essere riportate con lo stesso numero di cifre decimali dello strumento, in pratica ciò equivale a dichiararle come  $\pm$  il minimo.

# Errori e incertezze

- Incertezza nei risultati calcolati: incertezze assolute e percentuali
- Le incertezze assolute sono espresse come  $\pm$  il numero di unità della misura ( $\pm \Delta x$ ).
- Lunghezza =  $234 \pm 2$  mm Periodo =  $1,6 \pm 0,3$  s
- Indica immediatamente i valori sperimentali massimi e minimi di una misura.
- Le incertezze assolute hanno le stesse unità della misura dichiarata. Tutte le incertezze iniziano come incertezza assoluta, dichiarata in base all'incertezza della precisione dello strumento.
- Le incertezze percentuali sono espresse come  $\pm$  [l'incertezza frazionaria della misura x 100] ( $\pm [(\Delta x/x)100]\%$ ).
- Lunghezza =  $234 \pm 2$  mm o  $234 \pm (2/234) \times 100 = 234 (\pm 8,5\%)$  mm
- Periodo =  $1,6 \pm 0,3$  s o  $1,6 \pm (0,3/1,6) \times 100 = 1,6 (\pm 18,8\%)$  mm
- Le incertezze percentuali sono prive di unità e possono far risparmiare molto tempo durante i calcoli, anche se sembra complicato esprimere l'incertezza in questo modo.

# Errori e incertezze

- È buona norma lasciare tutte le risposte finali calcolate con un'incertezza assoluta. Pertanto, è necessario essere in grado di convertire le incertezze assolute in percentuali e viceversa. Costanti come  $\pi$  non influiscono sul calcolo dell'incertezza.
- Quando si eseguono calcoli che coinvolgono incertezze percentuali, è più facile tralasciare il passaggio ( $\times 100$ ) e moltiplicare semplicemente usando la forma decimale.
- Incertezze nella realizzazione di grafici:
- In molti casi, il modo migliore per presentare e analizzare i dati è creare un grafico. Un grafico è una rappresentazione visiva di due cose e mostra bene come sono correlate. Un grafico è la visualizzazione di informazioni quantitative e ci permette di riconoscere le tendenze dei dati. I grafici permettono anche di visualizzare bene le incertezze.

# Errori e incertezze

- Un bel modo per mostrare l'incertezza dei dati è rappresentato dalle barre di errore. Si tratta di barre nelle direzioni x e y intorno a ciascun punto di dati che mostrano immediatamente quanto grande o piccola sia l'incertezza per quel valore. Le incertezze possono essere valori costanti per ogni punto di dati o valori percentuali (nel qual caso la lunghezza varia).
- In ogni caso, un riquadro di errore viene creato quando ci sono barre di errore in entrambe le direzioni x e y intorno a un punto di dati. Di solito è un rettangolo e spesso varia di dimensione intorno a ogni punto.

