Telecomunicazioni

© Piangatello Guido
(guido@piangatello.it)

per la III Informatica articolazione Informatica

Totale audio attuale 4h 15’

Pag. quaderno n.

1	**Matematica/trigon.**				
1.1.2	Oper. con potenze		Elevamento a potenza e $y = a^x$	11’	
1.1.3	Oper. coi logaritmi		Logaritmo e $y = \log x$	9’	
2	**Reti elettriche in cc**		Introd. all’elettronica x telecom.	7’	
2.1	Reti elettriche		Tensione, corrente e resistenza	9’	?
2.2	Resistori		**Resistori**	11’	?
2.4	Partitore di tensione		LAB: Partitore a vuoto	5’	
			LAB: Partitore con interruzione	5’	
2.3.3	Sovrapposizione eff		Ampl. chitarra-**sovrapposizione**	11’	
2.3.2	L. di K. alla maglia		Risol. circuiti e l. di Kirchhoff	12’	
2.3.1	Legge di K. ai nodi		LAB: Partitore con carico		
2.3.4	Teor. di Thevenin		LAB: Equivalente di Thevenin		
3	**Reti elettriche in ac**				
3.5	Condensatore		**Condensatore** e capacità	7’	
3.6	Induttore		**Induttore** e induttanza	5’	
1.2	Seno e coseno		Seno e coseno		
1.3	Numeri complessi		Numeri complessi a + ib	4’	
3.2	Segnali periodici v(t)		Segnali elettrici	11’	
3.3	Metodo vettoriale		Introduzione al teor. di Fourier	4’	
3.4	Impedenza e ammett		Introduzione agli spettri	4’	
3.1	Regime sinusoidale		Circuiti in regime sinusoidale		
4	**Elettronica digitale**				
1.1.5	Binari-esadecimali		Numeri binari/esad. e loro uso	15’	
			Complemento a 2^N, **tipi di dati**	10’	
4.1	Operazioni in binario		**Operazioni** nei 4 sist. di num.	13’	
4.2	Reti l. combinatorie		Tipi di **circuiti digitali**	10’	
4.3	Flip-flop		Sintesi circ. logici Karnaugh	15’	
4.4	Memorie		Una CPU in azione	14’	
4.5	C. programmabili hw		Introduzione ai microcontrollori	4’	

5	**Intro ai sist. di TLC**			
6	**Intro a reti di TLC**			
7	**Quadripoli**			
8	**I decibel**			

	L’amplificatore operazionale	8’	
	Foto alimentatore		
	Foto amplificatore per chitarra		

STRUMENTI LABOR				
S1	Bread-board		1^0 circ. digitale su bread-board	6’ ?
S2	Multimetro		1^0 contatto col tester portatile	14’ ?
			1^0 uso multimetro da banco	10’ ?
			Oscilloscopio analogico	14’
			Oscilloscopio digitale	
			Picosc. (analizzatore di spettro)	6’

Elevamento a potenza e funzione esponenziale (11')

$a^2 = a*a$ $\quad 4^2 = 16$ $\quad a^1 = a$ $\quad a^0 = 1$ per ogni a $\neq 0$ perché $0^0 \not\equiv$

$a^{-2} = 1/a*a = 1/a^2$ $\quad 4^{-2} = 1/16$ $\quad$ definita solo per basi $a \neq 0$ perché $1/0 \not\equiv$

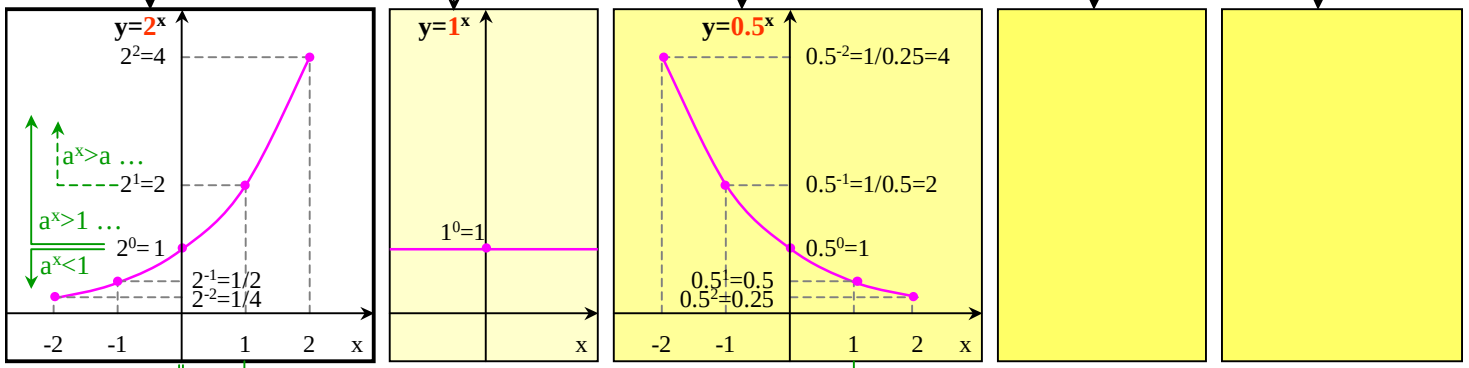
$a^{\frac{1}{2}} = \sqrt[2]{a}$ $\quad 4^0 = 1$ $\quad 4^{\frac{1}{2}} = \sqrt[2]{4} = 2$ $\quad 4^1 = 4$ $\quad 4^2 = 16$ $\quad a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m}$ ogni m/n $a \geq 0$

$a^{\sqrt{2}} = (H, K)$ $\quad \sqrt{2} = 1{,}414...$

$1 < \sqrt{2} < 2$ $\quad 1{,}4 < \sqrt{2} < 1{,}5$ $\quad 1{,}41 < \sqrt{2} < 1{,}42$ $\quad 1{,}414 < \sqrt{2} < 1{,}415$

$a^{1{,}415}$ $\quad a^{1{,}414}$

$y = a^x$



per x>1 $\quad a^x > a$ per $x < 1$

$x < 0$ possibili per x positivi

Sono di uso frequente:

$y = 10^x$

$y = e^x$ $\quad e = 2{,}718$

$3^x > 3^9 \Rightarrow x > 9$

$3^x = 3^9 \Rightarrow x = 9$

$0{,}1^x > 0{,}1^9 \Rightarrow x < 9$

$0{,}1^x = 0{,}1^9 \Rightarrow x = 9$

$a^r \cdot a^s = a^{r+s}$ $\quad \frac{a^r}{a^s} = a^{r-s}$ $\quad (a^r)^s = a^{r \cdot s}$ $\quad (a \cdot b)^r = a^r \cdot b^r$ $\quad \left(\frac{a}{b}\right)^r = \frac{a^r}{b^r}$

Quando applichiamo una tensione costante ad un condensatore, ad esempio una batteria da 10V, la corrente che scorre inizialmente è grande, ma poi decresce in modo esponenziale man mano che aumenta la tensione sul condensatore diventando zero quando sul condensatore la tensione arriva ad essere uguale a quella della batteria.

Per scrivere l'espressione della corrente sul condensatore in carica bisogna conoscere la **funzione esponenziale** $y = e^x$ dove e è un numero che vale 2,72 più altri decimali che trascuriamo

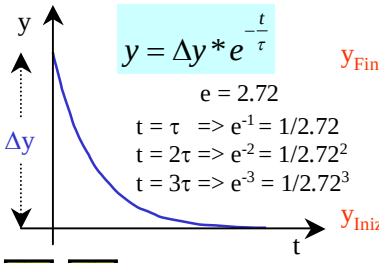
Ci resta da vedere come è definito l'esponenziale quando a esponente c'è un numero complesso x+iy

$a^{x+iy} = ?$ $\quad$ In particolare come è definito: $a^{iy} = ?$

=> Numeri complessi

Definiremo però solo l'esponenziale immaginario di una base tanto particolare quanto importante: il numero di Nepero e=2,718…

$e^{iy} = \cos y + i \operatorname{sen} y$ $\quad$ Formula di Eulero



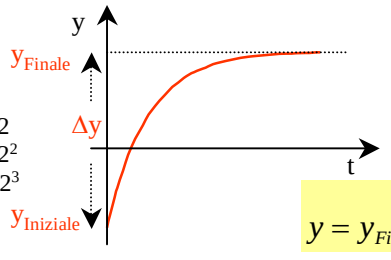
$y = \Delta y * e^{-\frac{t}{\tau}}$

e = 2.72

$t = \tau \Rightarrow e^{-1} = 1/2.72$

$t = 2\tau \Rightarrow e^{-2} = 1/2.72^2$

$t = 3\tau \Rightarrow e^{-3} = 1/2.72^3$



$y = y_{Fin} - \Delta y \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

$y = y_{Fin} - (y_{Fin} - y_{Ini}) e^{-\frac{t}{\tau}}$

Logaritmo e funzione logaritmica

(9')

Logaritmo: op. inv. che restit. l'esponente

$2 = \log_{10} 100$

$10^2 = 100$

$10 = \sqrt[2]{100}$

L'operazione di elevamento a potenza ha **2 parametri** *non intercambiabili*, base ed esponente, e per questo ammette **2 operazioni inverse**

Radice: op. inversa che restituisce la base

$b = a^{\log_a b}$

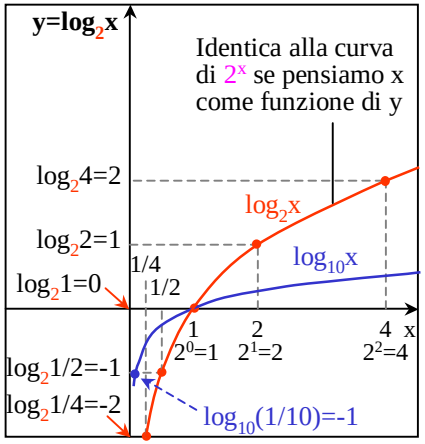
Ogni **b > 0** si può scrivere come potenza di a (con a positiva ≠ 1)

$$y = \log_a x \iff x = a^y$$

$\log_{10} x > \log_{10} a \Rightarrow x > a$

$\log_{0.1} x > \log_{0.1} a \Rightarrow x < a$

$\log x = \log a \Rightarrow x = a$



Sulle calcolatrici

$y = \log_{10} a = \log a$

Sulle calcolatrici

$y = \log_e a = \ln a$

Il logaritmo in base 10 di x è… il numero n a cui bisogna elevare 10 per avere x

$$\log_{10} x = n \iff 10^n = x$$

Log 1 = 0 perché $10^0 = 1$

Log 10 = 1 perché $10^1 = 10$

Log 100 = 2 perché $10^2 = 100$

Log 1000 = 3 perché $10^3 = 1000$

Notare che il Log x aumenta di 1 quando x decuplica. Per questo quando si rappresenta un intervallo di frequenze ampio - es da 1 Hz a 1 MHz - si rappresenta a distanze uguali

1 - 10 - 100 - 1K - 10K - 100K - 1 M Hz

come se si rappresentassero gli esponenti di 10

10^0 - 10^1 - 10^2 - 10^3 - 10^4 - 10^5 - 10^6 Hz

log (b + c) log b * log c

$a^r \cdot a^s = a^{r+s} \Rightarrow \log_a b * c = \log_a b + \log_a c \Rightarrow \log b^3 = 3 \log b$

$\log bbb = \log b + \log b + \log b$

$a^{\log_a b} * a^{\log_a c} = a^{\log_a b + \log_a c}$

$\log \sqrt[n]{b} = \frac{1}{n} \log b$ $\quad \sqrt[n]{b} = b^{\frac{1}{n}}$

$\frac{1}{c} = c^{-1}$

$\log \frac{1}{c} = -\log c$

$\log \frac{b}{c} = \log b - \log c$

Cosa fare se ho bisogno di calcolare $\log_2 N$ ma la calcolatrice mi fa solo il $\log_{10} N$?

$$\log_b N = \frac{1}{\log_a b} \cdot \log_a N$$

$x = \log_b N \Rightarrow b^x = N \Rightarrow \log_a b^x = \log_a N$

$\Rightarrow \log_b N \log_a b = \log_a N \Rightarrow x \log_a b = \log_a N$

$\log_2 N \cong 3{,}32 \cdot \log_{10} N$

$\log_e N \cong 2{,}3 \cdot \log_{10} N$

Introduzione all'elettronica per telecomunicazioni

(7')

Telecomunicazione (dal greco *tele*, lontano) è comunicazione a distanza, spesso *in tempo reale* ovvero con ricezione praticamente contemporanea alla trasmissione.

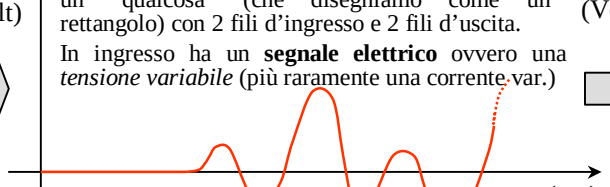
$p_i(t)$ (Nw/m^2)

Quello che viene trasmesso è un *segnale*
Un **segnale** è una *grandezza fisica variabile*, la cui variazione contiene un'informazione

Segnale (audio) di ingresso

$v_i(t)$ (Volt)

Il trasmettitore è un circuito elettronico
Un **circuito elettronico** è un *quadripolo*, ovvero un "qualcosa" (che disegniamo come un rettangolo) con 2 fili d'ingresso e 2 fili d'uscita.
In ingresso ha un **segnale elettrico** ovvero una *tensione variabile* (più raramente una corrente var.)

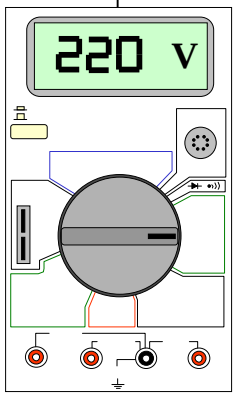


Segnale elettrico di ingresso

$v_t(t)$ (Volt)

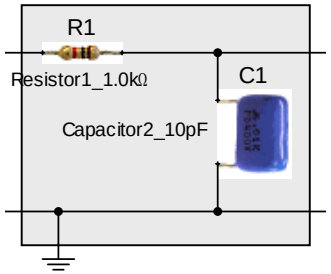
Un **segnale digitale** è una tensione che può assumere solo alcuni valori (se ne può assumere solo 2, H o L, è un segnale digitale **binario**)

Segnale trasmesso (in forma digitale)



=> Primo contatto col **multimetro portatile**

Circuito con 2 **componenti** (R1 e C1)



$p_i(t)$

TRASDUTTORE di ingresso

$v_i(t)$

TRASMETTITORE

Tensione continua (batteria) (**alimentazione**)

Circuito trasmettitore

$v_t(t)$

Le grandezze elettriche fondamentali sono due:
- la **tensione**, che si indica con v e si misura in Volt (V)
- la **corrente**, che si indica con i (da Intensità di corrente) e si misura in Ampere (A)

Nota una (di regola la tensione, che è la causa della corrente) si può ricavare l'altra

CANALE DI TRASMISSIONE

DISTURBI

TRASDUTTORE di uscita

$p_u(t)$

RICEVITORE

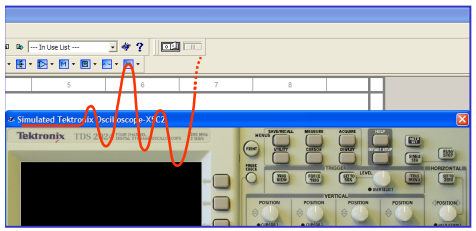
$+ V_{alimentazione}$

Circuito ricevitore

$v_u(t)$

$v_r(t)$

massa



=> **Oscilloscopio** analogico

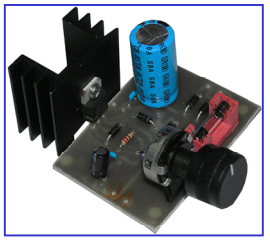
terra (ground, GND) o massa collegata a terra

V_{alim} (Volt)

5 V

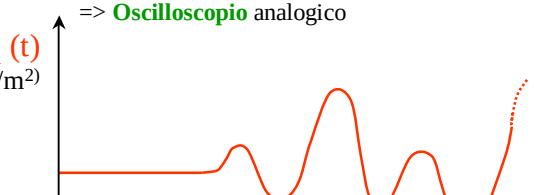
t (sec)

Tensione **continua** di alimentazione fornita da una batteria o da un alimentatore



Alimentatore **1.2 – 25 V** **1A** (clicca x ingrandire)

$p_u(t)$ (Nw/m^2)



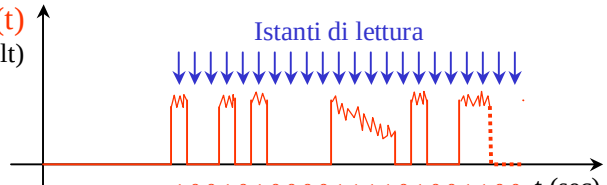
Segnale (audio) di uscita

$v_u(t)$ (Volt)

Segnale elettrico di uscita

$v_r(t)$ (Volt)

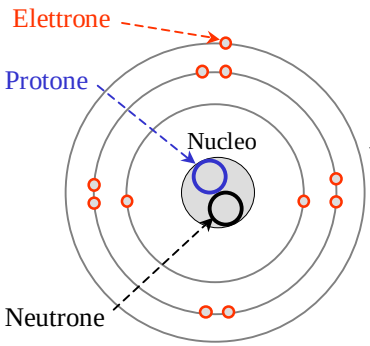
Istanti di lettura



Segnale ricevuto

Tensione, corrente, resistenza, serie e parallelo

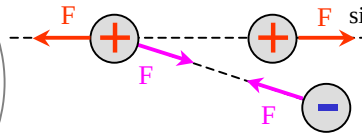
(9')



Atomo (modello di Bohr, 1913)

$q_e = -1{,}602 * 10^{-19}$ C (la **carica elettrica** si indica con Q e si misura in Coulomb, che si abbrevia con C)

$q_p = +1{,}602 * 10^{-19}$ C $= -q_e$



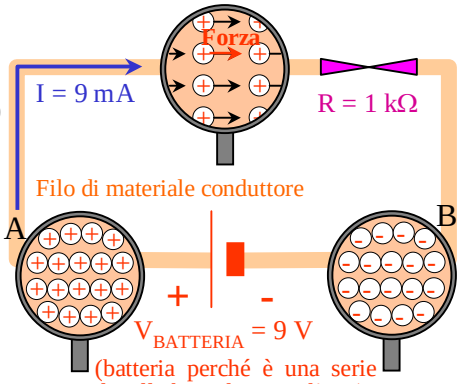
Cariche di segno uguale si respingono a vicenda

Cariche di segno diverso si attraggono

Un materiale si dice **conduttore** se gli elettroni più esterni sono liberi di lasciare l'atomo quando sono attratti da una carica + (o respinti da una -).

Se nessun elettrone può lasciare l'atomo in cui sta, il materiale è un **isolante**.

In un filo di materiale conduttore (ad es. il rame) c'è **corrente** se ci sono cariche in movimento.



La corrente in un filo si indica con **I**, si misura in **Ampere** [abbreviato con **A**] e va indicata nel circuito con una freccia

La corrente è la carica che passa in un secondo in una data sezione del filo e si ottiene dividendo il ΔQ (numero di Coulomb passati) per Δt (numero di secondi in cui sono passati). La corrente è di 1 A se passa 1C di carica al sec

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}[A]$$

Se il filo è di materiale conduttore i suoi elettroni sono liberi di muoversi, ma non si muoverebbero se non ci fosse una forza che li spingesse a muoversi.

L'altra grandezza elettrica fondamentale è la **tensione elettrica** creata tra due punti A e B del circuito da una batteria, che si indica con V_{AB} e si misura in **Volt** (abbreviato con **V**)

La batteria, sfruttando un processo chimico, accumula cariche + in eccesso rispetto alla neutralità sul terminale + (quello magro e lungo nel simbolo della batteria), lasciando cariche – in eccesso sull'altro terminale (il -, che nel simbolo è quello grasso e corto).

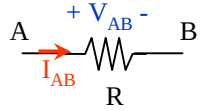
Le cariche + in eccesso nella regione A spingono le cariche + del filo lontano da A e le cariche – in eccesso nella regione B attirano i + verso B. Se le cariche possono muoversi, sotto la spinta di una tensione nasceranno correnti che dal + della batteria vanno verso il – della stessa, compiendo un percorso chiuso che inizia e termina sulla batteria (da cui il nome **circuito**, **elettrico** perché a camminarvi non sono auto ma cariche elettriche)

Facendo questo si fa un **corto-circuito**, danneggiando il conduttore per eccesso di corrente

Se tra il + e il – della batteria mettiamo un conduttore, però, dopo un attimo la batteria è scarica perché la corrente, non incontrando ostacoli, diventa grandissima.

Per avere una corrente limitata, nel percorso dal + al - ci deve essere almeno un tratto che offre resistenza al passaggio della corrente. Il componente costruito per offrire una data resistenza al passaggio della corrente si chiama **resistore** e si presenta così

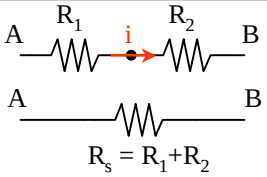
Un **resistore** è un componente elettronico a due terminali (un bipolo) caratterizzato da un rapporto costante tra la tensione V_{AB} ai suoi capi e la corrente I_{AB} che vi scorre (ovvero caratterizzato dal fatto che I_{AB} raddoppia se raddoppia V_{AB}). Chiamando resistenza del resistore il rapporto costante V_{AB} / I_{AB}, un resistore è caratterizzato dalla sua **resistenza** (indicata con **R** e misurata in **Ohm**, abbreviato con **Ω**) (=> parametri dei resistori e codici colori) . Una R dell'ordine degli Ω è una piccola R; una dell'ordine dei kΩ è media e una dell'ordine dei MΩ è una R grande.



$$\frac{V_{AB}}{I_{AB}} = \cos t = R$$

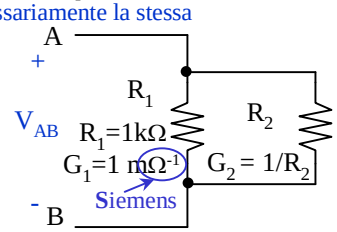
R in serie e in parallelo

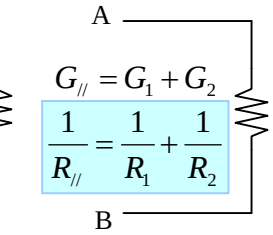
Due resistori R_1 e R_2 si dicono **in serie** quando sono collegate in modo tale da essere necessariamente percorse dalla stessa corrente. Dall'esterno dei punti A e B non si nota alcuna differenza se alle due resistenze in serie si sostituisce una resistenza pari alla **somma delle due resistenze**. Esprimiamo questo fatto dicendo che la resistenza equivalente a due resistenze in serie è la somma delle due resistenze.



$R_{equivalente\ serie} = R_1 + R_2$

Due resistori R_1 e R_2 si dicono **in parallelo** quando la tensione presente ai loro capi è necessariamente la stessa (perché i loro terminali sono collegati tra loro e tra 2 punti di un conduttore non può esserci tensione).
Ad aumentare, mettendo in parallelo a R_1 una R_2, è la conducibilità tra A e B.
Detta **conduttanza G** l'inverso della resistenza (notare che dire R1=1kΩ o che G1= $1m\Omega^{-1}$ è equivalente perché da una si può ricavare l'altra facendo l'inverso), non si noterà alcuna differenza sostituendo le due conduttanze in parallelo con una **conduttanza pari alla loro somma**.





$$R_{equiv.parall} = R_{//} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

Per capire quanto vale il parallelo bisogna partire dalla resistenza di valore minore, che è quella più importante in un parallelo (mentre in una serie è ovviamente più importante la R di maggior valore):

- Se R_1 è la minore, la $R_{//}$ sarà senz'altro minore di R_1

$$R_{//} < R_1 < R_2$$

- Di quanto minore dipende dalla R_2 e può variare tra due estremi:

se $R_2 > 10\ R_1$ => $R_{//} = R_1$

se $R_2 = R_1$ => $R_{//} = R_1/2$

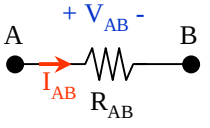
$1k\Omega // 20k\Omega \cong 1k\Omega$

$1k\Omega // 1k\Omega = 500\Omega$

Definizione di resistenza tra due punti A e B

La **resistenza tra due punti A e B** (chiamiamola R_{AB} e rappresentiamola col simbolo del resistore) è **per definizione** il rapporto tra la tensione presente tra A e B (V_{AB}) e la corrente I_{AB} che tale tensione fa passare

$$\frac{V_{AB}}{I_{AB}} \overset{def}{=} R_{AB}$$

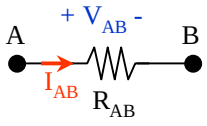


Legge di Ohm

Questo legame tra tensione **V** corrente **I** e resistenza **R**, tutte tra gli stessi due punti A e B altrimenti è falsa, si chiama **legge di Ohm** e ci permette di ricavare una grandezza note le altre due

$$V_{AB} = R_{AB} * I_{AB}$$

$$I_{AB} = \frac{V_{AB}}{R_{AB}}$$



Domande

Risposte su “I – V - R” (?’)

Quali materiali sono conduttori? Quelli che hanno elettroni liberi di muoversi da un atomo all’altro (perché tutti gli elettroni si muovono nel senso che ruotano intorno al nucleo)

Quali materiali sono isolanti? Quelli i cui elettroni *non* sono liberi di muoversi da un atomo all’altro

La corrente nel punto A di un filo è di 1 Ampere se… in 1 sec passa una carica di 1 Coulomb

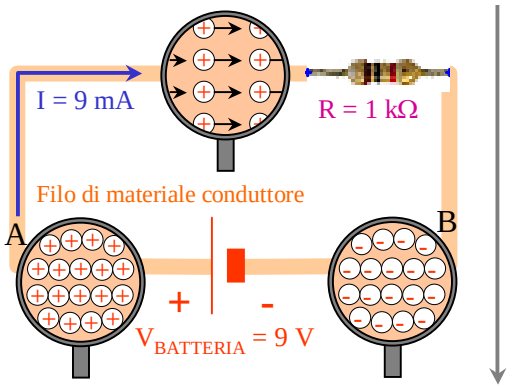
La tensione tra A e B è… il lavoro compiuto per spostare 1 Coulomb da A a B

Perché se A e B sono collegati da un conduttore perfetto la tensione tra A e B è zero?

Perché non si compie alcun lavoro per spostare una carica da A a B se tra di essi c’è un conduttore perfetto

Usate la spiegazione che preferite, basta che sia chiaro che tra due punti di un conduttore non può esserci tensione elettrica

Una batteria crea tensione tra i suoi morsetti accumulando cariche positive… in eccesso rispetto alla neutralità sul suo morsetto + e cariche negative in eccesso rispetto alla neutralità sul suo morsetto -

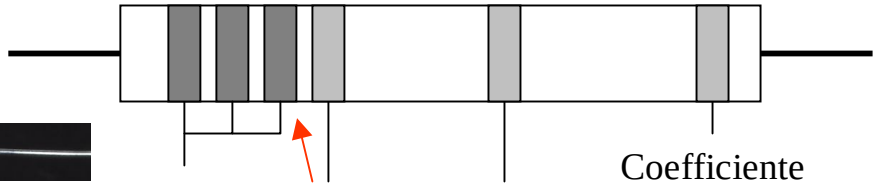


Perché nessuna batteria è in grado di creare tensione tra due punti A e B di un conduttore perfetto?

Perché per creare tensione dovrebbe accumulare cariche in una zona ma appena le cariche sono in eccesso si ridistribuiscono annullando l’eccesso (è come cercare di alzare il livello di un liquido in una zona, operazione impossibile perché il dislivello si pareggia subito)

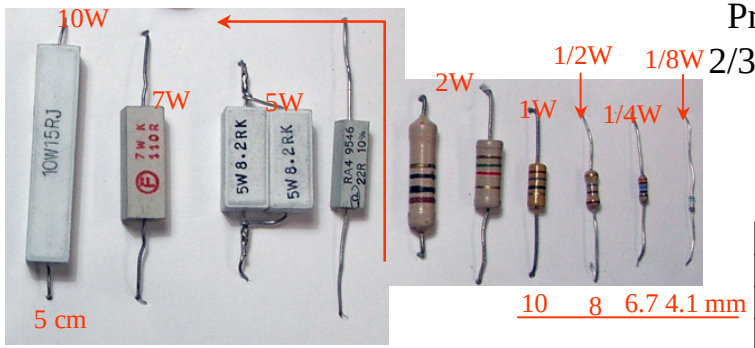
Resistori, codice colori e potenziometri

(11')



1) Il parametro principale di un resistore è la **resistenza R**, il cui valore a volte è scritto sopra ma più spesso è comunicato tramite un codice che usa i colori **!!**

2) Un secondo parametro è **la potenza che è in grado di dissipare** per lunghi periodi di tempo **senza danneggiarsi modificando la sua R** (a $T_{amb} < 60/70^0$C)



Quelli più usati sono da **1/4 di W**.

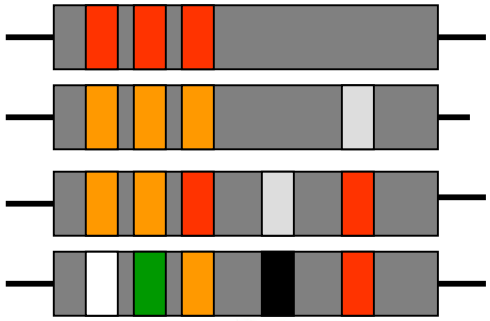
3) Il terzo parametro come importanza è la **tolleranza** (normalmente è **5% o 10%**, raramente 1%). I produttori non costruiscono resistori per tutti i valori di R ma solo per alcuni, più fitti se la tolleranza è bassa e meno fitti se è alta **! ! !**

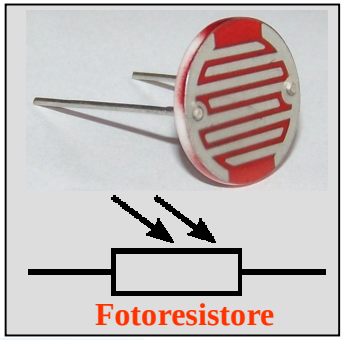
2 2 00 Ω 20 %

3 3 000 Ω 10 %

33 2 x 0.01 = 3.32 Ω 2 %

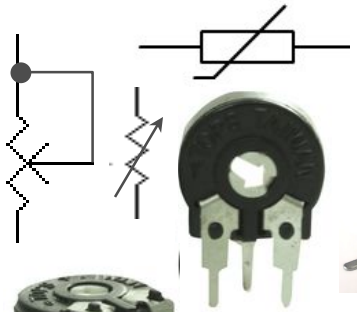
9 5 3 x 1 = 953 Ω 2 %



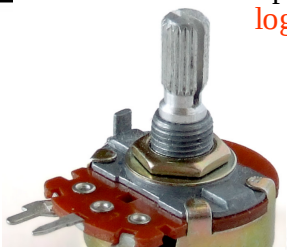


Fotoresistore

E6 (20%)	E12 (10%)	E48 (2%)			
10	10	100	105	110	115
	12	121	127	133	140
15	15	147	154	162	169
	18	178	187	196	205
22	22	215	226	237	249
	27	261	274	287	301
33	33	316	332	348	365
	39	383	402	422	442
47	47	464	487	511	536
	56	562	590	619	649
68	68	681	715	750	787
	82	825	866	909	953

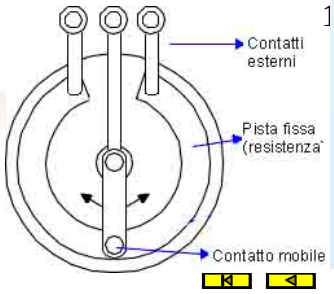


tipo B → logaritmico

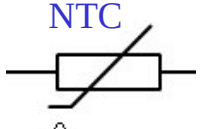


Potenziometro

Trimmer = potenziometro che si varia col cacciavite (o resistore a resistenza variabile)

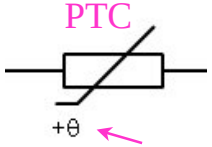


NTC



Term(ores)istori

PTC



Domande

Risposte su "Resistori" (3')

Riascoltare "Resistori"
Rivedere "Resistori"

Cosa vuol dire che un resistore è da 1/4 di W?

Che può dissipare 1/4 di W per tempi lunghi senza danneggiarsi e in particolare senza cambiare il valore della sua resistenza

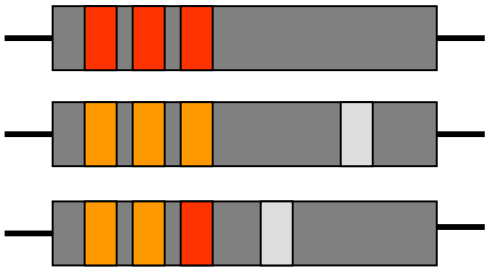
Quanto vale la tolleranza se ci sono 3 fascette colorate sul resistore? Se ci sono solo 3 fascette manca la fascetta della tolleranza e quando manca vuol dire tolleranza del 20%

Che valore può avere la R effettiva se la R nominale è 100 kΩ e la tolleranza è del 20% ?

Il 20% di 100 è 20 => la R effettiva può andare da 100 – 20 = 80KΩ a 100 + 20 = 120KΩ

Sapendo che i primi 4 colori sono NERO MARRONE ROSSO ARANCIO dire quanto valgono

Ricordando che arancio = K = 0 1 2 3



R = 2 2 00 = 2,2 KΩ

R = 3 3 000 = 33 KΩ 10 %

R = 3 3 2 x 0,01 = 3,32 Ω

Come si scrive con il codice a colori a tre fascette 10K ?

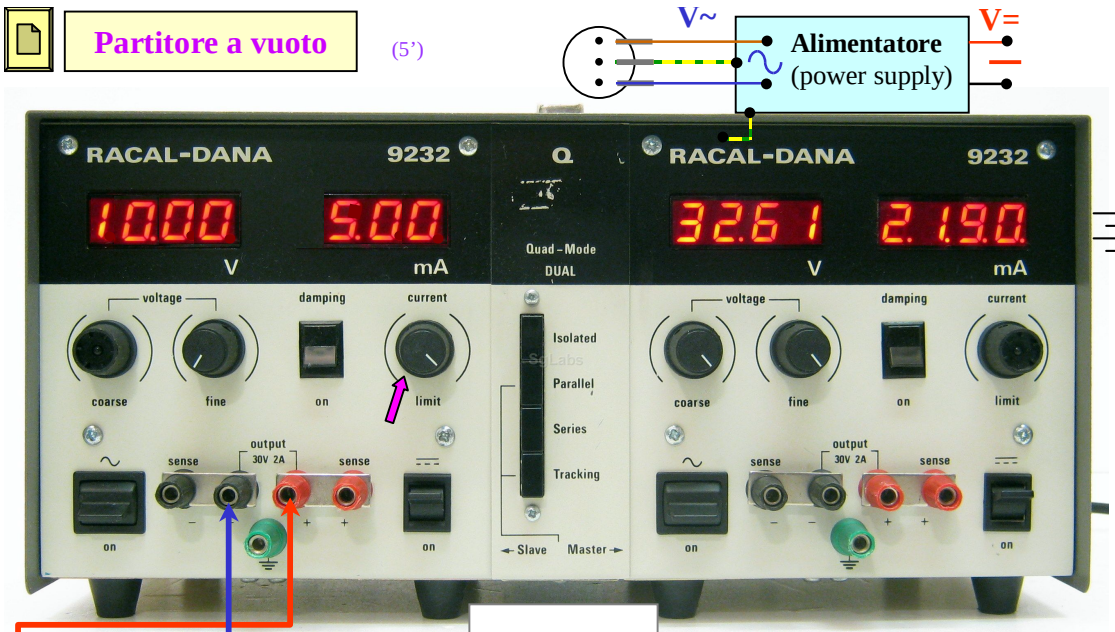
E6 (20%)	Cosa c'è nella serie E6 dopo 100 KΩ ?
10	100 K
15	150 K
22	220 K
33	330 K
47	470 K
68	680 K

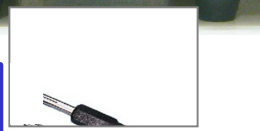
Cosa significa il 6 nel nome "serie E6"?

Che ci sono 6 valori di R tra 10 e 100 (escluso)
tra 100 e 1000
tra 1k e 10k
tra 10k e 100k
…

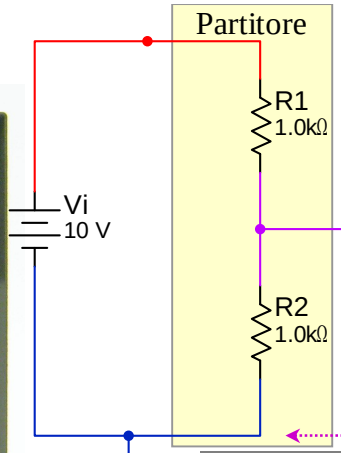
Partitore a vuoto

(5')

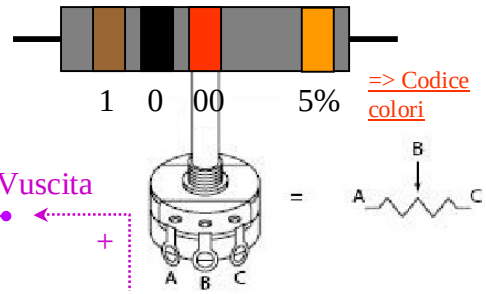


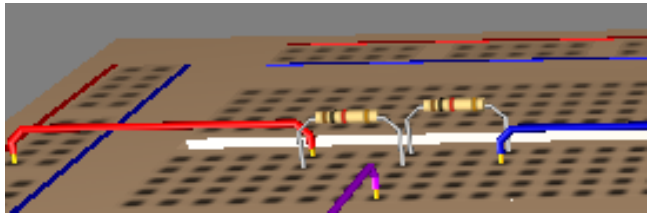


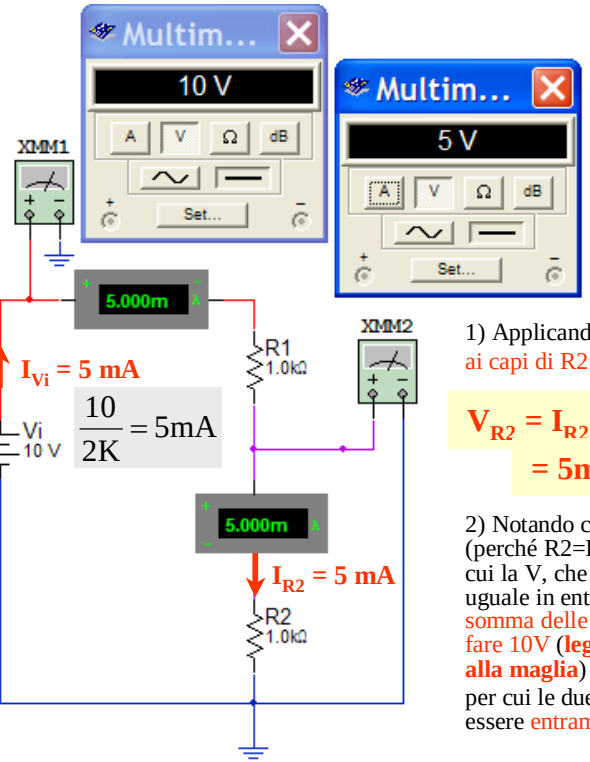
$$I = \frac{V}{R} = \frac{10}{2K} = 5mA$$



Vuscita = Vi / 2 = 5 V







Come si poteva prevedere che ai capi di R2 ci sarebbero stati 5 Volt?

1) Applicando **la legge di Ohm** ai capi di R2

$$V_{R2} = I_{R2} * R2$$
$$= 5m * 1K = 5\ V$$

2) Notando che $V_{R2} = V_{R1}$ (perché R2=R1 e $I_{R2} = I_{R1}$ per cui la V, che è il prodotto V*I è uguale in entrambe) e che la somma delle due tensioni deve fare 10V (**legge di Kirchhoff alla maglia**) per cui le due tensioni devono essere entrambe di 5 Volt

Partitore con interruzione

(5')

1) Preso il circuito del partitore già montato e chiamati A, B, C e D i punti mostrati, provocare una interruzione del collegamento tra B e C.

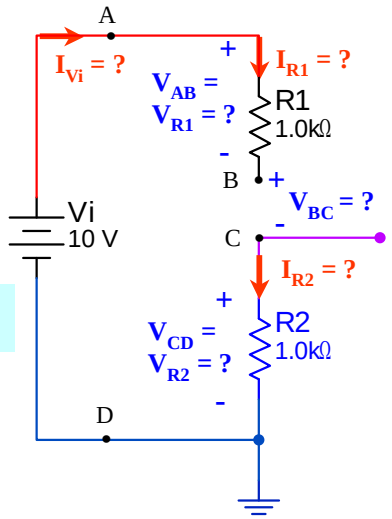
2) Misurare I_{Vi}, I_{R1}, I_{R2}, V_{R1}, V_{R2}, V_{BC}

3) Giustificare i valori trovati (tutte le grandezze sono 0, meno V_{BC} = 10 Volt) usando la legge di Ohm

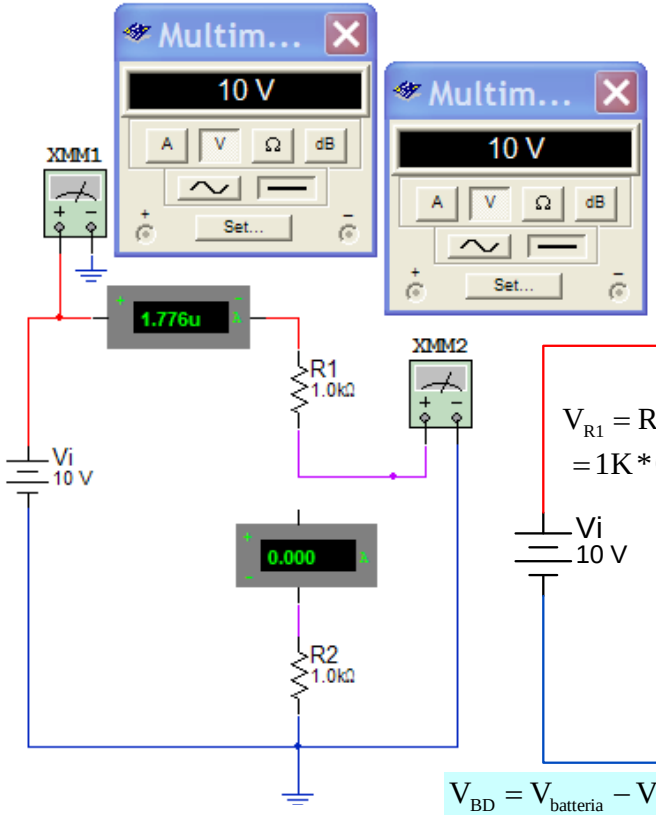
$V_{XY} = R_{XY} * I_{XY}$

e la legge di Kirchhoff

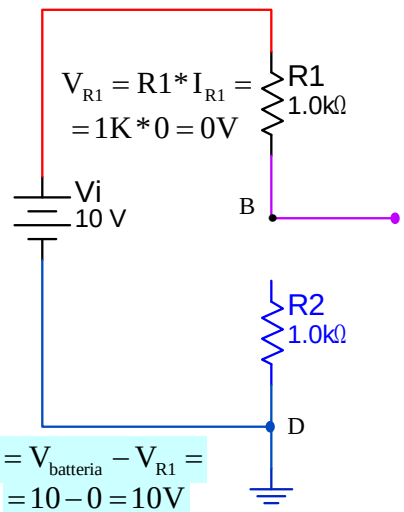
La somma di tutte le cadute di tensione tra A e D = la tensione tra A e D creata dalla batteria e pari a 10 V



La corrente in A (I_{vi}) = 0 e quella in R1 (I_{R1}) = 0 perché gli elettroni non possono andare oltre B e se non si muove l'elettrone davanti non può muoversi neanche quello dietro (pensare ad una fila di persone: se non può avanzare la prima persona della fila, non ha posto per avanzare neanche l'ultima della fila)



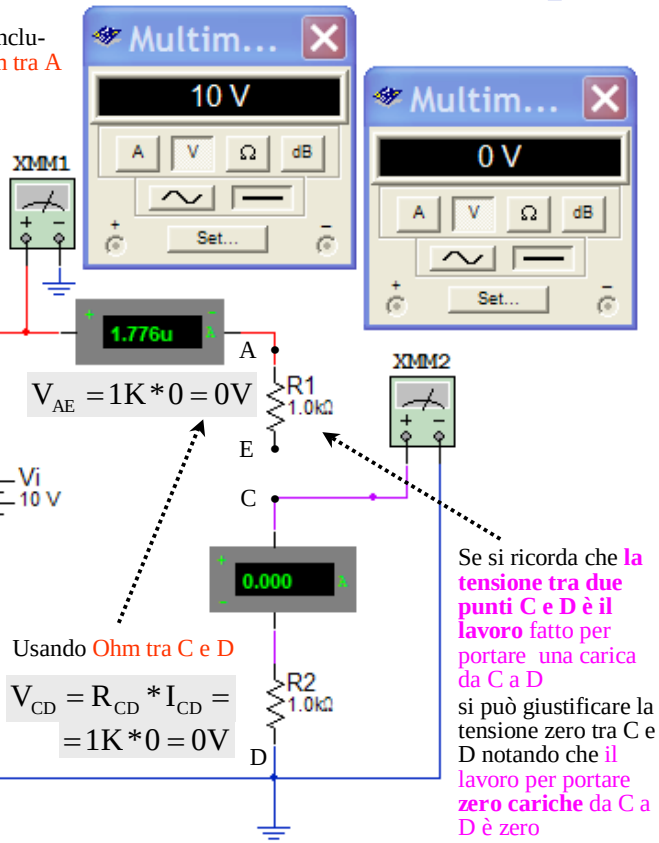
$V_{R1} = R1 * I_{R1} =$
$= 1K * 0 = 0V$



$V_{BD} = V_{batteria} - V_{R1} =$
$= 10 - 0 = 10V$

Si può arrivare alla stessa conclusione usando la legge di Ohm tra A e D

$$I_{AD} = \frac{V_{AD}}{R_{AD}} = \frac{10}{R_1 + \infty + R_2} = \frac{10}{\infty} = 0A$$



La corrente in C (I_{R2}) = 0 perché l'interruzione tra B e C non trasmette la tensione della batteria e niente tensione => niente forza applicata agli elettroni => nessun elettrone si muove

$V_{AE} = 1K * 0 = 0V$

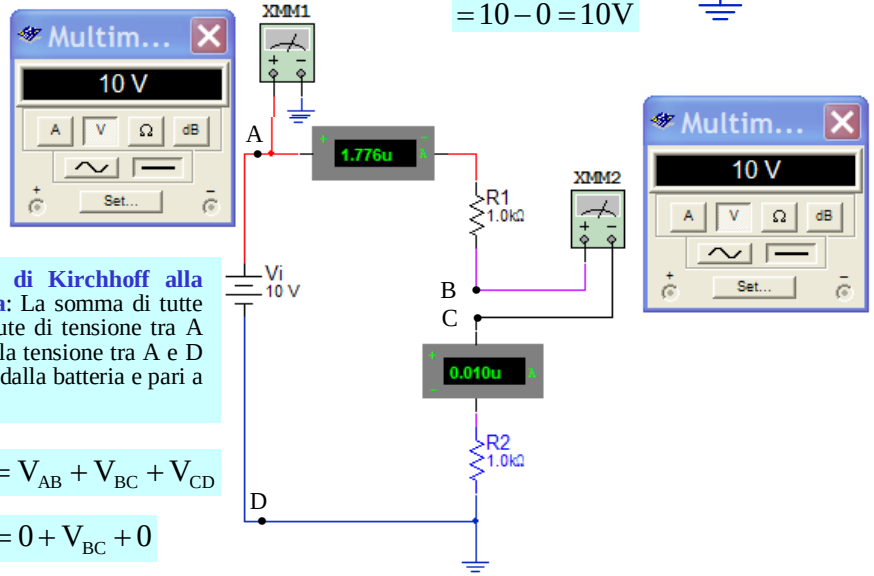
Si può arrivare alla stessa conclusione usando la legge di Ohm tra C e D

$$I_{CD} = \frac{V_{CD}}{R_{CD}} = \frac{0}{1K} = 0A$$

Usando Ohm tra C e D

$V_{CD} = R_{CD} * I_{CD} =$
$= 1K * 0 = 0V$

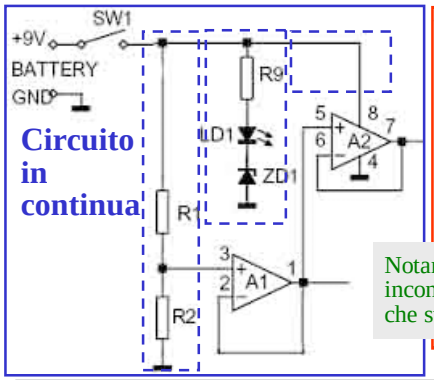
Se si ricorda che **la tensione tra due punti C e D è il lavoro** fatto per portare una carica da C a D si può giustificare la tensione zero tra C e D notando che il lavoro per portare **zero cariche** da C a D è zero



Legge di Kirchhoff alla maglia: La somma di tutte le cadute di tensione tra A e D = la tensione tra A e D creata dalla batteria e pari a 10 V

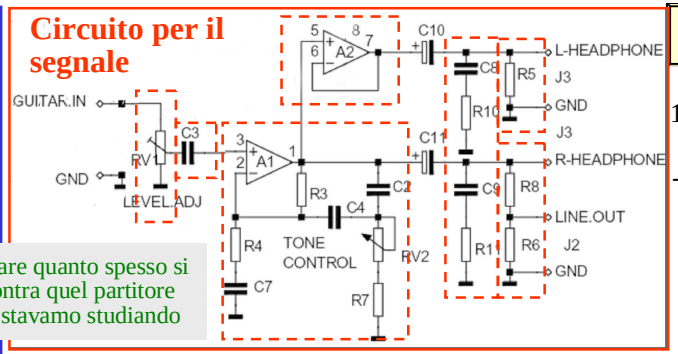
$V_{AD} = V_{AB} + V_{BC} + V_{CD}$

$10 = 0 + V_{BC} + 0$

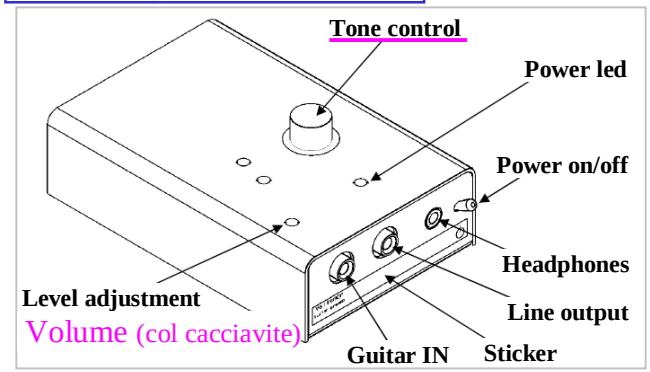


Circuito in continua

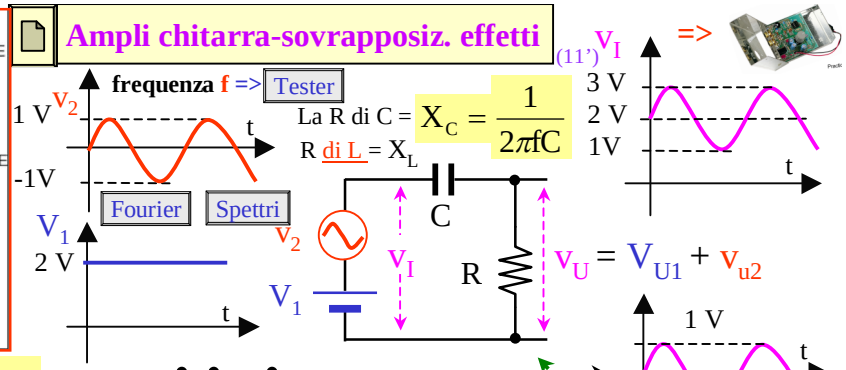
Circuito per il segnale

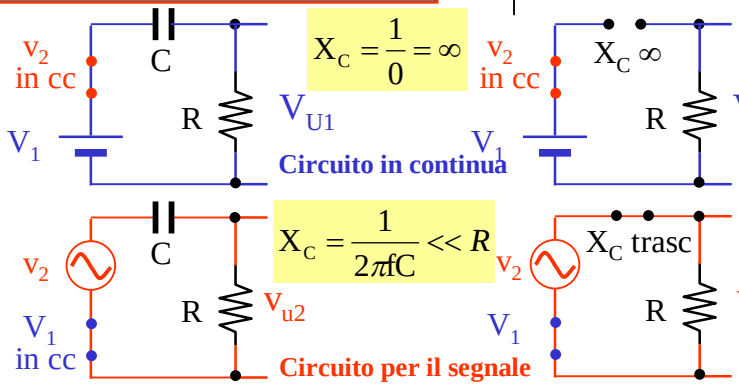


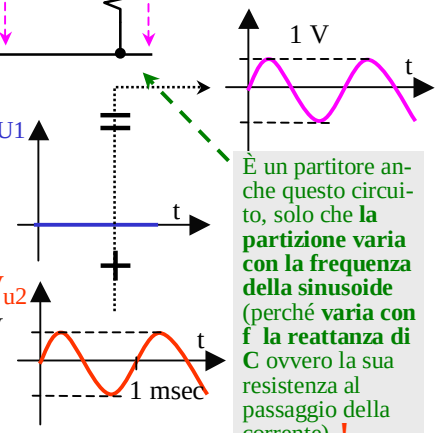
Notare quanto spesso si incontra quel partitore che stavamo studiando



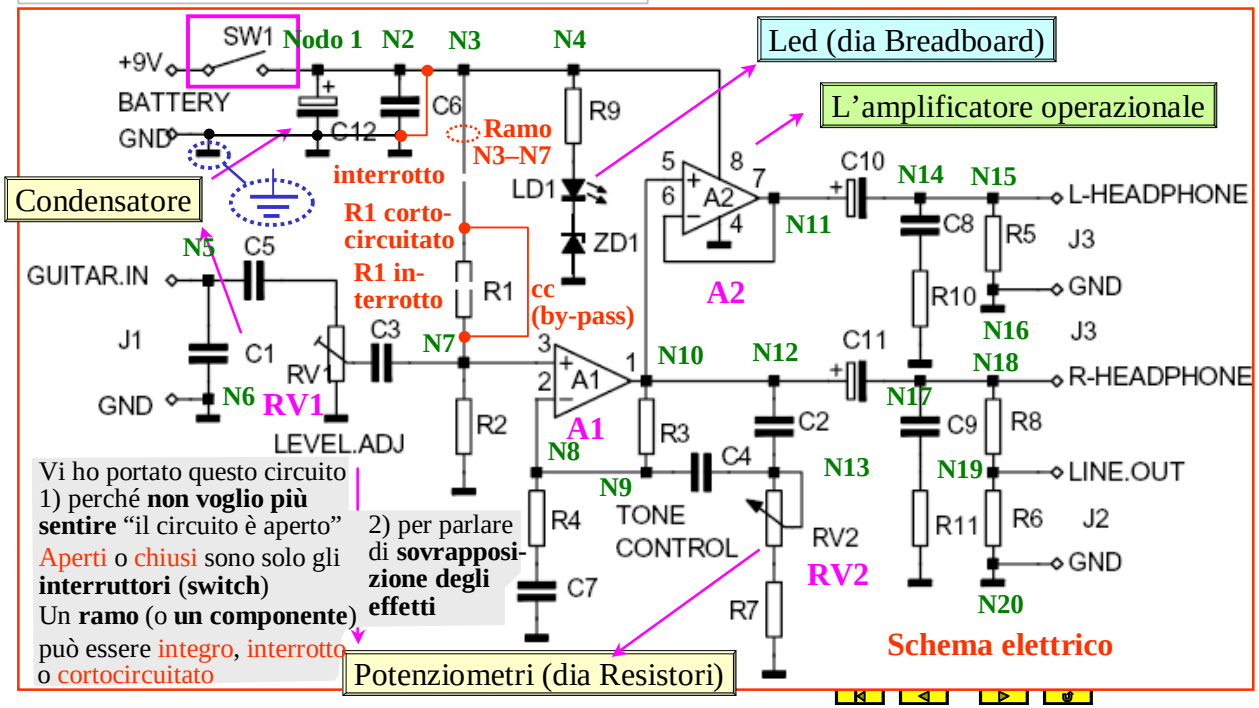
Ampli chitarra-sovrapposiz. effetti

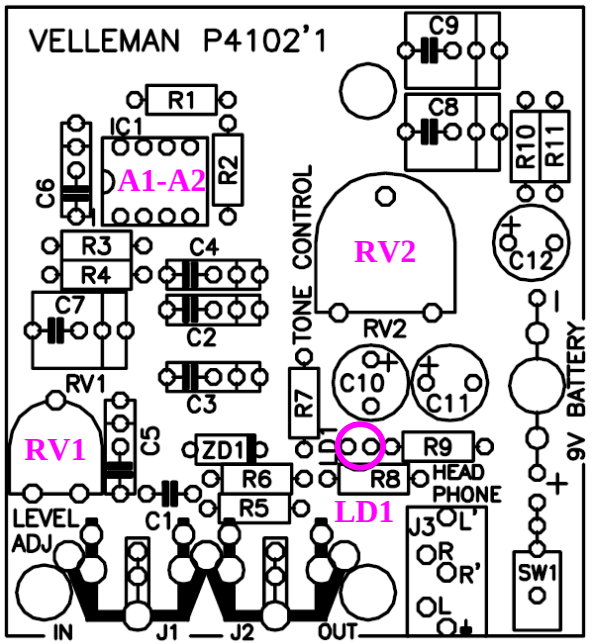






È un partitore anche questo circuito, solo che **la partizione varia con la frequenza della sinusoide** (perché **varia con f la reattanza di C** ovvero la sua resistenza al passaggio della corrente) **!**



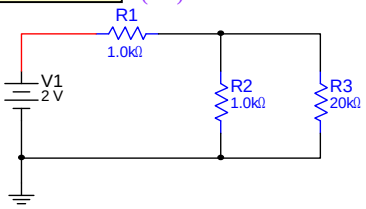


Schema di montaggio

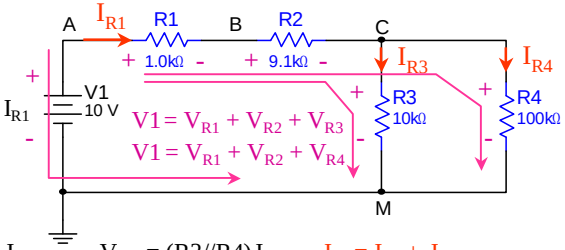
Risoluzione dei circuiti e leggi di Kirchhoff

(12')

"Risolvere un circuito" significa determinare tutte le tensioni (nel circuito a fianco V_{R1} e V_{R2}) e tutte le correnti (I_{R1}, I_{R2} e I_{R3}) noti i componenti (R1, R2, R3) e i generatori di tensione (V1). Chi dice "la tensione del circuito" fa capire di non aver mai visto un circuito, perché in un circuito non c'è una tensione ma molte tensioni (qui V1, V_{R1}, V_{R2} e V_{R3})



La legge di Ohm, però, non dice che V=RI, ma che $V_{AB}=R_{AB}I_{AB}$, dove R_{AB} è la resistenza del ramo o dei rami dove scorre la I_{AB}. Per esercizio si scrivano tutte le possibili leggi di Ohm in questo circuito



Tra A e M $V_{AM} = R_{AM}\, I_{AM}$
$V1 = (R1+R2+R3//R4)\, I_{R1}$

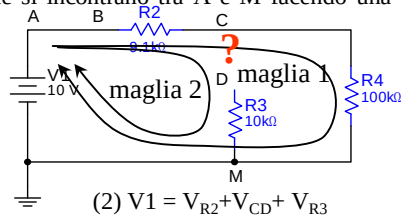
Tra A e B $V_{AB} = R_{AB}\, I_{AB}$ $V_{R1} = R1\, I_{R1}$

Tra A e C $V_{AC} = R_{AC}\, I_{AC}$
$V_{AC} = (R1+R2)\, I_{R1}$

Tra C e M $V_{CM} = R_{CM}\, I_{CM}$
$V_{CM} = R3\, I_{R3}$ $V_{CM} = R4\, I_{R4}$ $V_{CM} = (R3//R4)\, I_{R1}$ $I_{R1} = I_{R3} + I_{R4}$

Che la somma delle correnti entranti in un nodo è uguale alla somma delle correnti uscenti (legge di Kirchhoff **al nodo**) è ovvio

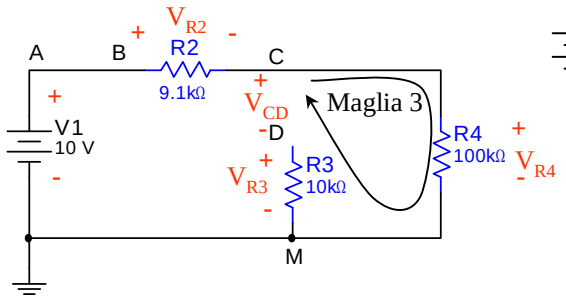
Altrettanto ovvio dovrebbe essere che il dislivello di tensione creato dal generatore tra A e M (V1) sia pari alla somma dei dislivelli di tensione che si incontrano tra A e M facendo una qualsiasi altra strada che da A va ad M.
Chiamando **maglia** un percorso chiuso (nel senso che si torna al punto di partenza, non nel senso che non ci possono essere tratti aperti come CD), si può dire che in ogni maglia la somma dei generatori di tensione è uguale alla somma delle cadute di tensione sulle R (legge di Kirchhoff **alla maglia**)



(1) $V1 = V_{R2}+V_{R4}$ (2) $V1 = V_{R2}+V_{CD}+V_{R3}$

Una terza maglia è quella che parte da C e torna in C via R4 ed R3.

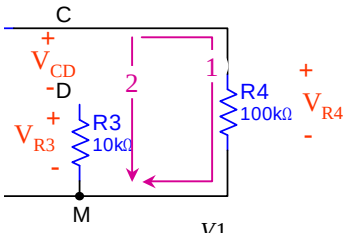
Prima di applicare Kirchhoff alla maglia 3 vediamo come dare i segni giusti alle tensioni del circuito: il + è nel punto più vicino al + della batteria (il punto B per V_{R2}, il C per V_{CD}, il D per V_{R3} e il C per V_{R4}).
Il – è il punto più vicino al – della batteria (M per V_{R3} e per V_{R4}, D per V_{CD} e C per V_{R2})



Nella maglia 3 non ci sono generatori, per cui la somma delle cadute di tensione deve venire 0 se si prende come positiva una tensione che ha lo stesso verso che produrrebbe la corrente se circolasse nel verso di percorrenza della maglia (come VR4) e come negativa una tensione che ha segno opposto a quella che produrrebbe la corrente se circolasse nel verso di percorrenza della maglia (come VR3 e VCD, se immaginiamo che anche il tratto CD aperto sia una resistenza, precisamente di valore infinito): $V_{R4} - V_{R3} - V_{CD} = 0$
$V_{R4} = V_{R3} + V_{CD}$

Si può ottenere lo stesso risultato con meno matematica e più elettronica osservando che la legge di Kirchhoff alla maglia si può formulare anche in un secondo modo:

la somma delle cadute di tensione incontrate per andare da un punto P1 ad un P2 (ad es. da C a M) è uguale qualunque sia il percorso seguito dalla corrente.



Per andare da C a M sul percorso 1 troviamo V_{R4} e sul percorso 2 troviamo V_{CD} e V_{R3}, per cui $V_{R4} = V_{CD} + V_{R3}$
Poiché su $I_{R3} = 0$ e la legge di Ohm applicata ai capi di R3 dice che $V_{R3} = I_{R3} * R3$ allora $V_{R3} = 0$ => $V_{R4} = V_{CD} + 0$ => $V_{CD} = V_{R4} = \frac{V1}{R2+R4} R4 = 9.2V$

Es.1 : trovare Vu nel circuito di Fig. 1 facendo tutti i passaggi ed esplicitando le leggi usate

Applichiamo la **legge di Ohm tra A e B**: $V_{AB} = R_{AB} * I_{AB}$
$V_{AB} = V1 = 9$ V
Per usare una corrente in una formula, va "battezzata" con un nome e va indicata sul circuito: chiamiamo I la corrente mostrata in Fig. 1
Ora possiamo dire che $I_{AB} = I$
Per trovare R_{AB} osserviamo che *R1 e R2 sono in serie perché la corrente I che passa in R1 non può che andare in R2.*
Quindi fuori da A e B (cioè per V1) non cambia nulla se si mette una sola resistenza $R_{AB} = R1 + R2 = 3$ kΩ

$9 = 3k * I$
$I = 9 / 3k = 3$ mA

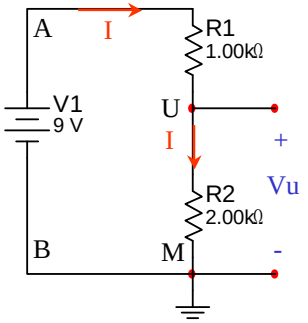


Fig. 1

Applichiamo la **legge di Ohm tra U e M**: $V_{UM} = R_{UM} * I_{UM}$
$Vu = 2k * 3m = 6$ V

Es.2 : trovare Vu nel circuito di Fig. 2

Vu = V_{UM} = V_{CM}, perché tra U e C non può esserci tensione essendo nulla la resistenza R_{CU} ($V_{CU} = R_{CU} * I_{CU} = 0 * I_{CU} = 0$) e lo stesso tra M e M' (è come se M e M' fossero nomi diversi per lo stesso punto)

Tra C e M' non si vede nessuna differenza se si sostituiscono R2 e Rc col loro parallelo R2c

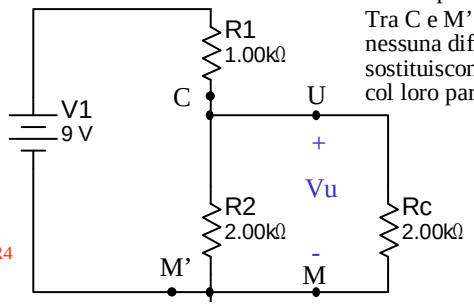


Fig. 2

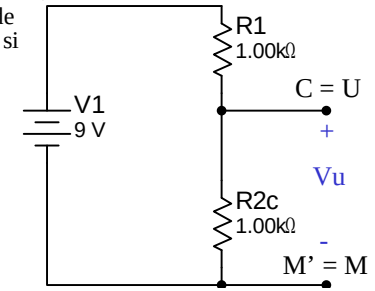
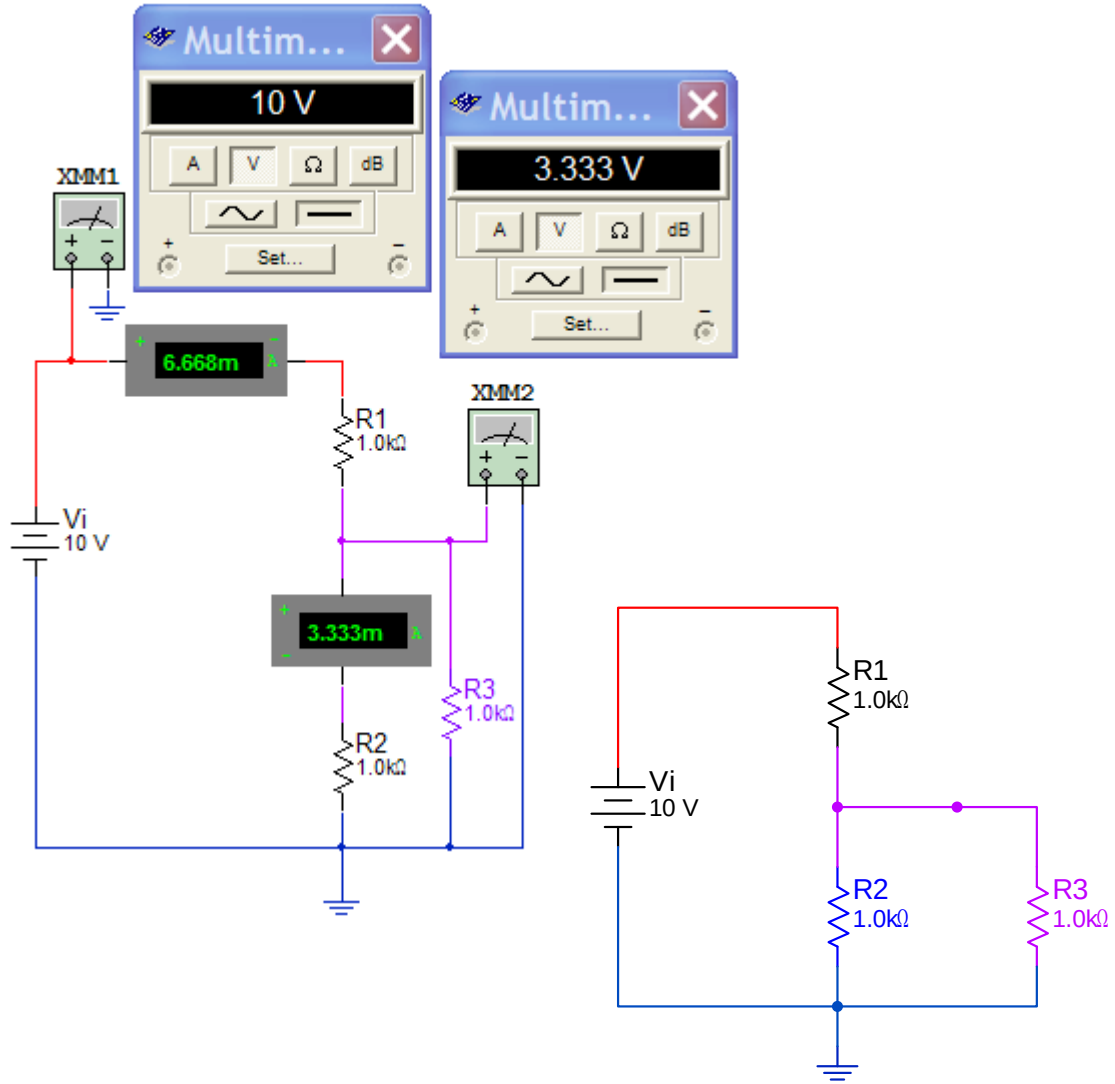


Fig. 3

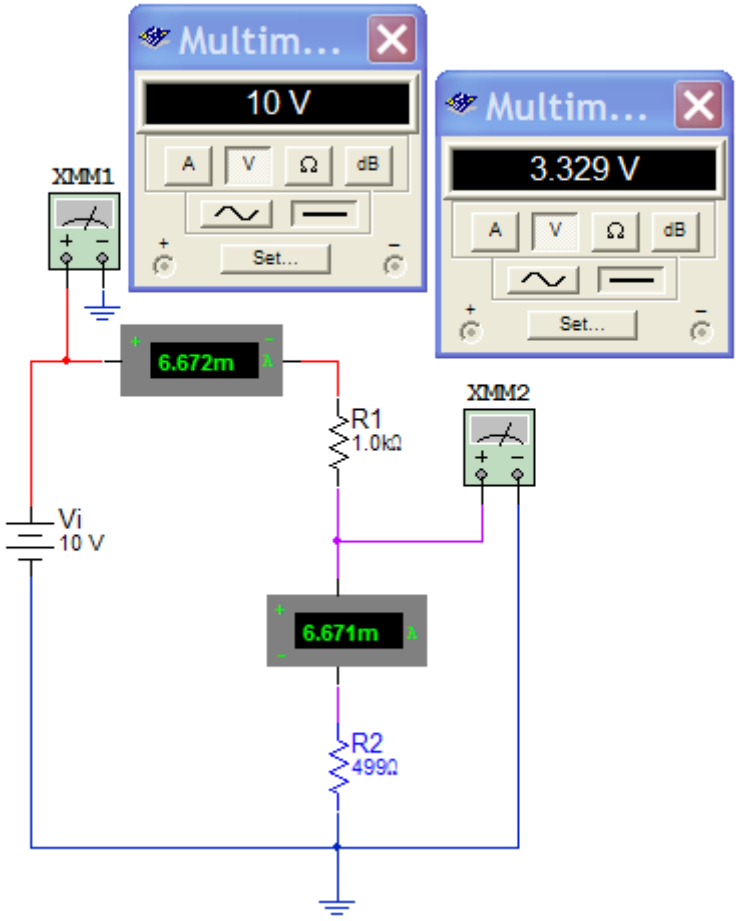
Il circuito di Fig. 3 è identico a quello di Fig. 1 e si può risolvere come visto nell'es. 1

Poiché R1 e R2c sono uguali e attraversate dalla stessa corrente, però, ai loro capi ci sarà la stessa tensione ($V_{R1} = V_{R2c}$) . La somma di queste due tensioni uguali deve fare 9 V per Kirchhoff alla maglia e dunque saranno entrambe di 4.5 V $Vu = V_{R2c} = 4.5$ V

Notare che la tensione di uscita diminuisce da 6 V a 4.5 collegando sull'uscita una resistenza Rc (detta resistenza di carico).
Solo se Rc >> R2 (nel qual caso R2c è quasi uguale a R2) tale abbassamento di Vu da vuoto (assenza di Rc) a carico (presenza di Rc) è trascurabile.


Multim...
10 V
A
V
Ω
dB
Set...
Multim...
3.333 V
A
V
Ω
dB
Set...
XMM1
6.668m
XMM2
R1
1.0kΩ
Vi
10 V
3.333m
R3
1.0kΩ
R2
1.0kΩ

R1
1.0kΩ
Vi
10 V
R2
1.0kΩ
R3
1.0kΩ

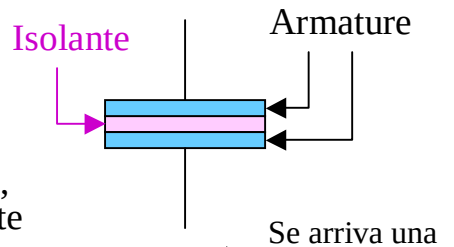

Multim...
10 V
A
V
Ω
dB
Set...
Multim...
3.329 V
A
V
Ω
dB
Set...
XMM1
6.672m
XMM2
R1
1.0kΩ
Vi
10 V
6.671m
R2
499Ω

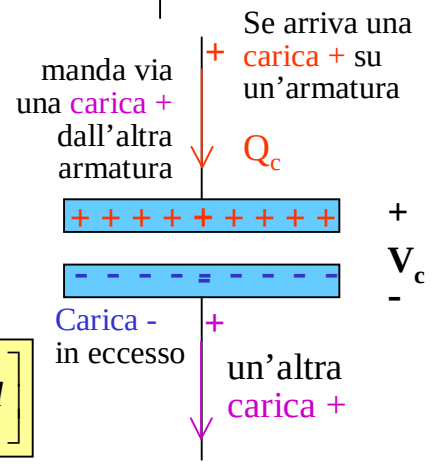
Condensatore e capacità C (7')

Un condensatore è un componente elettronico a due piedini (**bipolo**) costituito da due superfici **conduttrici** (armature) separate da un materiale isolante (o materiale **dielettrico**)

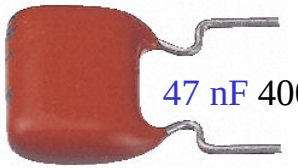
Se su un'armatura è arrivata (si è accumulata) una carica Q_c positiva (unità di misura Coulomb), sull'altra armatura c'è una identica carica Q_c solo negativa. Se sulle armature ci sono accumulate cariche di segno opposto, allora tra le armature c'è una tensione $\mathbf{V_c}$

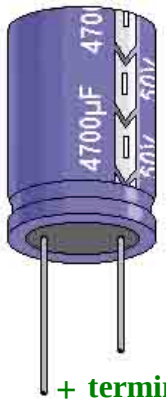
La carica che si può accumulare su un condensatore non è fissa ma dipende dalla tensione che spinge dentro le cariche (un condensatore è simile ad una bombola di gas …)





poliestere





Supponiamo che su un'armatura ci sia una carica in eccesso Q_{c1} = 5 µCoul e che si sia formata tra le armature una tensione V_{c1}= 5V

Se la carica raddoppia, la tensione raddoppia

$$\frac{Q_{c1}}{V_{c1}} = \frac{Q_{c2}}{V_{c2}} = \cos t = Capacità \qquad \left[\frac{Coul}{V} = Farad\right]$$

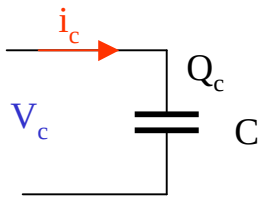
Cosa è la capacità C di un condensatore?

E' un numero che caratterizza il condensatore e che ci dice quanti Coulomb entrano nel condensatore **caricandolo con una V di 1V**

$$\frac{5\mu Coul}{5V} = \frac{10\mu Coul}{10V} = 1\mu F$$

$$Q_C = CV_C \Rightarrow \Delta Q_C = C\Delta V_C \Rightarrow \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C\frac{\Delta V_c}{\Delta t} \qquad \frac{\Delta Q}{\Delta t} = i_c$$

Per definizione di i



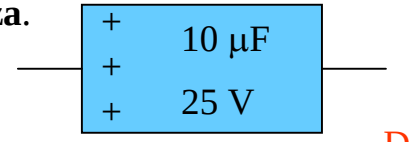
Se $\mathbf{i_C}$ **è grande** la $\mathbf{V_C}$ **varia rapidamente** per cui i_C e $\Delta V_C / \Delta t$ sono direttamente proporzionali.

$$i_C = C\frac{\Delta V_C}{\Delta t}$$

La costante di proporzionalità è C

Per C grandi occorre **aumentare la superficie** delle armature e **diminuire la distanza**.

C'è una **V massima**

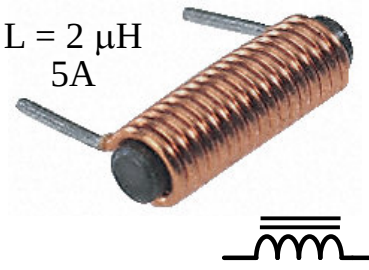


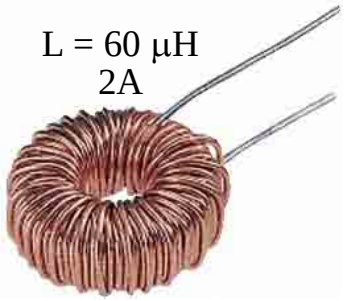
Derivata di Vc rispetto a t

$$i_C = C\frac{dV_C}{dt}$$

Induttore e induttanza L (5')

L = 10 nH


L = 2 μH
5A


L = 60 μH
2A

Un induttore è composto da un filo avvolto in aria
o avvolto su una barretta di materiale ferromagnetico
o su un percorso chiuso sempre di materiale ferromagnetico.

La corrente i che passa nel filo produce un **campo magnetico** la cui entità è individuata dal flusso di campo magnetico, che si indica con ϕ e si misura in **Weber (Wb)**

Tra la corrente i che percorre il filo avvolto e il flusso magnetico ϕ che essa produce c'è una proporzionalità diretta:

$\phi = k\,\mathbf{i}$ **dove k = costante**

La costante di proporzionalità si indica con **L** e si chiama **induttanza**

$\phi = \mathbf{L}\,\mathbf{i}$

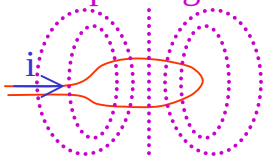
Visto che $\mathbf{L} = \phi / \mathbf{i}$ l'induttanza si misura in Wb/A, unità di misura che viene chiamata **Henry** (**H** = Wb / A)

Cosa è l'induttanza, allora? Il numero per cui bisogna moltiplicare i per avere il ϕ prodotto da quella i quando scorre in quell'avvolgimento

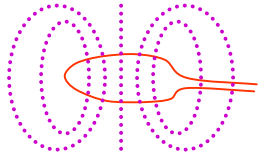
Perché il filo è avvolto? Per aumentare il flusso ϕ prodotto da quella corrente (se la corrente i in una **spira** produce un flusso ϕ e l'induttore è composto da N spire, il flusso prodotto dalla stessa i diventa N ϕ)

A cosa serve il materiale ferromagnetico? Ad aumentare l'induttanza, ovvero il flusso prodotto dalla corrente (la resistenza incontrata dal flusso per passare nell'aria, chiamata **riluttanza**, è molto maggiore di quella incontrata nel ferro, per cui il flusso in aria è molto minore del flusso sul ferro a parità di i e di numero di spire)

Linee di forza del campo magnetico



ϕ del campo magnetico variabile



$$v = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Se i varia anche ϕ varia

Se il ϕ concatenato con una spira varia ai capi del filo si produce (**induce**) una tensione v pari a $\Delta\phi / \Delta t$, dove Δt è il tempo in cui avviene la variazione di flusso $\Delta\phi$ (**legge dell'induzione**)

Visto che $\phi = \mathbf{L}\mathbf{i}$ allora $\Delta\phi = \mathbf{L}\,\Delta\mathbf{i}$ e si ha che:

Questa legge può essere ricordata a partire da quella del condensatore scambiando **i** con **v** e **C** con **L**

$$v = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = L\frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$i_C = C\frac{\Delta V_C}{\Delta t}$$

Un induttore avente un'induttanza L di 10 mH è percorso da una corrente i di 1 mA. Quale flusso ϕ produce la corrente? Quale tensione si induce sull'induttore se la corrente si annulla in 1 μsecondo?

$\phi = Li = 10m\ 1m = 10\ \mu Wb$

$$v = L\frac{\Delta i}{\Delta t} = 10m\frac{1m}{1\mu} = 10V \quad \text{oppure} \quad v = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{10\mu}{1\mu} = 10V$$

I numeri complessi

(4')

Si definisce unità immaginaria un numero, indicato col simbolo i, che elevato al quadrato dà come risultato -1 (essa è indicata col simbolo j in elettronica/elettrotecnica, dove con i si indica una corrente)

$i^2 = -1 = j^2$

L'unità immaginaria viene definita per rendere risolvibile l'equazione $x^2 = -1$ che ora ha 2 soluzioni +j e -j

$x = \sqrt{-1} = \pm j$

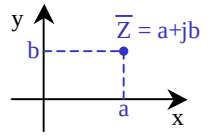
Si definisce numero immaginario un numero del tipo aj dove a è un numero reale

$\sqrt{-4} = \sqrt{-1}\sqrt{4} = \pm j2$

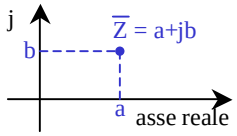
Si definisce numero complesso un numero del tipo $a + bj$ con a e b numeri reali

a è detta parte reale
bj è detta parte immaginaria
b è il coefficiente dell'immaginario

Un numero complesso $\overline{Z} = a + jb$, essendo identificato da una coppia di numeri reali (a, b), è associabile ad un punto del piano cartesiano con x = a e y = b.
Poiché l'asse y è usato per rappresentare il coefficiente dell'immaginario, viene detto asse immaginario o asse j.



Piano cartesiano x,y

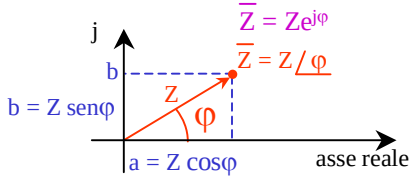


Piano complesso
(o di Argand-Gauss)
asse reale, asse j

In tal caso il piano non è più chiamato piano cartesiano xy ma **piano complesso** (o piano di Argand-Gauss).

$\overline{Z} = a + jb$ dicesi **rappresentazione algebrica**

$\overline{Z} = Z \angle \varphi$ dicesi rappresentazione vettoriale
o anche **rappresentazione in modulo e fase**



$Z = \sqrt{a^2 + b^2}$
$\varphi = \arctg (b/a)$

Poiché $\cos\varphi + j\,\mathrm{sen}\varphi = e^{j\varphi}$ (formula di Eulero)

$Z = a + jb = Z\cos\varphi + jZ\,\mathrm{sen}\varphi = Z(\cos\varphi + j\,\mathrm{sen}\varphi) = Ze^{j\varphi}$

che dicesi **rappresentazione esponenziale**.

La somma e la sottrazione si fanno più facilmente coi numeri in forma algebrica

$(R_1 + jX_1) + (R_2 + jX_2) = (R_1 + R_2) + j(X_1 + X_2)$

$(R_1 + jX_1) - (R_2 + jX_2) = (R_1 - R_2) + j(X_1 - X_2)$

$$\frac{Z_1 e^{j\varphi_1}}{Z_2 e^{j\varphi_2}} = \frac{Z_1}{Z_2} e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

Il prodotto e la divisione si fanno più facilmente coi numeri in forma esponenziale (ovvero in modulo e fase).

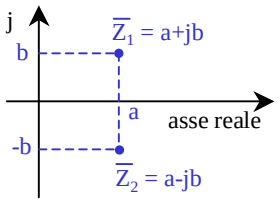
$$Z_1 e^{j\varphi_1} \bullet Z_2 e^{j\varphi_2} = Z_1 Z_2 e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

Nel campo complesso **ogni equazione di grado n ha n soluzioni** (teorema fondamentale dell'algebra).

Es.: $x^2 + 4x + 8 = 0 \quad \Rightarrow \quad x = 2 \pm j2$

Questi due numeri si dicono coniugati.

Un'equazione **a coefficienti reali** o ha **2 soluzioni reali** (distinte o coincidenti) o ha **2 soluzioni complesse coniugate** tra di loro (cioè che differiscono solo per il segno della parte j)



Coppia di numeri
complessi coniugati

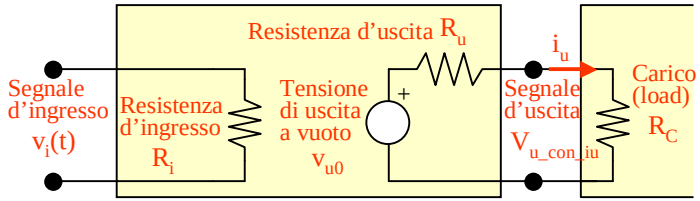
Segnali elettrici

(11')

Un **segnale** elettrico è una *tensione variabile nel tempo* usata per trasportare informazione

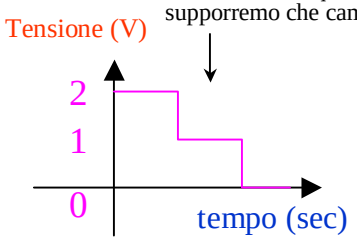
Cosa è un **circuito**? É un **quadripolo** che prende un segnale in I e fornisce uno seg. in U

Cosa è la **resistenza d'ingresso**?

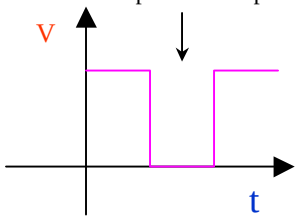


Cosa è il **carico** del circuito? **! ! !** V_{u0} (V_u **a vuoto**) è… **!** **?** Col carico $V_u < V_{u0}$

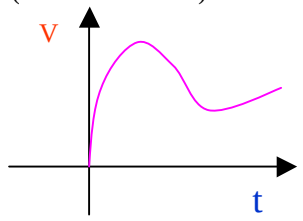
In verità anche questi assumono tutti i valori, ma quelli intermedi "non ci interessano" e supporremo che cambino valore il più in fretta possibile (variazione a scatto)



Un segnale che assume solo alcuni valori, è detto **digitale**



Se i valori possibili sono due è detto digitale **binario**



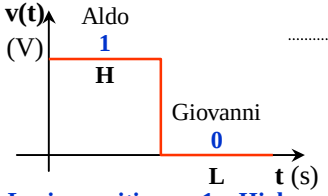
Se può assumere tutti i valori, è un **segnale analogico**

Elettronica digitale

Elettronica analogica

I segnali digitali usati oggi sono binari, cioè a due livelli: **tensione alta** e **tensione bassa**.
Questi due livelli possiamo chiamarli come ci pare, anche Aldo e Giovanni, ma i nomi più convenienti sono **H** (High) e **L** (Low) oppure **1** e **0**.

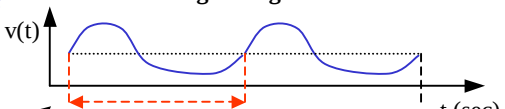
Se chiamiamo *1 il livello alto* (High) abbiamo una **logica positiva**. Se invece chiamiamo *1 il livello basso* (Low) abbiamo una **logica negativa**.



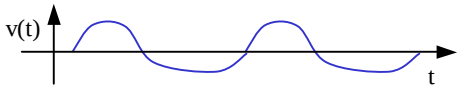
Logica positiva se **1 = High**
Logica negativa se **1 = Low**

1) Quando è che un segnale si dice **periodico**?

Quando, passato un intervallo di tempo detto **periodo** e indicato con **T**, i valori assunti dalla tensione si ripetono.
La **frequenza** è il numero dei periodi contenuti in un secondo (2 nell'esempio) e si calcola facendo 1 sec / T in sec (f = 1 / T).



2) Segnali **uni** e **bidirezionali**

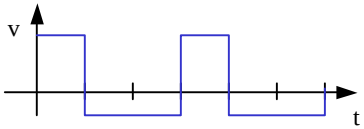


Questo è **unidirezionale** perché v(t) ha sempre lo stesso segno. Questo è **bidirezionale** perché a volte è positivo e a volte è negativo.

3) Il **duty cycle** (d.c.) di un'onda quadra è…

Nell'esempio d.c. = 33%

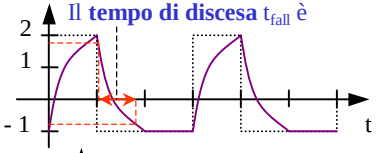
$$duty_cycle = \frac{t_{alto}}{T}$$



4) Il **tempo di salita** (rise) di un'onda quadra è…

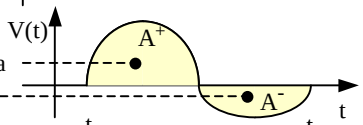
Il tempo impiegato per andare dal 10% al 90% del salto

Nell'esempio il salto è di 3 V e t_r è il tempo per andare da – 0.7 a 1.7 V



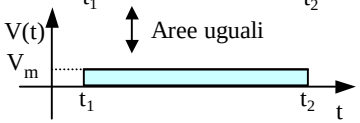
5) Cosa è il **valor medio** V_m di un segnale v(t)?

Premesso che con "area sotto la curva" v(t) s'intende questa e che le aree sotto le ascisse sono aree negative, l'area sotto la curva da t_1 a t_2 è $A_{t1t2} = A^+ - A^-$



Per valor medio di v(t) nell'intervallo t_1 - t_2 si intende la tensione fissa (continua) V_m di valore tale da essere equivalente come area sotto la curva, ovvero tale che:

$V_m * (t2 – t1) = A_{t1t2}$

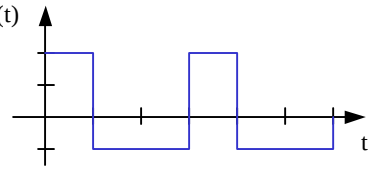


Il valor medio dipende dall'intervallo temporale considerato. Se non altrimenti specificato, il valor medio di un segnale periodico s'intende calcolato su un intero periodo.

6) Un segnale si dice **alternato** se…

ha valor medio = 0 (ovvero se le aree positive e negative si equivalgono).

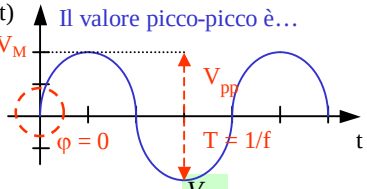
La sinusoide di rete è alternata, ma alternato non significa né sinusoidale né con valori massimi positivi e negativi uguali, ma centrato sullo zero.



7) Cosa è il **valore efficace**?

È sempre una tensione continua equivalente (come il valor medio), ma il valore efficace (V o V_{RMS}) è **la continua equivalente come dissipazione di potenza**.

La potenza dissipata su una R è v^2 / R e dipende dal quadrato di v. Pertanto **il valore efficace è il valor medio di v^2, ma facendone poi la radice quadrata** per recuperare l'elevamento al quadrato fatto su v



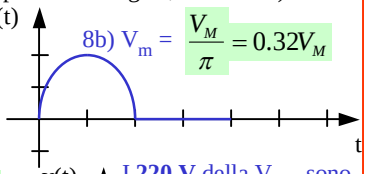
8a) $V_{eff} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} = 0.707 V_M$

8) Una **sinusoide** è caratterizzata dai seguenti 3 parametri:

Un'**ampiezza** V_M, pari al valor massimo, una **frequenza** f (che in questo disegno diventa un periodo T pari a 1/f) e una **fase** φ (quando la sinusoide parte dall'origine, la fase è 0)

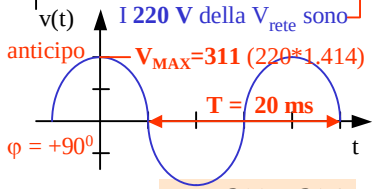
9) La **pulsazione** $\omega = 2\pi f$

e si misura in **rad/sec** (che sono Hz perché il radiante è un numero puro, ma serve a ricordarci che il valore della frequenza è moltiplicato per 6.28)



8c) La funzione sinusoide di ampiezza V_M pulsazione ω e fase φ è … $v(t) = V_M sen(\omega t + \varphi)$

8d) Una sinusoide che parte prima ha fase… positiva e si dice in anticipo



10) Le sinusoidi sono importanti perché (**Fourier**)

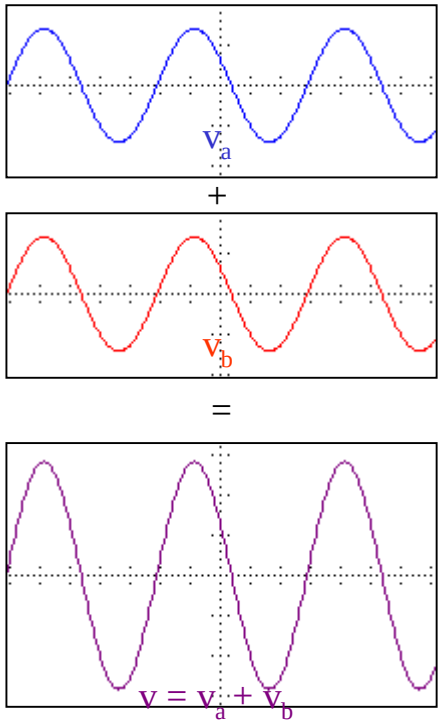
$$v(t) = v_m + A_1 sen(\omega t + \varphi_1) + A_2 sen(2\omega t + \varphi_2) + ...$$

$v_{rete} = 311 sen 31{,}4t$

Introduzione al teorema di Fourier

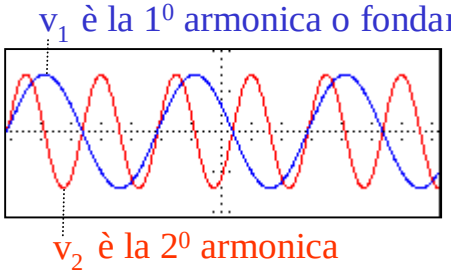
(4')

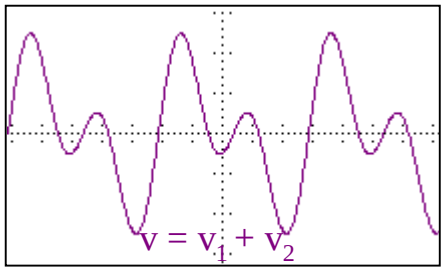
Cosa si ottiene sommando due sinusoidi di uguale frequenza?



Si ottiene ancora una sinusoide

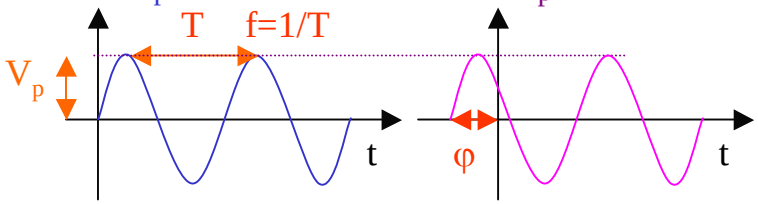
Cosa si ottiene sommando due sinusoidi di diversa frequenza (qui v_2 ha f doppia della f di v_1 e la stessa ampiezza)?





Si ottiene una forma d'onda **non** sinusoidale v(t)

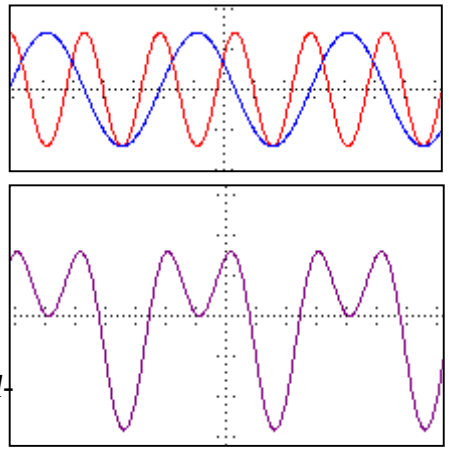
$V(t) = V_p \cos 2\pi f t$ $\qquad$ $V(t) = V_p \cos(\omega t + \varphi)$



v_1 e v_2 sono le sinusoidi componenti (**armoniche**) del segnale v

Segnale **armonico** = segnale **sinusoidale**

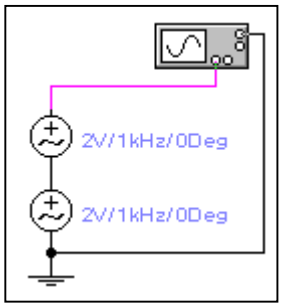
Se la fase di una delle due armoniche è diversa da zero (qui la 2^0 armonica ha fase 90^0), la tensione somma è la stessa o è diversa?



Notare che v è periodica *con lo stesso periodo della fondamentale*

E' diversa, per cui bisogna precisare l'ampiezza ma anche la fase di ogni armonica

Mettendo in serie due generatori la tensione risultante è la somma delle due tensioni



Cosa vuol dire la frase: v(t) è composta da (o contiene) due armoniche di ampiezza 2 V, frequenza di 1 e 2 KHz e fase nulla?

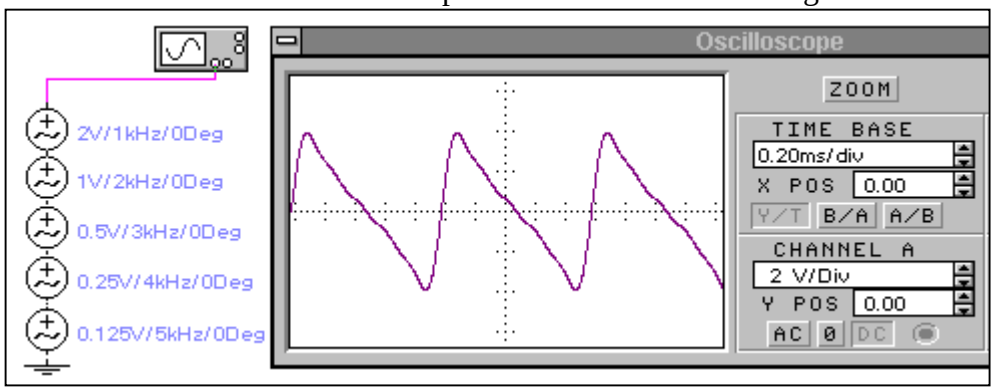
Vuol dire che posso ottenere v(t) sommando due sinusoidi una di ampiezza 2 V e f = 1 KHz, l'altra di ampiezza 2V e frequenza = 2 KHz, entrambe a fase nulla

Il **teorema di Fourier** afferma che *ogni* f(t) *periodica* è esprimibile con una serie del tipo:

valor medio di f(t) $\qquad$ 1^0 armonica (o fondamentale) alla f di f(t)

$$f(t) = A_0 + A_1 \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_1) + A_2 \operatorname{sen}(2\omega t + \varphi_2) + A_3 \operatorname{sen}(3\omega t + \varphi_3) + \ldots$$

armoniche di ordine superiore con frequenza multipla di f



Le forme d'onda 'spigolose' (onda quadra, onda triangolare, dente di sega) contengono infinite armoniche, essendo necessarie frequenze alte per 'ricostruire' gli spigoli (le armoniche a frequenze alte sono di ampiezza minore perché servono solo a modellare gli spigoli nel piccolo)

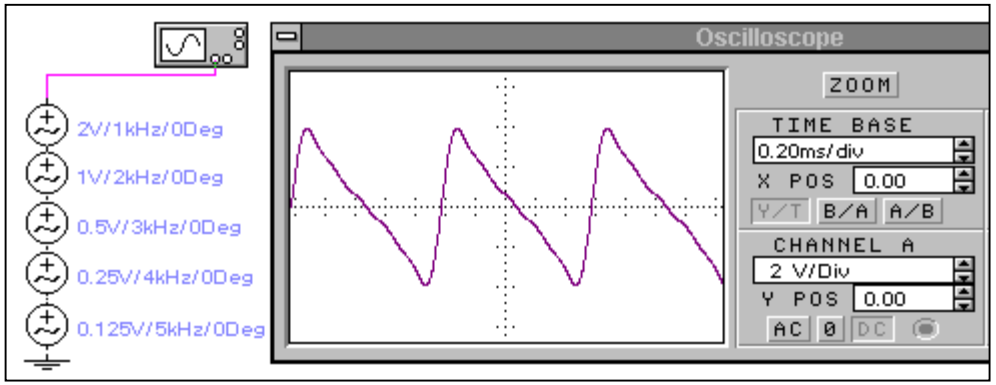
Introduzione allo spettro delle ampiezze e delle fasi

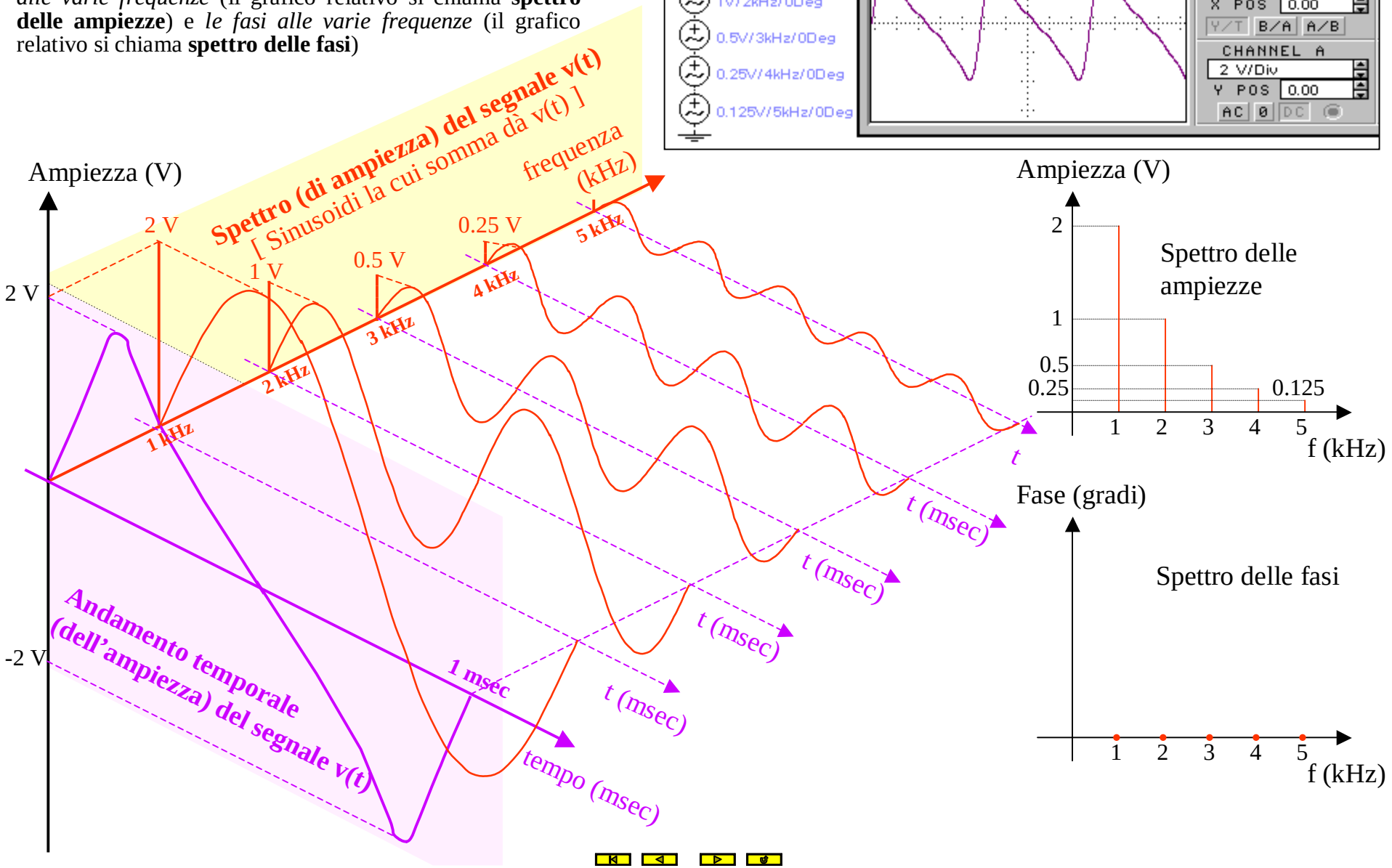
(4')

Conoscendo le armoniche di v(t) (compresa quella a frequenza zero che poi sarebbe il valor medio), possiamo ricostruire v(t) sommandole tra loro.

Conoscere le armoniche significa conoscere *le ampiezze alle varie frequenze* (il grafico relativo si chiama **spettro delle ampiezze**) e *le fasi alle varie frequenze* (il grafico relativo si chiama **spettro delle fasi**)

Es.: disegnare gli spettri (delle ampiezze e delle fasi) del segnale mostrato





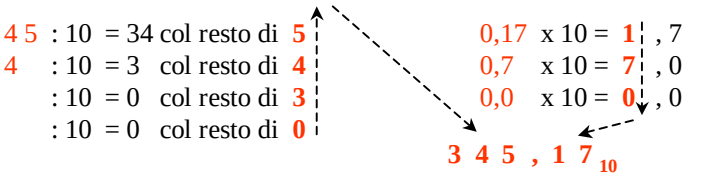
Numeri binari e notazione scientifica

(15')

Il **sistema di numerazione decimale** è un sistema **in base 10** perché usa 10 simboli (i numeri da 0 a 9) **posizionale** perché il valore di un simbolo, ad es. il 3, dipende dalla posizione: in posizione 0 vale $3 * b^0 = 3 * 10^0 = 3 * 1 = 3$
in posizione 1 vale $3 * b^1 = 3 * 10^1 = 3 * 10 = 30$
in posizione 2 vale $3 * b^2 = 3 * 10^2 = 3 * 100 = 300$
in posizione -1 vale $3 * b^{-1} = 3 * 1/10^1 = 3 * 0,1 = 0,3$
in posizione -2 vale $3 * b^{-2} = 3 * 1/10^2 = 3 * 0,01 = 0,03$

$3\,4\,5\,,\,1\,7_{10}$
$2\;1\;0\;\;-1\;-2$ posizione

$3\,4\,5\,,\,1\,7_{10} = 3*10^2 + 4*10^1 + 5*10^0 + 1*10^{-1} + 7*10^{-2} = 300 + 40 + 5 + 0,1 + 0,07$



Se la parte frazionaria non va mai a zero, si interrompe noi quando si hanno le cifre volute

Con N cifre decimali si possono scrivere 10^N numeri, da **0** a $10^N - 1$
Es.: con **3** cifre decimali si possono scrivere $10^3 = 1000$ numeri, da **0** a $10^3 - 1 = 999$

Vediamo come si usa il sistema decimale per **rappresentare** i diversi **tipi di dati**:
Interi senza segno: rappresentati col **sistema di numerazione decimale *pura***
Interi con segno: rappresentazione in **modulo e segno** = sistema di numerazione decimale + un simbolo binario che indica se il numero è positivo (+34) o negativo (-34)

Numeri con la virgola: si potrebbero usare due numeri, uno per la parte intera e uno per la parte frazionaria (es: 345,17 = intero 345 e frazionario 170 se abbiamo assegnato alle due parti 3 cifre). Poiché c'è un numero prefissato di cifre decimali, questa rappresentazione è detta **in virgola fissa**.
Per rappresentare numeri molto grandi (es. –345 000 000 000) servono però molte cifre nella parte intera e per quelli molto piccoli (es.. 0,000 000 175) molte cifre nella parte frazionaria. Questo problema si supera usando la rappresentazione esponenziale $\mathbf{M * 10^C}$ (detta notazione scientifica per il largo uso che se ne fa in ambito scientifico o **rappresentazione in virgola mobile** - **floating point** - perché si può mettere la virgola dove si desidera variando opportunamente l'esponente del 10)

la rappresentazione è *normalizzata* se $0,1 \le$ mantissa ≤ 1

-345 000 000 000 = -0,345E+12 => **mantissa** -345 e **caratteristica** (esponente) +12
0, 000 000 175 = 0,175E-9 => mantissa +175 e caratteristica (esponente) -9

Il numero di cifre della mantissa determina la **precisione**

-345 333 000 000 = -0,345333E+12
0, 000 000 175 222 = 0,175222E-12
} Sono quasi gli stessi numeri, essendo rimasta = la parte più significativa, ma con una *precisione doppia* (6 numeri invece di 3)

Il **sistema di numerazione esadecimale** è un sistema **in base 16** che usa 16 simboli (i numeri da 0 a 9 poi A per 10, B per 11, C per 12, D per 13, E per 14, F per 15).
È usato per scrivere in modo più compatto i numeri binari perché ad ogni cifra esadecimale corrispondono 4 cifre binarie

$3FF_{16} = 3*16^2 + 15*16 + 15 = 3*256 + 15*17 = 1023_{10}$

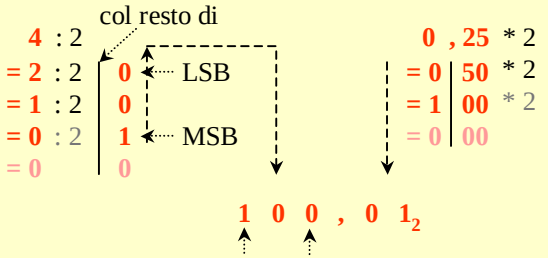
$0011\;1111\;1111_2$
$3\;\;F\;\;F_{16}$

Un gruppo di 4 bit costituisce un **nibble**

Il **sistema di numerazione binaria** è un sistema **in base 2** perché usa 2 simboli (0 e 1) **posizionale** perché il valore di un 1 dipende dalla posizione:
in posizione 0 vale $1 * b^0 = 1 * 2^0 = 1 * 1 = 1$
in posizione 1 vale $1 * b^1 = 1 * 2^1 = 1 * 2 = 2$
in posizione 2 vale $1 * b^2 = 1 * 2^2 = 1 * 4 = 4$
in posizione -1 vale $1 * b^{-1} = 1 * 1/2^1 = 1 * 0,5 = 0,5$
in posizione -2 vale $1 * b^{-2} = 1 * 1/2^2 = 1 * 0,25 = 0,25$

$1\,0\,0\,,\,0\,1_2$
$2\;1\;0\;\;-1\;-2$ posizione

$1\,0\,0\,,\,0\,1_2 = 1*2^2 + 0*2^1 + 0*2^0 + 0*2^{-1} + 1*2^{-2} = 4 + 0 + 0 + 0 + 0,25 = \mathbf{4,25_{10}}$



Most Significant Bit MSB il più
LSB Least Significant Bit il meno

8 bit = **1 byte** → **B**
Unità di misura dell'informazione **bit** → **b**
Con N cifre binarie si possono scrivere 2^N numeri, da **0** a $2^N - 1$
Es.: con **10** cifre binarie si possono scrivere $2^{10} = 1024$ numeri, da **0** a $2^{10} - 1 = 1023$
K

Vediamo come si usa il sistema binario per **rappresentare** i diversi **tipi di dati**:
Interi senza segno: sistema di **numerazione binaria *pura*** (es. 100_2 per 4_{10})
Interi con segno: rappresentazione in **modulo e segno** = numero binario + uno 0 a sinistra se è positivo o un 1 se è negativo, o (più usata!) in **complemento a 2^N**

0	1	2	3	-0	-1	-2	-3	Numero rappresentato in **modulo e segno**
000	001	010	011	100	101	110	111	Numero binario
0	1	2	3	4	5	6	7	Numero rappresentato in **binario puro**
0	1	2	3	-4	-3	-2	-1	Numero rappresentato in **complemento a 2^3**

Numeri con la virgola: si rappresentano con **mantissa e caratteristica** ovvero **in virgola mobile** (**floating point**)

Es.: $-100011,00110_2$ prima si mette in notazione esponenziale normalizzata ($-0,10001100110 * 2^{110}$), poi si memorizza la **caratteristica** ovvero l'esponente (+110) e la **mantissa** (- 10001100110), entrambi rappresentati in modulo e segno oppure in complemento a 2 perché numeri con segno.

In singola precisione si usano 32 bit: 8 per la caratteristica e 24 per la mantissa.
In doppia precisione si usano 64 bit: 9 per la caratteristica e 55 per la mantissa.

Simboli alfanumerici (caratteri): ad ogni carattere alfabetico, numerico o di altro tipo (. , spazio o anche non stampabile tipo DEL) si associa un numero binario (**codifica**). Molto usata è la **codifica ASCII** (American Standard Code for Information Interchange): 7 bit (sufficienti x $2^7 = 128$ caratteri) L'ottavo bit è usato nell'**ASCII esteso** per le tastiere nazionali. L'1 è codificato con $31_{16} = 0011\;0001_2$

Numeri Decimali Codificati in Binario (BCD): ad ogni cifra decimale si associa un numero binario di 4 bit. Nel $\mathbf{BCD_{8421}}$ le cifre si codificano col corrispondente valore binario. In altri BCD si usano altre codifiche e bisogna consultare una tabella per sapere quali 4 bit codificano una data cifra decimale.

Precisazioni sul complemento a 2^N e sui tipi di dati

(10')

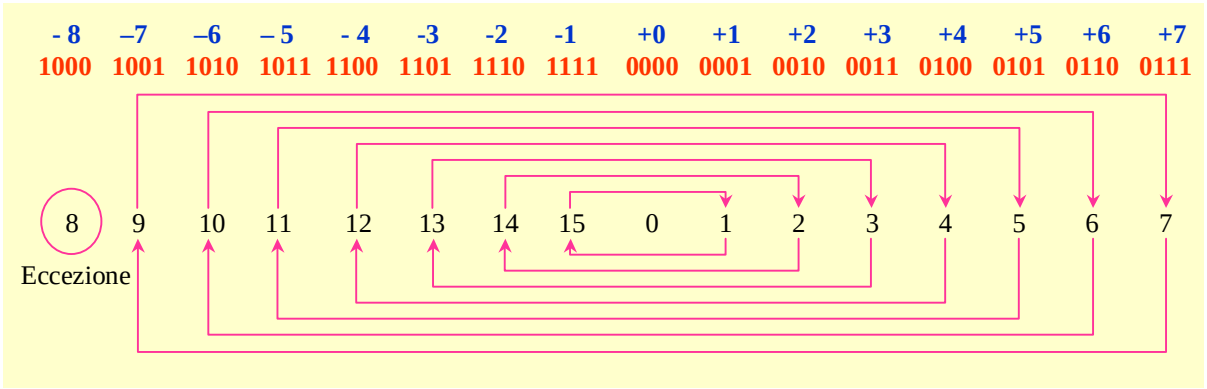
Se X è rappresentato con 4 bit, **complementare X** significa trovare quanto manca a X per arrivare a 16 (poiché complementare può anche indicare mettere 0 al posto di 1 e 1 al posto di zero, conveniamo di chiamare questo "**complemento a 1**" e di chiamare "**complemento a 2^N**" il cercare quanto gli manca per arrivare a 2^N)

Visto che 15 + 1 = 16, **complementando 15 si ottiene 1** e **complementando 1 si ottiene 15** (complementando 14 si ha 2 e complementando 2 si ha 14; …)

Un primo motivo per fare questa scelta è che l'operazione "cambio del segno del numero che abbiamo" (1 o 15, perché +1 e –1 non sono i numeri che abbiamo ma i significati che attribuiamo loro) può essere fatta **complementando il numero**.

Il secondo motivo è che cambiando due volte di segno si torna al numero di partenza, perché complementando 1 (rappresentazione di **+1**) si trova 15 (rappresent. di **–1**) e complementando 15 (rappr. di **–1**) si trova 1 (rappr. di **+1**)

La rappresentazione in complemento a 2^4, cioè con 4 bit, è la seguente:



Tutti **i negativi** hanno **un 1 a sinistra** e **tutti i positivi** hanno **uno 0 a sinistra** (per questo motivo il bit più a sinistra è detto "**bit del segno**")

Per **aumentare il numero delle cifre** bisogna replicare a sinistra il bit del segno

$(+3)_{10} = (0011)_{2^4} = (00011)_{2^5} = (000011)_{2^6}$

$(-3)_{10} = (1101)_{2^4} = (11101)_{2^5} = (111101)_{2^6}$

Modi per cambiare segno/complementare:

1) Si scambiano gli 1 con gli zeri (complemento a 1) e poi si aggiunge 1

0010 Rappresentazione di +2 → 1101 + 1 = 1110 Rappresentazione di -2

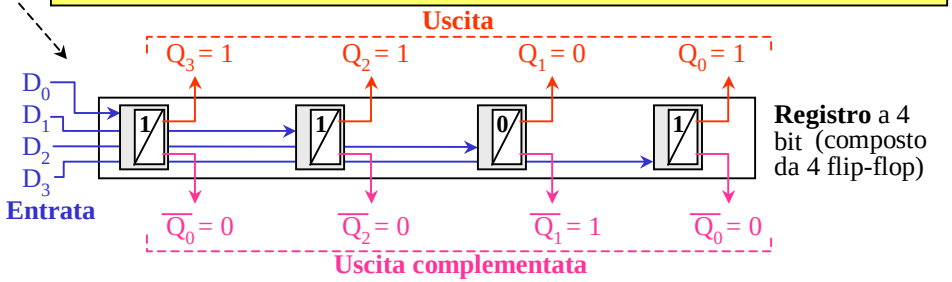
1110 Rappresentazione di -2 → 0001 + 1 = 0010 Rappresentazione di +2

2) Si parte da destra copiando il numero originale fino al primo 1 compreso, poi si invertono le restanti cifre.

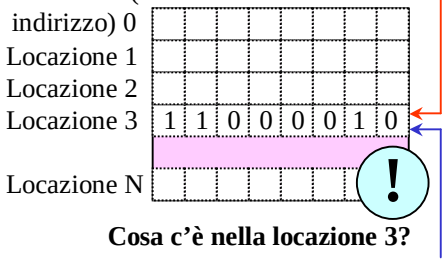
Fino al primo 1 compreso si ricopia | Poi si inverte

0 0 1 1 Rappresentazione di +3

1 1 0 1 Rappresentazione di -3



Se è un **dato** di **tipo**



Potrebbe essere un'**istruzione**

- intero senza segno → Il dato vale: $2^7 + 2^6 + 2^1 = 128 + 64 + 2 =$ **194** $_{10}$
- intero con segno rappresentato in modulo e segno → Il modulo vale 64 + 2 e dunque il dato vale **– 66** $_{10}$
- intero in complemento a 2^8 → Il dato vale 194_2 ma trattandosi di un numero negativo (perché il bit del segno è 1) lo complementiamo facendo 256 – 194 = 62 per conoscere il corrispondente numero positivo. Dunque vale **– 62** $_{10}$
- in virgola mobile con 5 cifre di mantissa e 3 di caratteristica e con rappresentazione in modulo e segno → $- 0{,}1000 * 2^{+2} = -10{,}000_2 =$ **- 2.0**
- carattere ASCII → Cercare (nella tabella ASCII esteso perché il primo bit è 1) il numero $C2_{16}$ o 194_{10} Si trova ┬ (ottenuto battendo ALT-194 con Bloc Num attivo)
- Numero in BCD $_{8421}$ → Non è possibile perché il numero a sinistra non è un numero decimale. Un display con ingresso BCD visualizzerebbe però l'esadecimale **C2**

Le operazioni nei 4 sistemi di numerazione

(13')

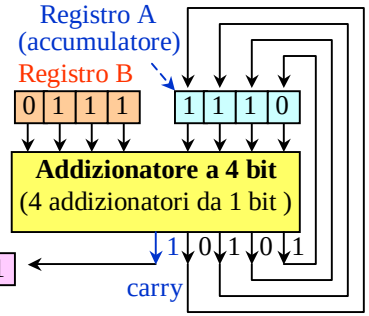
Le operazioni aritmetiche *non dipendono dalla base* usata dal sistema di numerazione, per cui le operazioni tra numeri binari o esadecimali seguono le stesse regole di quelle tra numeri decimali.

Operazioni tra binari (puri)

Somma

0+0 = 0
0+1 = 1
1+1 = 2 = 10_2 = 0 riporto 1
1+1+1 = 3 = 11_2 = 1 riporto 1

carry



Traboccamento (overflow)
risultato errato

```
  1 1
  1 1 1 0 +  (14)
  0 1 1 1 =  (7)
-------------------
1 0 1 0 1    (21)
```

Sottrazione 0 - 1 con prestito (borrow) fa 1 , perché l'1 prestato insieme allo 0 fa 10_2 = 2

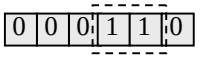
Uno 0 che ha preso un prestito diventando un 2 ma a sua volta ha prestato un 1 è diventato un 1

```
   -1 -1 -1      2-1=1
   1  0  0 10  1 –  (17)
      0  1  1  1 =  (7)
-------------------------
   0  1  0  1  0     (10)
```

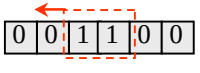
Prodotto Tutto come in decimale

1 + 1 + 1 + 1 = 4 = 100_2

(**shift**)
Scorrimento a sinistra degli 1 di una posizione



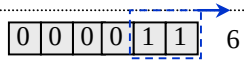
6



6 * 2 = 12

```
    1  1  1 x  (7)
    1  1  1 =  (7)
-------------------
       1
    1  0  1  1  1
    1  1  1  1
    1  1  1
-------------------
 1  1  0  0  0  1   (49)
```

Divisione S. a destra



6 / 2 = 3

Tutto come in decimale

10011 : 110 = 19 : 6 = 3 resto 1

```
1 0 0 1 1 | 1 1 0
    1 1 0 |-------
-------   | 1 1
0 0 1 1 1 |
    1 1 0 |
-------   |
        1 |
```

Operazioni tra esadecimali

Somma:

8 + A = 18 = 12_{16} = 2 riporto 1

A = 10
B = 11
C = 12
D = 13
E = 14
F = 15

Sottrazione:

2 - 3 con prestito = 12_{16} – 3 = 18 – 3 = F

0 - F con prestito = 10_{16} – 15 = 16 – 15 = 1

Uno 0 che ha preso un prestito diventando un 10_{16} = 16 ma a sua volta ha prestato un 1 è diventato un 15 = F

```
   -1 -1
   4  0  0 –  (1024)
   3  F  F =  (1023)
-------------------
   0  0  1    (1)
```

Somma (algebrica) tra numeri in **modulo e segno**

Per sommare A e B bisogna: 1) stabilire se hanno ugual segno

no ↙ ↓ si

2) Stabilire chi ha modulo maggiore
3) Sottrarre il modulo minore a quello maggiore
4) Dargli il segno del numero di modulo maggiore

2) Sommare i moduli
3) Dargli il segno comune

Il risultato è sempre corretto

è errato se c'è traboccamento

1 operazione invece di 3 o 4!!

Somma (algebrica) tra numeri in **complemento a 2^N**

1) Sommarli (ignorando l'eventuale traboccamento)

Risultato errato se gli addendi sono di ugual segno e la somma è di segno diverso

```
1 1 0 +  (-2)
0 0 1 =  (+1)
-------------
1 1 1    (-1)
```

```
1 1 0 +  (-2)
0 1 1 =  (+3)
-------------
1 0 0 1  (+1)
```

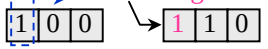
```
1 1 0 +  (-2)
1 1 1 =  (-1)
-------------
1 1 0 1  (-3)
```

```
1 1 0 +  (-2)
1 0 1 =  (-3)
-------------
1 0 1 1  (errore)
```

```
0 1 1 +  (+3)
0 1 1 =  (+3)
-------------
1 1 0    (errore)
```

000	001	010	011	100	101	110	111	Numero
0	1	2	3	4	5	6	7	Num. in **binario puro**
+0	**+1**	**+2**	**+3**	**-4**	**-3**	**-2**	**-1**	Num. rappresentato **in complemento a 2^3**

bit del segno

S. a destra 

-4 / 2 = -2

Operazioni tra numeri in virgola mobile M * 2^C

Le operazioni seguono le regole previste per le potenze

Supponiamo che la mantissa e la caratteristica siano rappresentate in complemento a 2 con 3 cifre

essendo normalizzato

```
-3   +2
1 0 1 0 1 0   => - 0 , 3 * 2 +2
  M     C
```

```
+ 0 , 1 * 2 +3
- 0 , 3 * 2 -2
--------------
      ?
```

```
+ 0 , 1          * 2 +3
- 0 , 0 0 0 0 0 3 * 2 +3
------------------------
- 0 , 0 9 9 9 9 7 * 2 +3
```

```
+ 1 0 0 0 0 , 0 * 2 -2
      - 0 , 3 * 2 -2
--------------------
+ 0 9 9 9 9 , 7 * 2 -2
```

normalizzando - 0 , 9 9 9 9 7 * 2 +2

prodotto tra le mantisse

(+ 0,1*2 +3) * (- 0,3*2 -2) = - 0,1 * 0,3 * 2 +1 ← *somma* algebrica tra gli esponenti

(+ 0,1*2 +3) / (- 0,3*2 -2) = - 0,1 / 0,3 * 2 +5 ← *differenza* algebrica tra gli esponenti

In entrambi i casi i risultati sono già normalizzati ← *quoziente* tra le mantisse

Notare che le moltiplicazioni e le divisioni si riducono a somme e differenze.

Il complemento a 2^N è molto usato perché tutto si fa con l'addizionatore e la somma algebrica in complemento è più efficiente di quella in modulo e segno.

Tipi di circuiti digitali

(10')

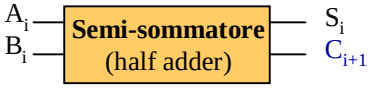
Ci sono tre tipi di circuiti digitali:

1) I circuiti digitali COMBINATORI

Un circuito digitale dicesi combinatorio **se gli ingressi determinano le uscite**.

Sono circuiti combinatori le **porte logiche**, ovvero i **circuiti** che eseguono le **operazioni logiche** (AND, OR, NOT, XOR e le altre operazioni logiche derivate da queste che vedremo nella diapositiva "Le porte logiche")

Un altro circuito combinatorio è il **semi-sommatore** (**half adder**) che (come vedremo in "Operazioni") fa



$A_i + B_i = S_i$ + un riporto (Carry) C_{i+1}:

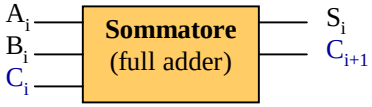
0 + 0 = 0 riporto 0

0 + 1 = 1 riporto 0

1 + 0 = 1 riporto 0

1 + 1 = 0 riporto 1 perché $1 + 1 = (2)_{10} = (10)_2$ per cui scrivo 0 e riporto 1

È combinatorio anche il **sommatore** (**full adder**) che fa



$A_i + B_i + Ci = S_i + C_{i+1}$:

0 + 0 + 0 = 0 riporto 0

0 + 0 + 1 = 1 riporto 0

…

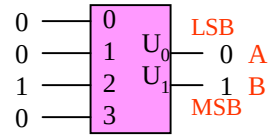
0 + 1 + 1 = 0 riporto 1

…

1 + 1 + 1 = 1 riporto 1 perché $1+1+1 = (3)_{10} = (11)_2$ per cui scrivo 1 e riporto 1

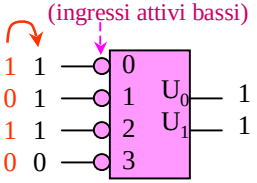
Un altro circuito combinatorio importante è il **codificatore** (**coder**)

In questo esempio il codificatore ha 4 ingressi numerati da 0 a 3 e diremo che "entra il numero 2" se è **attivo** (cioè vale 1) il piedino 2 mentre **tutti gli altri ingressi sono non attivi** (cioè valgono 0)



Codificatori in binario (ingressi attivi bassi)

Se gli ingressi hanno il pallino (o il triangolino nella simbologia ANSI) allora il livello attivo è quello basso. In questo secondo esempio è attivo l'ingresso 3 per cui diremo che il codificatore ha l'ingresso 3 anche se non viene messo il 3 ma uno zero sul pin 3

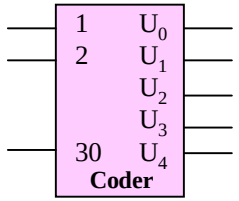


Cosa succede se fossero attivi insieme due ingressi, ad es. sia l'ingresso 1 che l'ingresso 3? Il **codificatore a priorità** (ma sono tutti a priorità) considera attivo solo l'ingresso a priorità più alta, solo l'ingresso 3 nell'es. perché i numeri alti hanno priorità maggiore

Codificare un numero significa associargli un numero binario a piacere prelevabile dall'uscita, ad es. la sua traduzione da decimale a binario: $(2)_{10} = (10)_2$ $(3)_{10} = (11)_2$

Most Significant Bit = MSB — LSB = Least Significant Bit

Si vuole codificare i 30 studenti di una classe assegnando ad ognuno di essi un codice binario diverso. Di quanti ingressi e di quante uscite deve disporre un codificatore per poter fare questa codifica?

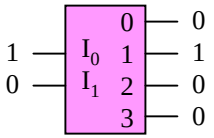


Gli ingressi devono essere 30, uno per ogni studente da codificare.

L'uscita deve poter fornire 30 numeri diversi e poiché con N bit si fanno 2^N numeri diversi bisogna che 2^N sia 30 o maggiore.

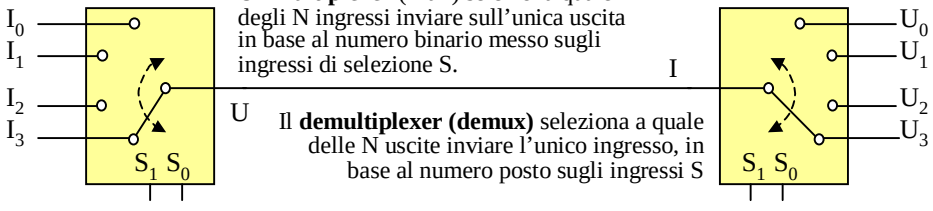
l'N necessario è 5 perché $2^5 = 32 > 30$

Un **decodificatore** (**decoder**) è un circuito che attiva una e una sola uscita, quella associata al numero che ha in ingresso.
Quelli in commercio sono generalmente codificatori binari che attivano in uscita la linea indicata dal numero binario in ingresso



Decodificatore binario

Nell'es. il numero binario in ingresso è 01 (non 10 perché è il bit meno significativo ad essere 1), ovvero il numero decimale 1. In uscita sarà attiva (alta perché non c'è il pallino) la linea 1 e tutte le altre linee saranno non attive ovvero basse



Un **multiplexer** (**mux**) seleziona quale degli N ingressi inviare sull'unica uscita in base al numero binario messo sugli ingressi di selezione S.

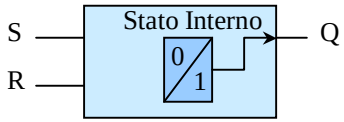
Il **demultiplexer (demux)** seleziona a quale delle N uscite inviare l'unico ingresso, in base al numero posto sugli ingressi S

Mux e demux sono usati per inviare N segnali usando un solo filo con una tecnica nota come **multiplazione a divisione di tempo**

2) I circuiti digitali SEQUENZIALI

Un circuito digitale,però, può avere una memoria e fornire in uscita qualcosa che dipende da ciò che contiene la sua memoria.
Il caso può semplice è quello di un circuito detto **Flip-Flop Set Reset** che ha uno stato interno in grado di assumere due stati (0 o 1) e che fornisce una uscita Q = Stato Interno.

Flip-Flop Set Reset



Per portare lo stato interno e l'uscita a 1 occorre porre ad 1 l'ingresso S (**Set** perché *setta*, ovvero *porta a 1*, l'uscita) mentre R è inattivo ovvero a 0.

Per portare lo stato interno e l'uscita a 0 occorre porre ad 1 l'ingresso R (**Reset** perché *resetta*, ovvero *azzera*) mentre S è inattivo ovvero a 0.

L'ingresso S=1 R=1 **non è usato nel Flip-Flop Set-Reset** e se può presentarsi dobbiamo usare il **FF JK** che vedremo facendo i FF

S	R	Q_n
0	0	Q_{n-1}
0	1	0
1	0	1
1	1	Non usato

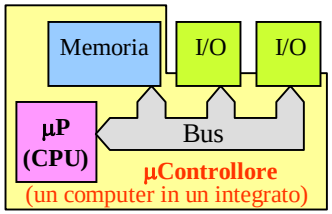
Coi due ingressi 0-1 o 1-0 il comportamento è *combinatorio*, perché *l'ingresso determina l'uscita*.

Se però mettiamo R=0 S=0 allora l'uscita non dipende dall'ingresso ma dallo stato interno attuale, frutto dell'ultimo ingresso diverso da 0-0. Nella tabella di verità scriviamo che l'uscita all'istante n (Q_n) è uguale all'uscita che aveva nell'istante precedente (Q_{n-1}).

I circuiti con memoria, caratterizzati dal fatto che l'uscita non dipende sempre e solo dall'ingresso attuale ma può dipendere anche da ciò che è in memoria sono detti **sequenziali**.

3) I circuiti digitali PROGRAMMABILI

Un circuito come il flip-flop ha memoria, ma ha un comportamento rigido.
Una terza categoria di circuiti digitali sono i circuiti con memoria **programmabili**. Il componente chiave di questi circuiti è il **micro-processore** (**µP**), un integrato costruito per prendere dalla memoria le istruzioni di un programma ed eseguirle, facendo cose diverse con programmi diversi (per capire come lavora si veda "Una CPU in azione").



Un **micro-controllore** (**µC**) è un integrato che contiene al suo interno sia un micro-processore che la memoria (una parte della quale è memoria che non si cancella allo spegnimento facendo la funzione dell'hard-disk). Un **µC** è un computer contenuto in un singolo integrato dal costo di pochi euro, che dal 1990 in avanti ha invaso (e rivoluzionato) l'elettronica

Sintesi di circuiti logici e mappe di Karnaugh

(15')

Tre sensori controllano pressione (P), temperatura (T) e livello del liquido (L) di un recipiente dove avviene una reazione chimica dando una tensione alta (1) se si supera un livello di allarme e bassa (0) altrimenti. Realizzare un allarme che scatti (uscita Y = 1) quando: a) P=1 con L= 0; b) T=1 con L=0; c) P=T=L=1

Costruiamo la tavola di verità esaminando i 2^3 casi possibili:

P	T	L	Y	
0	0	0	0	
0	0	1	0	
0	1	1	0	c
0	1	0	1	b
1	0	0	1	a
1	0	1	0	
1	1	1	1	
1	1	0	1	a+b

(nel passaggio tra una riga e la successiva cambia uno e un solo valore)

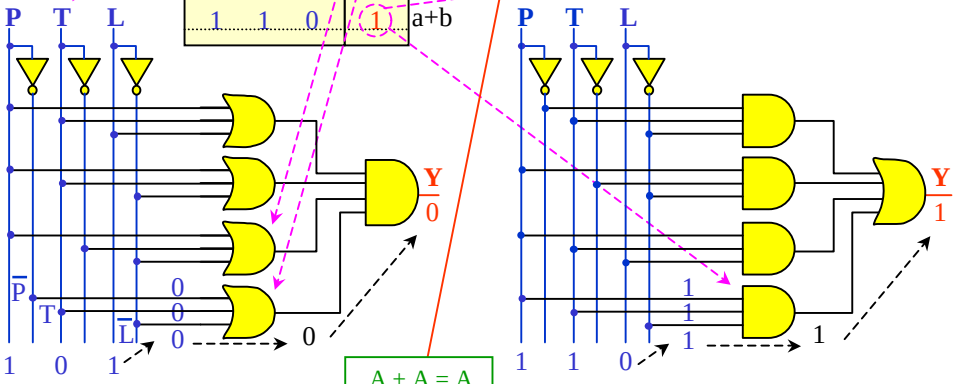
1) Sintesi IN FORMA CANONICA + MINIMIZZAZIONE algebrica

1a) con **prodotto di somme** (**PS**) ovvero con tanti OR quanti sono gli 0 e un AND finale

$Y = (\overline{P}+T+\overline{L})\,(P+\overline{T}+\overline{L})\,(P+T+\overline{L})\,(P+T+L)$

1b) con **somma di prodotti** (**SP**) ovvero con tanti AND quanti sono gli 1 e un OR finale

$Y = P\,T\,\overline{L} + P\,T\,L + P\,\overline{T}\,\overline{L} + \overline{P}\,T\,\overline{L}$



Sintesi in forma canonica con prodotto di somme (PS)

Sintesi in forma canonica con somma di prodotti (SP)

A + A = A

$Y = PT\overline{L} + PTL + P\overline{T}\overline{L} + \overline{P}T\overline{L} + \overline{P}\overline{T}\overline{L}$

$Y = PT(\overline{L}+L) + P\overline{L}(T+\overline{T}) + T\overline{L}(P+\overline{P})$

A + $\overline{A}$ = 1 ; A * 1 = A

$Y = PT + P\overline{L} + T\overline{L}$

Costo = 4 x 3 + 1 x 4 = 16 ingressi

Costo = 9 ingressi

2) Sintesi IN FORMA MINIMIZZATA con l'uso delle MAPPE DI KARNAUGH

P cambia: scartata

in c

T non varia ed è 1: presa com'è

c => $T\overline{L}$

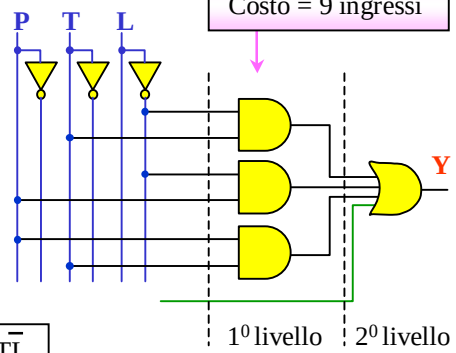
L non varia ed è 0: presa negata

b => $P\overline{L}$

a ===> PT

Y = PT + $P\overline{L}$ + $T\overline{L}$

I gruppi devono essere potenze di 2 (2/4/8 /16 ma non 3/5/6…)



3) Sintesi con NAND

Prima si sintetizza la funzione in SP ottenendo:

Poiché:

$\overline{A+B} = \overline{A} * \overline{B}$

$\overline{A*B} = \overline{A} + \overline{B}$

leggi di De Morgan

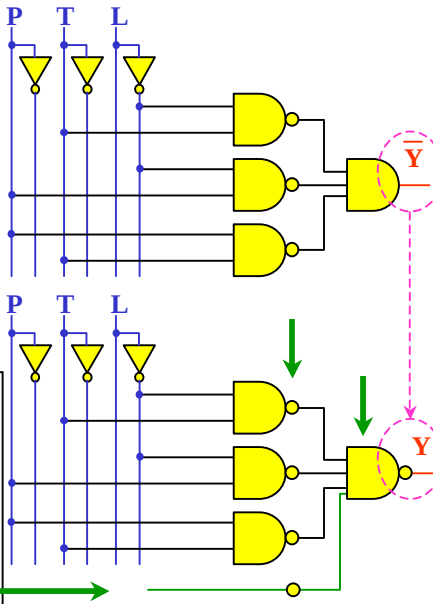
$Y = PT + P\overline{L} + T\overline{L}$

AND NAND AND NAND AND NAND

Si ha:

$\overline{Y} = PT + P\overline{L} + T\overline{L} = \overline{PT} * \overline{P\overline{L}} * \overline{T\overline{L}}$

Poiché $Y = \overline{\overline{Y}}$



In conclusione per passare dalla SP a tutti NAND basta:

(1) negare il 1^0 livello;

(2) sostituire l'OR del 2^0 livello con un NAND

ATTENZIONE: dire che si sostituisce tutto con NAND non va bene, perché se un ingresso va direttamente al 2^0 livello nel circuito di partenza esso va negato nel circuito con soli NAND

Una barriera a raggi infrarossi è realizzata con 4 coppie emettitore-ricevitore ABCD poste a 40cm di distanza tra loro e danno una tensione alta (1) quando il raggio è interrotto. Realizzare un allarme che segnali con Y=1 il passaggio di oggetti di altezza > di 40 cm (ovvero che interrompono almeno 2 raggi adiacenti)

A B C D	Y
0 0 0 0	0
0 0 0 1	0
0 0 1 1	1
0 0 1 0	0
0 1 0 0	0
0 1 0 1	0
0 1 1 1	1
0 1 1 0	1
1 1 0 0	1
1 1 0 1	1
1 1 1 1	1
1 1 1 0	1
1 0 0 0	0
1 0 0 1	0
1 0 1 1	1
1 0 1 0	0

CD \ AB	00	01	11 a	10
00	0	0	1	0
01	0	0	1	0
11	1	1	1	1 b
10	0	1	1	0
		c	Y	

a => AB

b => CD

c => BC

ABCD

Y = AB + CD + BC

ZT \ XY	00	01	11 a	10
00	0	0	1	1
01	0	0	0	0
b 11	1	0	0	1 b
10	0	0	1	1
			A a	

ATT.: i bordi (sopra e sotto, destro e sinistro) sono adiacenti

a => $X\overline{T}$

b => $\overline{Y}ZT$

A = $X\overline{T}$ + $\overline{Y}ZT$

Una CPU in azione

(14')

Poiché la **CPU** (**Central Processing Unit**) è un integrato chiamato microprocessore in grado di eseguire un programma (memorizzato nella **memoria centrale** o **RAM** che è una memoria volatile che si cancella allo spegnimento ma veloce quanto la Cpu), vediamo le operazioni necessarie per eseguire il **programma** composto dalle seguenti tre istruzioni: X = X + Y ; stampa X ; end.

Il **program counter** (**PC**) è un **registro**, ovvero una memoria interna alla CPU, e contiene l'indirizzo della prossima istruzione da eseguire.

L'indirizzo a cui vuole operare la CPU viene comunicato all'esterno scrivendolo nel registro **MAR** (**memory address register**)

ALU (**Arithmetic Logic Unit**) è la parte della CPU che esegue le operazioni logiche (and, or, not…) e le 4 operazioni aritmetiche.

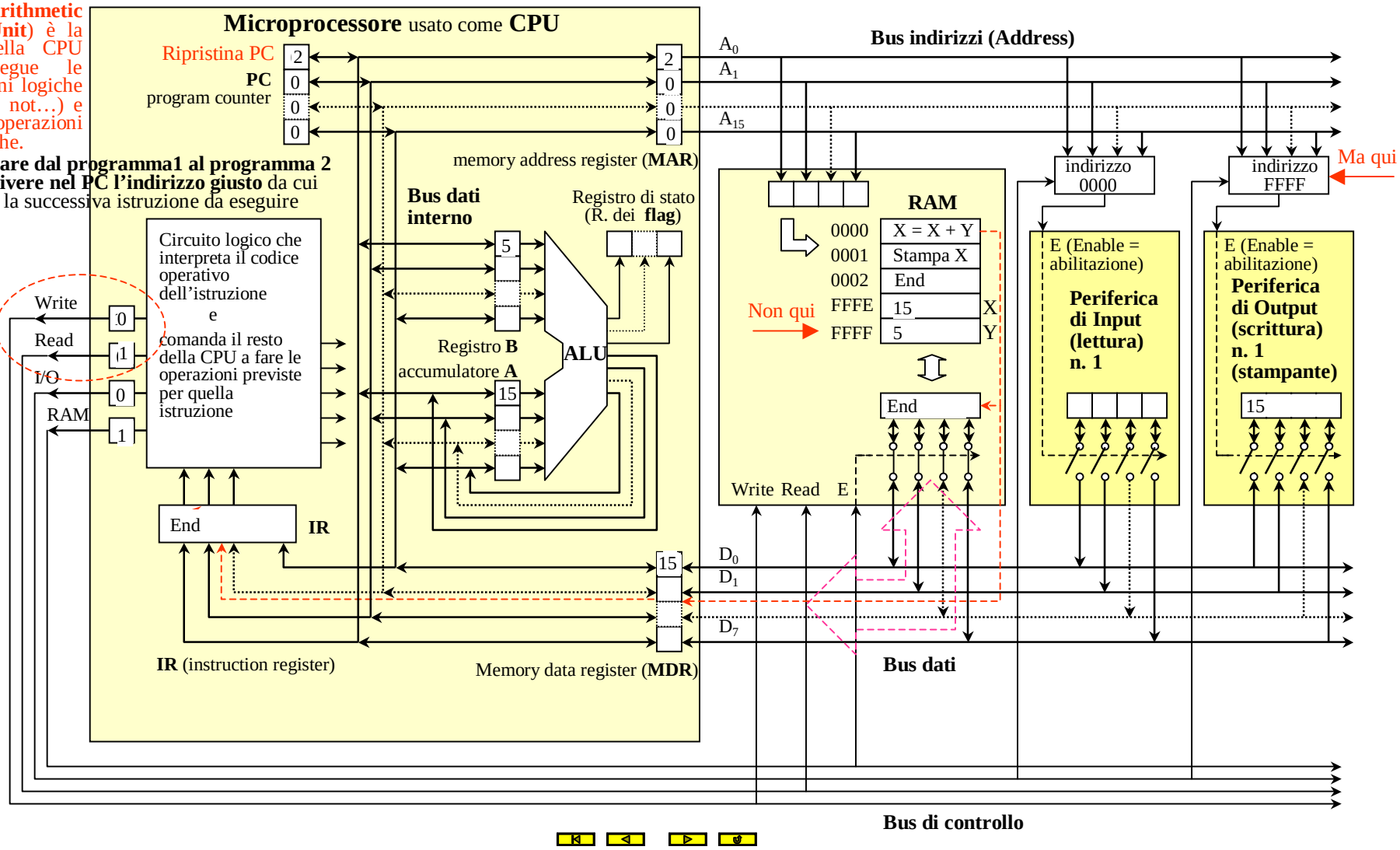
Per passare dal programma1 al programma 2 basta **scrivere nel PC l'indirizzo giusto** da cui prendere la successiva istruzione da eseguire

Il **bus indirizzi** è una serie di fili che portano l'indirizzo alla memoria e anche alle altre periferiche che possono essere di input (ovvero in grado di dare un numero alla CPU) o di autput (in grado di prendere un numero dalla CPU).

L'attivazione del piedino di **abilitazione** (**Enable**) fa collegare effettivamente un componente al resto del computer e in particolare al bus dati

Il **bus dati** è un insieme di fili che possono essere essere usati da tutte le periferiche per inviare un dato alla CPU o per riceverlo da essa, ma una per volta, per cui se usa il bus dati la RAM tutte le altre periferiche devono risultare sconnesse dal bus dati

La fase di **fetch** è quando la CPU preleva l'istruzione dalla RAM portandola nel registro istruzioni e la fase di **esecuzione** è quando l'istruzione presente in questo registro viene effettivamente eseguita



Introduzione ai microntrollori

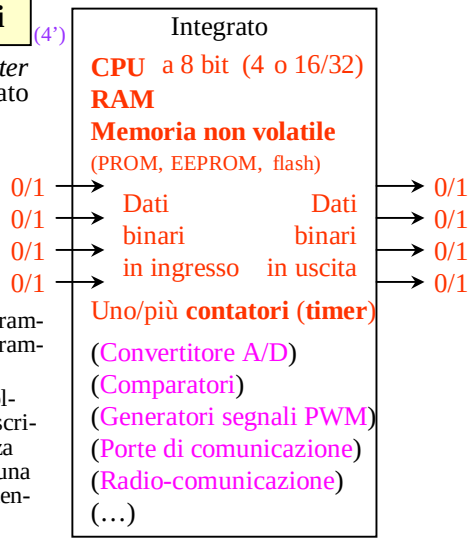
(4')

Un **microcontrollore** (μC) è *un computer contenuto in un integrato* ovvero un integrato che contiene al suo interno:

- una CPU (=> diapositiva CPU)
- una RAM
- una memoria non volatile (= che si mantiene anche senza alimentazione) (e che sta al posto dell'hard disk di un computer tradizionale)

Se essa è una PROM il microntrollore è programmabile una sola volta (OTP, one time programmable)

Come memoria non volatile di un microcontrollore si potrebbe usare la EEPROM (a volte si scrive E^2PROM), che potendo essere riscritta senza toglierla per metterla nel cancellatore diventa una RAM con conservazione dei dati allo spegnimento, ma essa è costosa e lenta (da 1 a 20 msec).



La soluzione si chiama FLASH, una EEPROM insieme più economica e più veloce ottenuta rinunciando alla cancellazione del singolo bit a favore di una cancellazione a blocchi.

- Linee di ingresso per far entrare i dati binari e linee di uscita per farli uscire.
- Serve poi almeno un contatore, usabile come tale o come timer (temporizzatore)

Un μC può contenere al suo interno molto altro ancora, a cominciare da un convertitore A/D (che permettondio di far entrare una V invece che un numero a 8/10/12 bit, fa risparmiare le preziose linee di ingresso) e dai gestori dei principali protocolli di comunicazione seriale o parallela su fili o anche via radio.
Ci possono essere comparatori in grado di rilevare quando una tensione raggiunge un certo valore ovvero quando si verifica un dato evento, generatori di segnali PWM (onde quadre con Duty Cycle proporzionale a qualcosa), contatori supplementari che fanno sempre comodo e altro ancora.

Generalmente il bus dati è a 8 bit (come i primi personal computer e come lo Z80) ma ci sono μC più semplici/lenti a 4 bit e μC più veloci a 16 o a 32 bit

La diffusione dei μcontrollori ha spinto molti produttori a immettere sul mercato le loro famiglie.

Tra i più diffusi 8 bit ci sono:

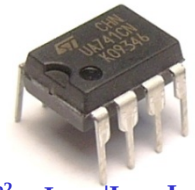
- i **PIC** (dal PIC10 al PIC18) della Microchip Tecnology
- gli **AVR** (AVR8) della Atmel, che ha un completo sistema di sviluppo sotto Linux

Tra i 32 bit:

- il più diffuso è l'**ARM** (ARM7, 9, 11, Cortex) prodotto da molte case
- ma ci sono anche i PIC32 o gli AVR32

L'amplificatore operazionale

(8')



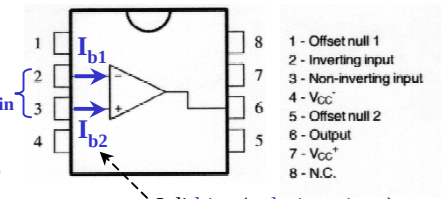
Un **amplificatore operazionale** (AO) è:

- un integrato (spesso usato per somme, moltiplicazioni, integrazioni,…)
- che contiene un amplificatore a più stadi
- che *generalmente* richiede una alimentazione duale (due tensioni uguali ed opposte), di regola con valori tra 5 e 15V

[**Vu** può variare da + (V_{alim}^{+} - 1÷2V) a - (V_{alim}^{-} + 1÷2V)]

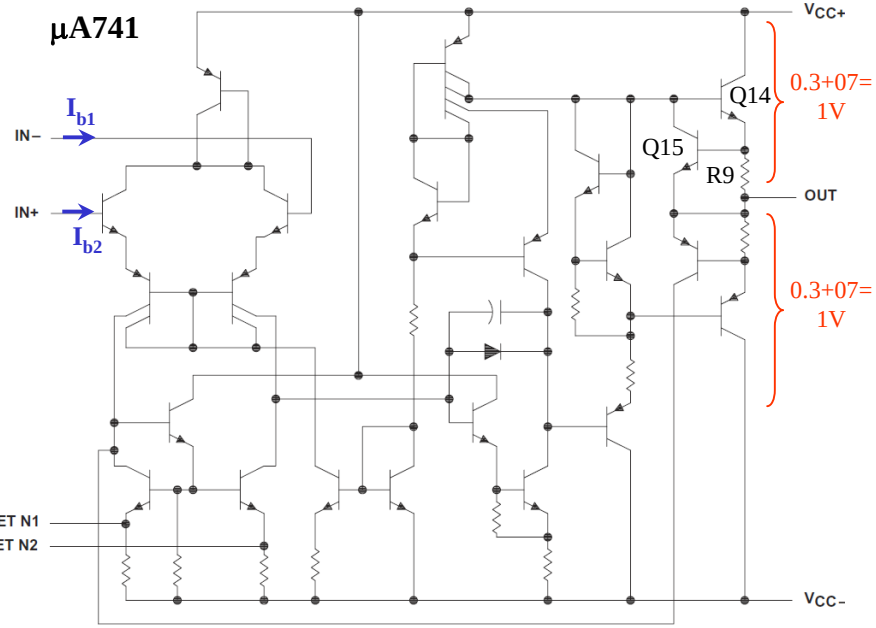
- L'amplificatore è in continua (= *può amplificare anche la continua* non essendoci nessun condensatore in serie)
- ed è un amplificatore differenziale (ovvero ha due ingressi che permettono di inserire due tensioni di segnale V1 - V2 e una tensione di uscita proporzionale alla differenza V1-V2)

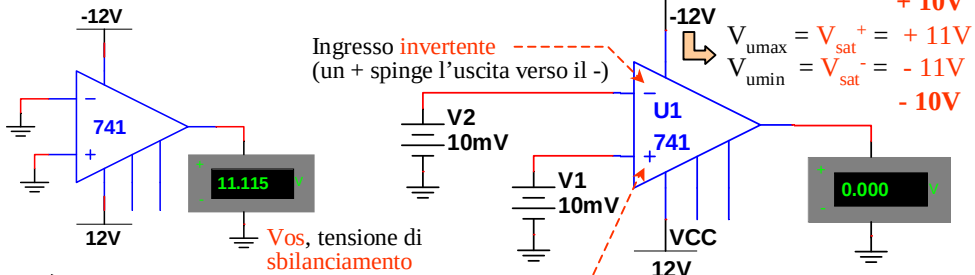
$I_b = \frac{I_{b1} + I_{b2}}{2}$ $I_{os} = |I_{b1} - I_{b2}|$ R_{in}



I di bias (polarizzazione)

µA741





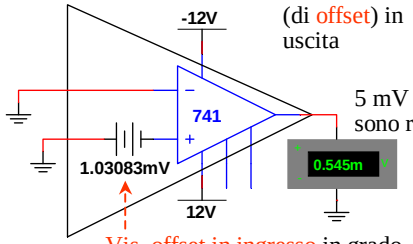
$V_{umax} = V_{sat}^{+} = +11V$ **+ 10V**

$V_{umin} = V_{sat}^{-} = -11V$ **- 10V**

Ingresso invertente (un + spinge l'uscita verso il -)

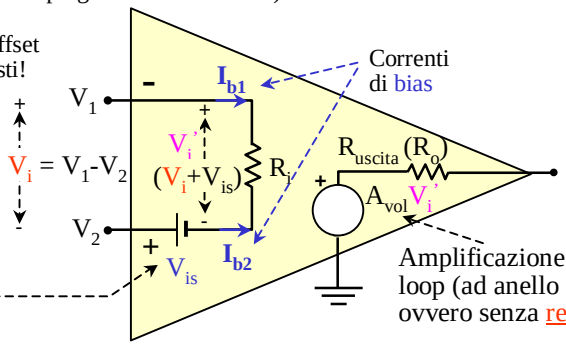
Vos, tensione di sbilanciamento (di offset) in uscita

Ingresso non-invertente (un + spinge l'uscita verso il +)



5 mV di offset sono rimasti!

Vis, offset in ingresso in grado di azzerare l'uscita (valore max entro cui sta il valore reale)

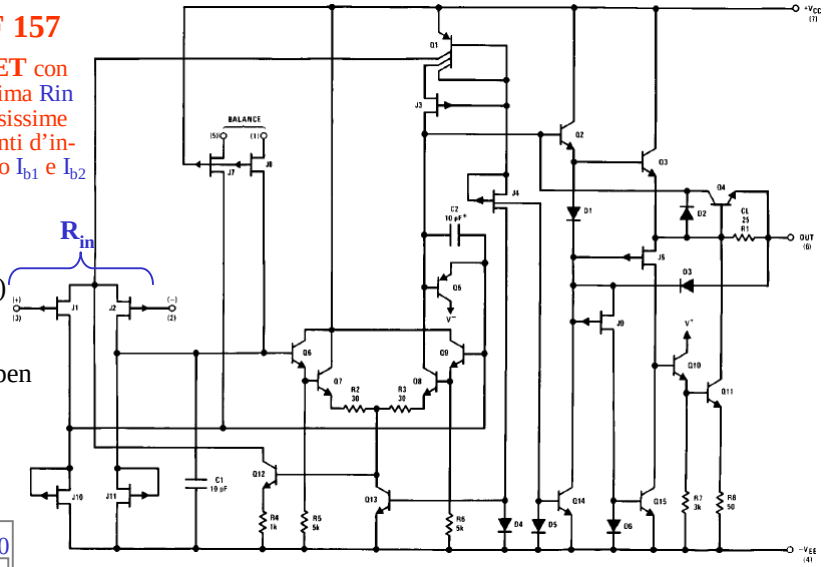


Correnti di bias

Amplificazione di V open loop (ad anello aperto) ovvero senza reazione

LF 157

BIFET con altissima Rin e bassissime correnti d'ingresso I_{b1} e I_{b2}



AO ideale	Ri = ∞	Ro = 0	Avol = ∞
Ibmedia tip = 80nA; Vis tip = 1 mV; µA741	Ri = 2 MΩ	Ro = 75 Ω	Avol = 200 000
			Avolmin = 20 000
LF157	Ri = 1000 GΩ	Ro = 0.1 ÷ 10 Ω	Avol = 200 000

Gli AO a **CMOS** consentono basse alimentazioni e maggiore **dinamica** (escursione della tensione) **di uscita**

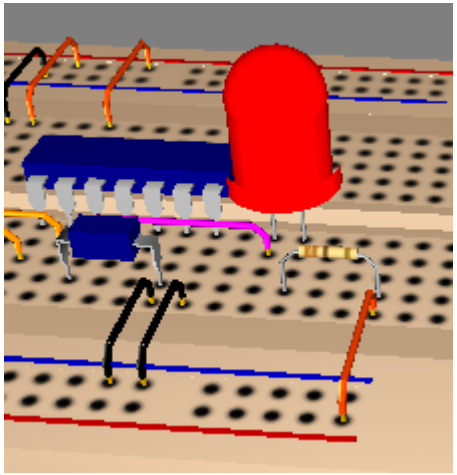
La grossa variabilità del guadagno non è un problema quando l'operazionale è usato come **comparatore.**

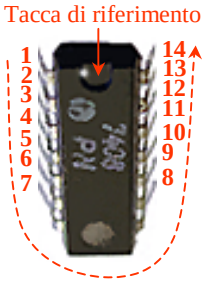
È invece inaccettabile quando si vuol fare un amplificatore, ma il problema viene superato con la reazione negativa al prezzo di una diminuzione del guadagno, che viene fatto grande proprio perché poi possa essere sacrificato per ottenere guadagni stabili, ma anche per ottenere una Ruscita molto minore di quella dell'operazionale e se serve una Ringresso molto maggiore

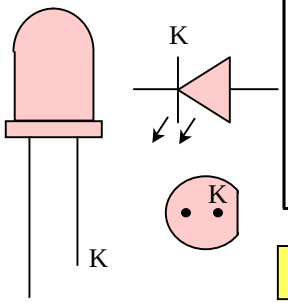
Breadboard, integrato con 4 AND e LED

(6')

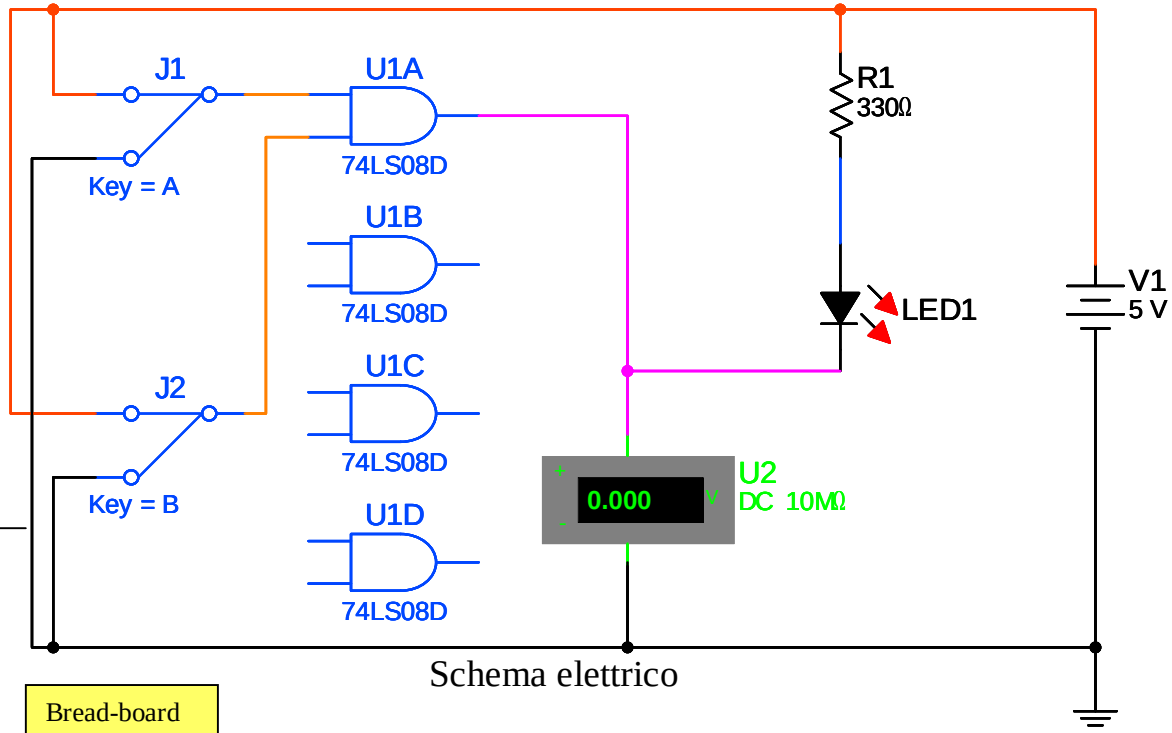
Vediamo cosa è e come si usa la basetta sperimentale (**bread-board**) usandola per montare un semplice circuito digitale binario, ovvero un circuito dove le tensioni in ingresso e in uscita possono essere solo alte (= tensione della batteria) o basse (= tensione zero)



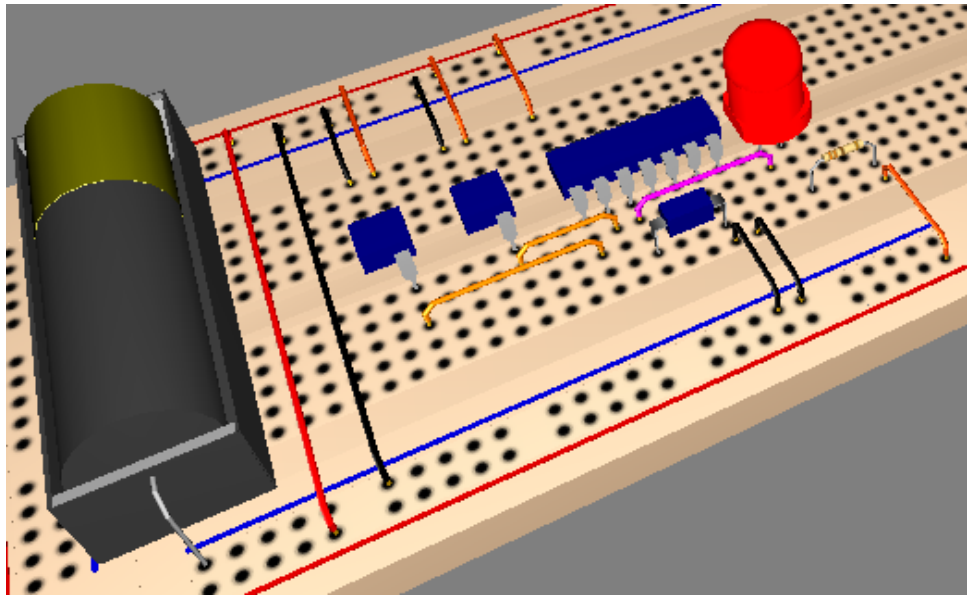




Bread-board



Schema elettrico

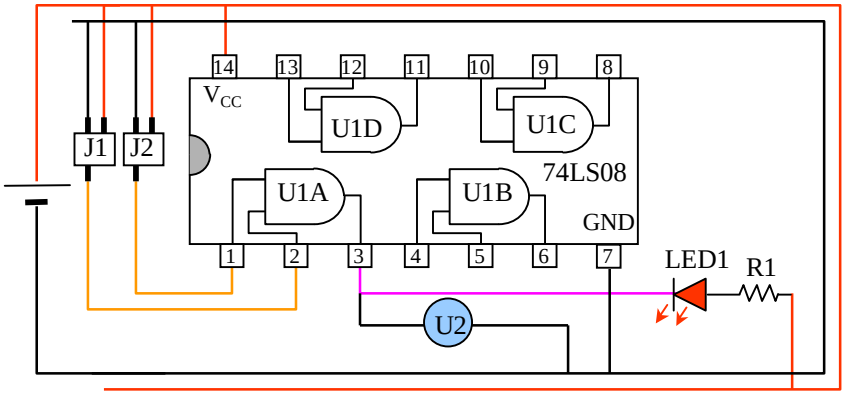


ELENCO COMPONENTI

J1 = **J2** = deviatore 1 via 2 posizioni
U1 = integrato 74LS08D
LED1 = Led rosso
R1 = Resistore 330 Ω da ¼ W

STRUMENTI

V1: Alimentatore 1-30V5A regolato a 5V
U2 = Multimetro portatile usato come Voltmetro in continua (DCV) con portata (fondo scala) 20 V



Schema di montaggio

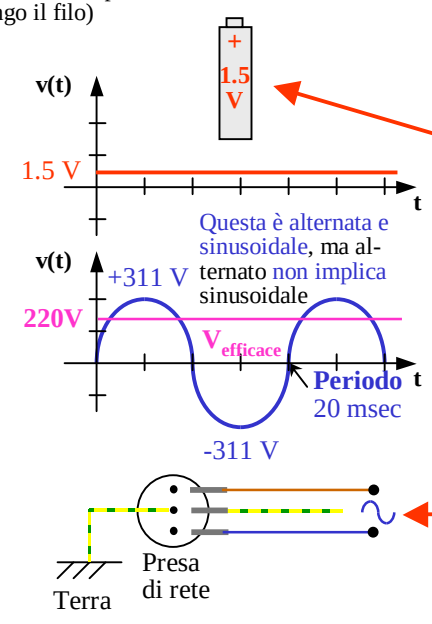
Primo contatto col tester (multimetro) portatile

9' [R 5']

Per familiarizzare con tensione, corrente e resistenza, impariamo a misurarle col multimetro (o tester).
Prima dobbiamo **alimentarlo** ovvero… *collegare le batterie*. Premiamo POWER, mettendolo in posizione ON.
Se sul display non compare nulla, o la batteria manca o è scarica e bisogna provvedere.
Se i puntali non sono già connessi, bisognerà cercarli se si vuol misurare qualcosa. Ma dove connetterli?
Dipende: si vuol misurare tensione, corrente o resistenza? Vogliamo sapere se una batteria è carica o meno.
La batteria fornisce tensione, che si misura in… volt (V), infileremo la banana rossa nella boccola **V/Ω.**

La tensione è un dislivello tra 2 punti, per cui servono entrambi i puntali per misurare la $V_{batteria}$.
La scrittura COM sta per "terminale **comune** a tutte le misure" e metteremo il puntale nero qui.
Ma in che posizione mettere il selettore? Cerco l'indicazione V, trovando però due sezioni ?!?

In effetti ci sono le tensioni costanti nel tempo (tensioni **continue**) come quelle fornite dalle batterie, e le tensioni variabili nel tempo, come la tensione di rete che ha andamento sinusoidale, oscillando tra + 311 V e –311 V (cambiare segno significa spingere un po' in un verso e un po' nel verso opposto, con le cariche che vanno un po' avanti e un po' indietro lungo il filo) compiendo 50 cicli completi al secondo perché un ciclo dura 20 millisec.
(il numero di cicli al secondo è detto **frequenza** e si misura in **Hz**, per cui non si dice 50 cicli al secondo ma con frequenza di 50 Hz, che vuol dire esattamente la stessa cosa).
Tra le tensioni variabili, hanno una particolare importanza quelle che hanno valor medio nullo, ovvero le forme d'onda centrate sullo zero con l'area sopra le x uguale all'area sotto le x). Tali tensioni si dicono **alternate** e arriviamo finalmente a capire che ACV sta per V che creano una Corrente Alternata (cioè mediamente nulla, perché di tanto avanza una carica durante la fase +, di altrettanto torna indietro durante la fase -, ritrovandosi alla fine dove stava all'inizio).

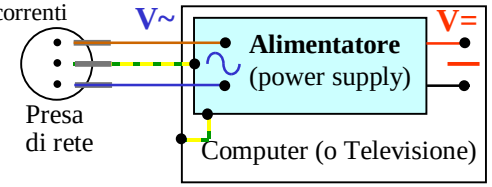


Per vedere se è presente la tensione di rete, useremo ACV e portata 700 V (ma leggeremo 220V, che è la continua equivalente come potenza)
Per vedere se la batteria è carica, sceglieremo la sezione DCV (che sta per V che creano Correnti Dirette) e la portata di 2V.

Poiché la **corrente** si misura in Ampere, per una misura di corrente si userà la sezione ACA o la sezione DCA (l'A evidenziato sta per Ampere). Sceglieremo ACA per misurare una corrente prodotta dalla tensione alternata di rete e DCA per una corrente prodotta da una batteria. I circuiti elettronici (come computer o TV) sono alimentati in continua anche se sembrano alimentati dalla rete, perché la V sinusoidale (V~) va ad un circuito detto **alimentatore** che la trasforma in una V continua (V=).

Per misurare la corrente, però, bisogna cambiar di posto al puntale rosso.

Per correnti fino a 200 mA lo collegheremo alla presa **mA**, Per correnti maggiori, bisognerà usare l'ingresso **20A** (ma essendo coscienti che se la corrente supera tale valore si può danneggiare irrimediabilmente lo strumento perché questo ingresso non è protetto da fusibile).



Per misurare la corrente che circola in un forno alimentato a 220V che assorbe 2.2 kW di potenza metteremo il puntale rosso nella presa 20A e sceglieremo la portata 20A della sezione ACA.
Infatti la I sarà di 10 A, perché **la potenza P in W si ottiene facendo VI** e se tale prodotto deve venire 2200 con V=220 la I dovrà essere di 10 A.

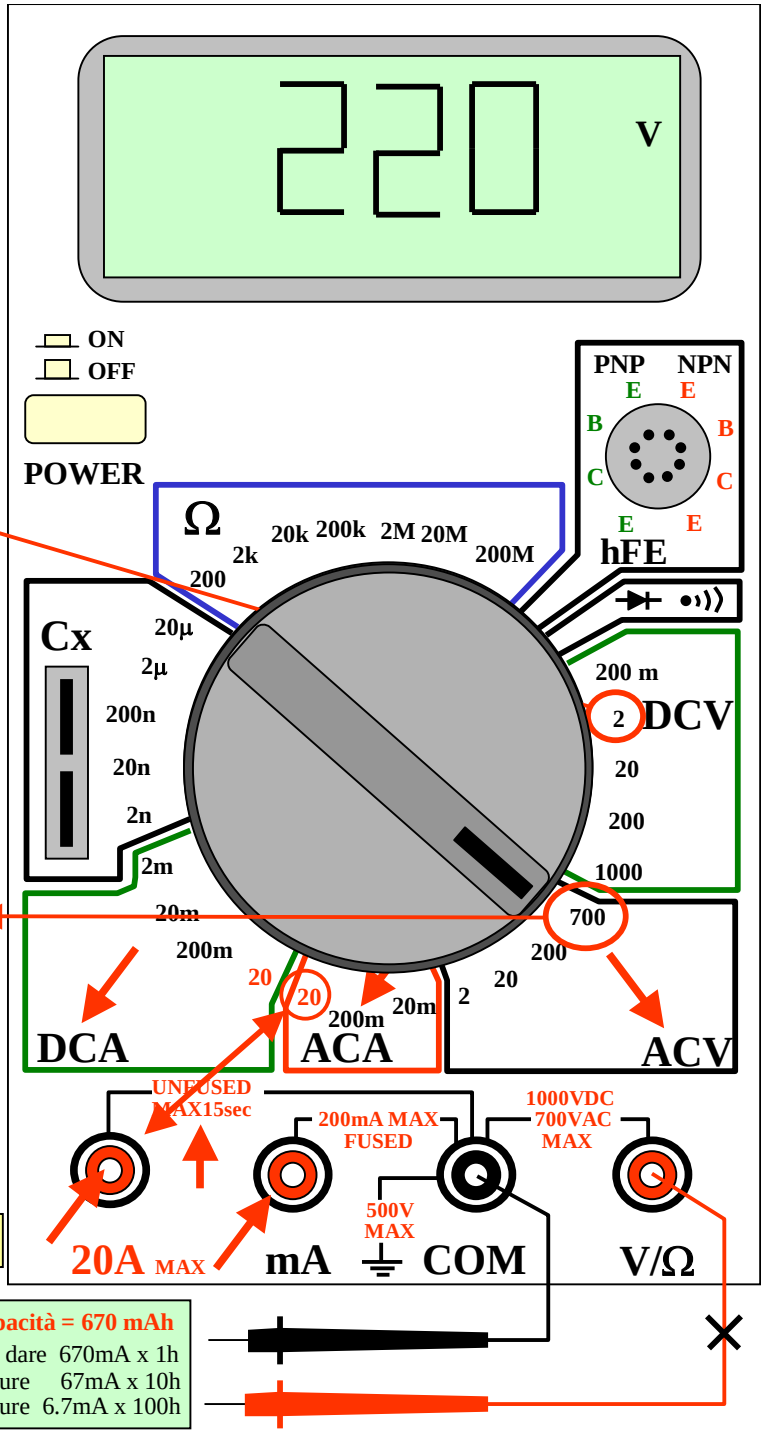
P = V*I [Watt] = [Volt][Ampere]

Quanta corrente passa in una lampada da 220 W di potenza alimentata a 220 V ? 1 A, perché VI = 220 e V = 220.
Che potenza dovrebbe avere la lampada per assorbire solo 200 mA? P=VI=220*200m=44000mW=44 Watt.

Nei circuiti elettronici, invece scorrono correnti piccole. Es.: che corrente assorbe senza telefonare un cellulare alimentato da un accumulatore (batteria ricaricabile) con **capacità = 670 mAh** se si scarica in 67 h? I = 10 mA

Capacità = 670 mAh
può dare 670mA x 1h
oppure 67mA x 10h
oppure 6.7mA x 100h

Per misurare una R tornare sull'ingresso V/**Ω,** portare il selettore su **Ω**, e **levare la tensione o la batteria!!**
Per vedere se un filo è interrotto o se c'è un contatto è più comoda questa posizione ( ) che suona se R=0



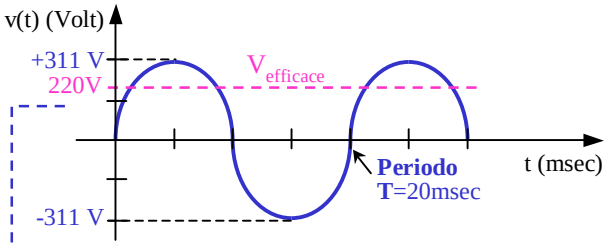
Domande | **Risposte** su "Tester" (5')

Riascoltare "Tester"
Rivedere "Tester"

Cosa succede quando si pigia il tasto POWER sul multimetro? Succede che la batteria viene collegata al circuito

Per cosa sta la dicitura COM accanto ad una boccola di ingresso? Sta per terminale COMUNE alla misura di V o di I

Disegna su un grafico quotato la tensione di rete



Quanti periodi fa in 1 sec la tensione di rete?

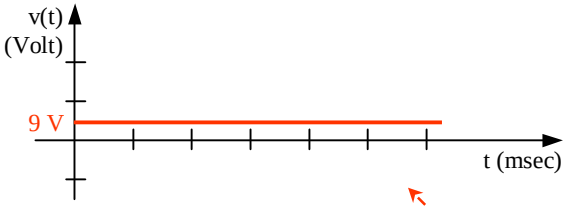
Fa $\frac{1\text{sec}}{Tin_\text{sec}} = \frac{1}{20m} = \frac{1k}{20} = 50$ periodi al sec (f)

Come è chiamato il "*numero di periodi al secondo*" e quale è la sua unità di misura?

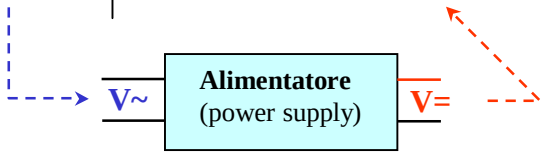
Si chiama frequenza (f) e si misura in Hertz (Hz)
(per cui la tensione di rete ha f = 50Hz)

Che legame c'è tra f e T ? $f = \frac{1}{T}$

Disegna su un grafico una tensione continua di 9V



Che tensione entra e che tensione esce in un alimentatore che dà 9V in uscita?



Come si legge **V~** Tensione sinusoidale

Come si legge **V=** Tensione continua

Se misuro la tensione di rete che valore mi dà il voltmetro? 220 V

Perché il voltmetro mi dà 220V come tensione di rete? Perché la tensione continua equivalente come potenza (cioè che applicata ad una R fa dissipare la stessa potenza) alla tensione di rete sinusoidale è di 220V

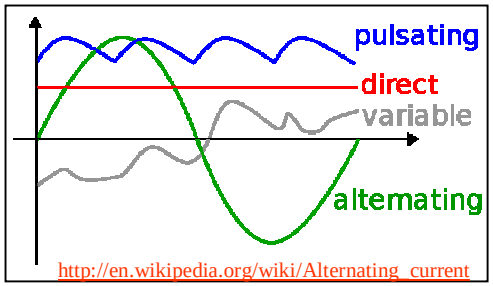
Il termine tecnico per "*tensione continua equivalente come potenza*" è … Tensione **efficace**

Per cosa sta la sigla DCV ? Per tensione (V) che produce una corrente (C) **diretta** (D) nel senso di **continua**

Per cosa sta la sigla ACV ? Per tensione (V) che produce una corrente (C) **alternata** (A) ovvero **a valore medio nullo** perché le tensioni positive e quelle negative si equivalgono

Per cosa sta la sigla ACA ? Per corrente (A=Ampere) di tipo corrente (C) **alternata** (A)

NOTA: una **tensione variabile** non è necessariamente alternata, ma visto che il suo valor medio non contiene informazioni in genere viene tolto prima che entri nel circuito, dopo di che l'abbiamo resa alternata



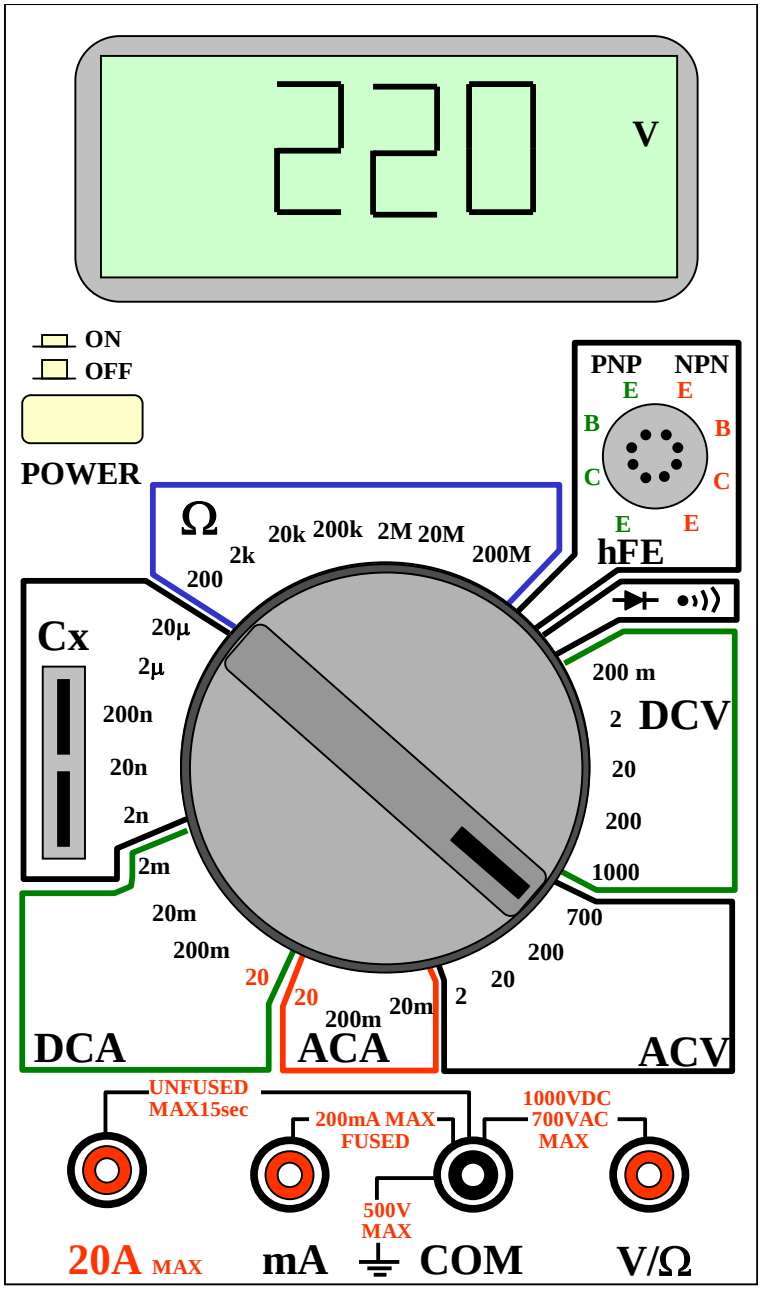
Su una resistenza sottoposta alla tensione di 10V scorrono 100mA. Quale potenza dissipa in calore?

P = V * I = 10 * 100m = 1000 mW = 1Watt

Usando la legge di Ohm, la formula P=VI può essere scritta in altri due modi, che sono: $P = VI = \frac{V^2}{R} = RI^2$

Cosa è un accumulatore? È una batteria ricaricabile

In quanto tempo si scarica una batteria (o un accumulatore) con capacità di 1500 mAh? In 1 h se eroga 1500 mA, in 10 h se eroga 150 mA, in 100 h se eroga 15 mA, etc etc



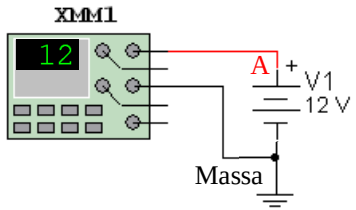
Primo uso di un multimetro da banco e errori da evitare

8' +[R 2']

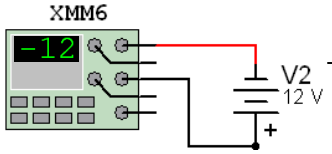
Per misurare tensioni, correnti e resistenze si usa uno strumento che si chiama **multimetro** proprio perché può misurare tutte le grandezze elettriche fondamentali.

Inoltre può misurare sia tensioni e corrente *costanti nel tempo* (dette **continue** e abbreviate negli strumenti con **DC** = **Direct Current**), che variabili nel tempo.

Le tensioni variabili più importanti sono quelle **sinusoidali** a *valor medio nullo*. All'accensione questo multimetro è predisposto per la misura di tensioni (V) sinusoidali o comunque variabili e senza valor medio (l'indicazione **AC** sta per **Alternate Current**). Per misurare la tensione ai capi della batteria, che è costante, bisognerà pigiare sul tasto DC V (altrimenti l'indicazione sarà zero, perché la tensione misurata viene fatta passare attraverso un condensatore che ne blocca la parte costante e non resterà nulla essendo tutta costan



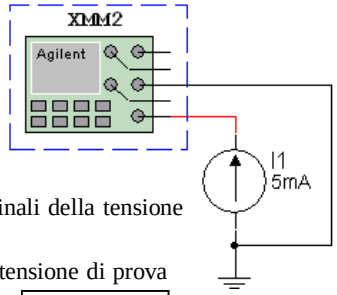
Se si collega la boccola rossa al + e la **nera** al -, l'indicazione sarà positiva (12 V).



Un'indicazione negativa (-12 V) significherebbe che la tensione è di 12 V ma il terminale più positivo non è quello attualmente collegato alla boccola rossa.

La tensione è un dislivello tra due punti e non ha senso dire "la tensione del punto A". Quando il secondo punto non è indicato, si sottintende che sia quello contrassegnato come **massa**.

Per misurare la corrente (qui fornita da un **generatore di corrente** che fornisce 5 mA) occorre usare una boccola diversa da quella usata per la tensione (l'indicazione sarà positiva se la corrente, che convenzionalmente ha il verso che avrebbe se a muoversi fosse la carica +, entra dalla boccola rossa ed esce da quella nera).



La resistenza tra A e B (R_{AB}) è misurata con gli stessi terminali della tensione perché una misura di R è ricondotta ad una misura di V

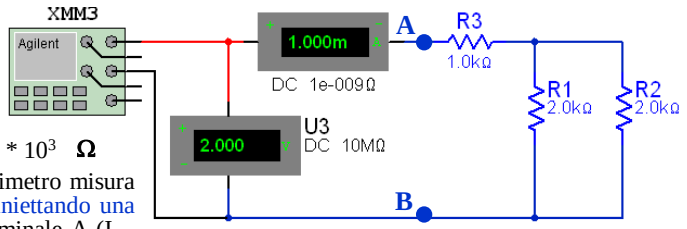
Si definisce infatti "**Resistenza tra A e B**" il rapporto tra la tensione di prova V_{AB} e la corrente I_{AB} che *essa* fa passare da A a B

$$\frac{V_{AB}}{I_{AB}} = R_{AB}$$

causa = k **effetto**

$V_{AB} = R_{AB} * I_{AB}$

Legge di Ohm



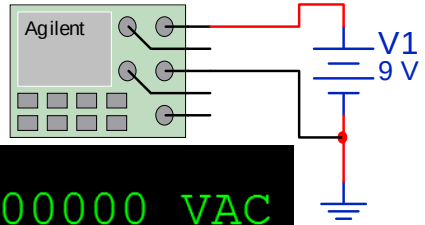
$R = V / I = 2 / 1*10^{-3} = 2 * 10^{3}$ **Ω**

L'ohmmetro di un multimetro misura la resistenza tra A e B iniettando una corrente di 1 mA nel terminale A (I_{AB} = 1 mA) e poi misurando la tensione V_{AB} che si forma: nel nostro esempio misura 2 V e indica sul display 2, ma accanto non ci scrive V bensì kΩ.

L'ohmmetro di un tester analogico invece applica una tensione V_{AB} di 1 V e poi misura la corrente I_{AB} che questa tensione fa scorrere (0.5 mA). In questo caso, però, la R_{AB} non è la corrente misurata ma il suo inverso ($V_{AB}/I_{AB} = 1/I_{AB} = 1/0.5 = 2$), qui in kΩ perché I è in mA.

Gli errori più comuni da evitare usando il multimetro sono i 4 seguenti:

1) **Misurare una tensione continua (DC V) con lo strumento predisposto per una tensione alternata (AC V)** non danneggia lo strumento ma *falsa la misura* (che viene 0 anche se la tensione è evidentemente di 9 V)



Se una tensione non è quella attesa, controllare che non si stia cercando di misurare **tensioni fisse** con le portate **VAC** o **tensioni variabili** con le portate **VDC**

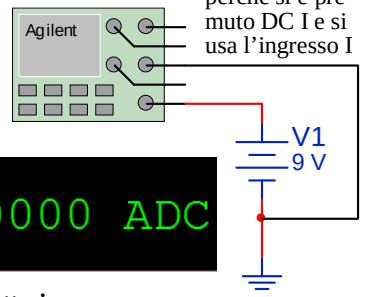
2) Un multimetro usato come V si comporta come se fosse un resistore con **R ≥ 1 MΩ**, mentre come A si comporta come se fosse un filo (**R = 0**)

Mettendo lo strumento usato come amperometro **in parallelo** come quando si misura la V, si produce un corto circuito tra i due punti.

Se si cortocircuitano i terminali della batteria si produce una corrente elevata che danneggia sia lo strumento che la batteria.

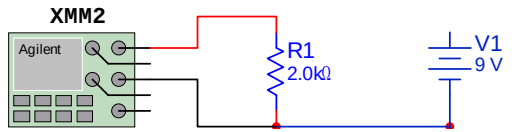
Anche un Amperometro in parallelo ad una R…

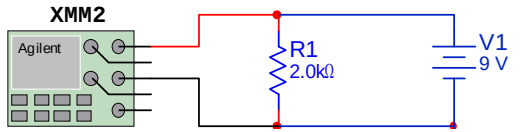
Qui è un amperometro in continua (ADC) perché si è premuto DC I e si usa l'ingresso I



3) Anche **inserire in serie un voltmetro** ($R_{interna} = \infty$) è un errore, ma non fa danni e si limita a non far passare la corrente

4) **Prima di misurare una R bisogna staccare tutte le batterie**





altrimenti si danneggia lo strumento, oltre a non avere una misura corretta.

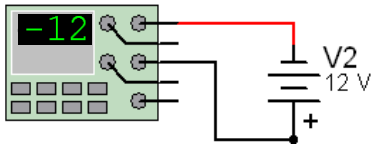
Domande

Risposte su “Multimetro” (2’)

Riascoltare “Multimetro”
Rivedere “Multimetro”

Cosa significa il segno negativo sul voltmetro quando si misura una tensione?

Che il positivo della tensione misurata non è quello che abbiamo mandato alla boccola rossa del voltmetro ma quello che abbiamo mandato alla boccola nera.



Cosa bisogna fare prima di misurare la resistenza vista tra due punti di un circuito per non danneggiare il multimetro? Bisogna togliere tensione, staccando dal circuito uno dei fili che vengono dalla batteria o dall’alimentatore

Quanta corrente passa collegando un filo avente resistenza di 0,1 Ω ai capi di una batteria da 10V ?

$$I = \frac{V}{R} = \frac{10}{0{,}1} = \frac{10*10}{0{,}1*10} = 100A$$

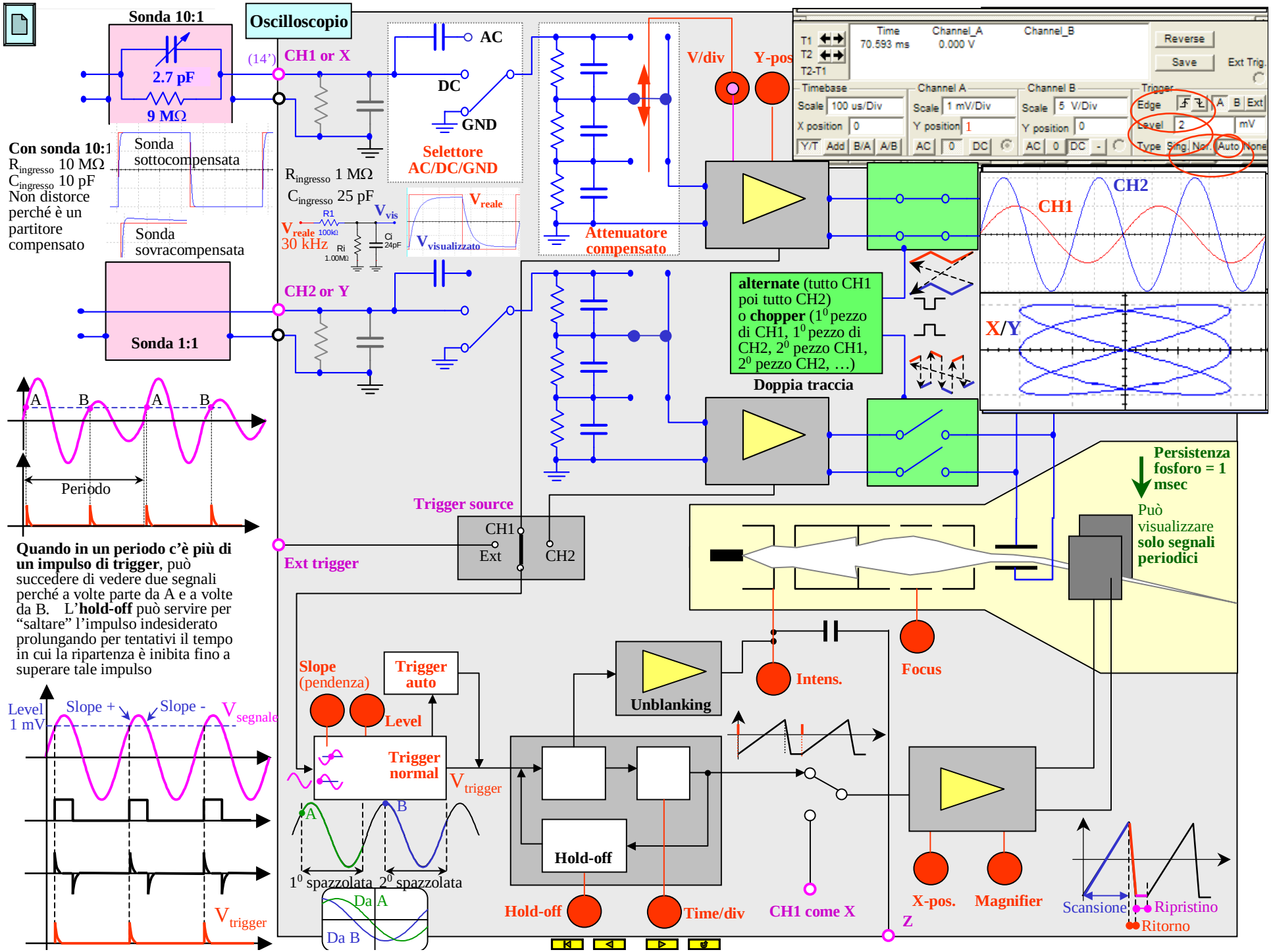
… se il filo non fonde!

Dove non si devono mettere mai i puntali di un multimetro usato come amperometro e perché?

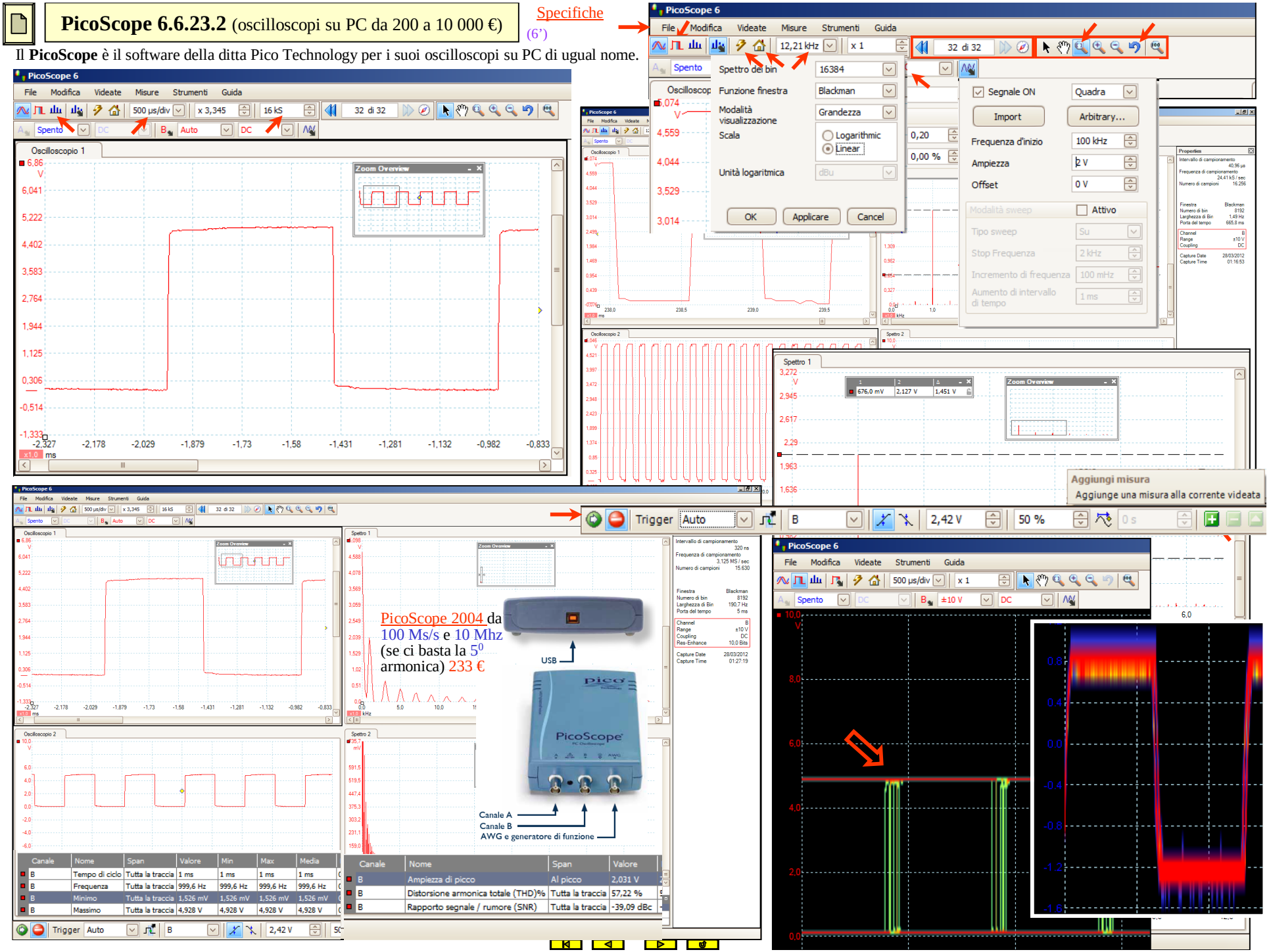
Tra due fili collegati ai due morsetti dell’alimentatore, perché **un amperometro ha resistenza interna quasi nulla** e sarebbe come collegare un filo ai capi di una batteria facendo scorrere una corrente che danneggerebbe l’amperometro, se non ci fosse il fusibile a sacrificarsi interrompendo la corrente quando supera un dato valore

Cosa succede se si misura una tensione continua col voltmetro impostato su AC?

Allo strumento non succede nulla, ma la misura è falsata perché viene 0V anche se è presente una tensione continua


Sonda 10:1
Oscilloscopio
2.7 pF
9 MΩ
(14')
CH1 or X
AC
DC
GND
Selettore AC/DC/GND
V/div
Y-pos
Con sonda 10:1
R ingresso 10 MΩ
C ingresso 10 pF
Non distorce perché è un partitore compensato
Sonda sottocompensata
Sonda sovracompensata
R ingresso 1 MΩ
C ingresso 25 pF
V reale
V vis
V visualizzato
30 kHz
Attenuatore compensato
CH2 or Y
Sonda 1:1
alternate (tutto CH1 poi tutto CH2) o chopper (1⁰ pezzo di CH1, 1⁰ pezzo di CH2, 2⁰ pezzo CH1, 2⁰ pezzo CH2, …)
Doppia traccia
CH1
CH2
X/Y
Persistenza fosforo = 1 msec
Può visualizzare solo segnali periodici
A
B
Periodo
Trigger source
Ext trigger
Quando in un periodo c'è più di un impulso di trigger, può succedere di vedere due segnali perché a volte parte da A e a volte da B. L'hold-off può servire per "saltare" l'impulso indesiderato prolungando per tentativi il tempo in cui la ripartenza è inibita fino a superare tale impulso
Level 1 mV
Slope +
Slope -
V segnale
V trigger
Slope (pendenza)
Trigger auto
Level
Trigger normal
1⁰ spazzolata
2⁰ spazzolata
Da A
Da B
Unblanking
Intens.
Focus
Hold-off
Time/div
CH1 come X
X-pos.
Magnifier
Z
Scansione
Ripristino
Ritorno

PicoScope 6.6.23.2 (oscilloscopi su PC da 200 a 10 000 €)

Specifiche (6')

Il **PicoScope** è il software della ditta Pico Technology per i suoi oscilloscopi su PC di ugual nome.