NUMERO: 1923A - ANNO: 2016

A P P U N T I

STUDENTE: Santoro Stefano

MATERIA: Elettrotecnica - Prof. Repetto

SANTORO STEFANO
POLITECNICO TORINO

ELETTROTECNICA — Lez. $\boxed{1}$ — 4/3/2013

prof. Repetto Maurizio

MACCHINE ELETTRICHE

prof. Cavagnino Andrea

TESTI: vedere nel materiale sul portale

ESAME: scritto con 4 esercizi (2 elettrotecnica, 2 macchine elettriche) + orale obbligatorio, si accede all'orale facendo il 50% dello scritto. Devo fare almeno un esercizio per ogni tema.

COMPETENZE ATTESE

- Conoscenza del funzionamento delle principali macchine elettriche e dei circuiti a loro associati.

- Scaricare slides dal portale.

MODELLO A PARAMETRI CONCENTRATI

- Modello matematico
  - può avere diversi gradi di accuratezza e complessità
  - spesso le variabili fisiche variano nello spazio e nel tempo
  - modello accurato è spesso molto difficile da risolvere perché tiene conto di queste variabili
  - modello semplificato può trascurare parte di queste variazioni.

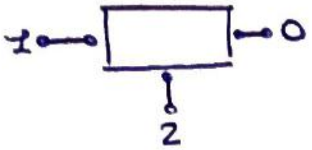
- SISTEMA MECCANICO = modello matematico di un sistema meccanico complesso.

- Molti fenomeni fisici vengono coinvolti; i principali sono:
  a) Inerzia del sistema
  b) Comportamento elastico dei materiali
  c) Dissipazione di energia

Componente più semplice è quello con una sola coppia di morsetti, detto **DIPOLO** -

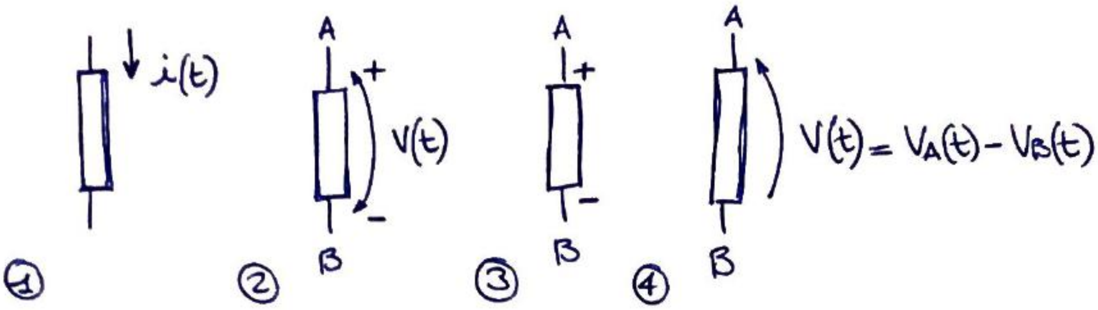
COMPONENTI A n- MORSETTI

- Solitamente, i morsetti sono numerati a partire dallo 0 -



NOTAZIONI GRAFICHE

- La notazione grafica deve aiutare ad individuare ed evidenziare il segno delle tensioni e delle correnti -



- Noi usiamo la (4), la freccia indica il polo positivo -

EQUAZIONI COSTITUTIVE = legano tra di loro le variabili ai morsetti, ovvero tensione e corrente -

Lez. $\boxed{2}$

5/3/2013

COMPONENTI ELETTROMAGNETICI

- Ci sono non molti componenti ELEMENTARI (nel caso meccanico massa, molla e attrito), che sono in grado di immagazzinare o dissipare energia -

componenti IDEALI: costituiscono un modello unico di un fenomeno elettrom.

componenti REALI: costituiti da materiali ≠ da quelli ideali, che hanno effetti parassiti

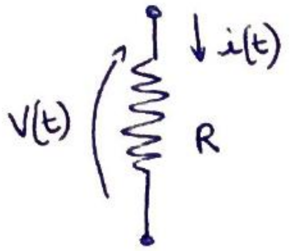
LIBRI

- Desoer - Kuh, "Fondamenti di teoria di circuiti"
- Repetto, "Appunti del corso di elettrotecnica"
- Canova, Grosso, Repetto "Elettrotecnica esercizi svolti"

$$\boxed{V(t) = R(i,t)\, i(t)}$$

detta PRIMA LEGGE DI OHM.

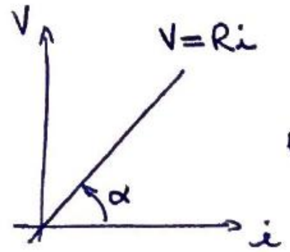
SIMBOLO:



La freccia ha la punta rivolta verso il punto di ingresso della corrente.

R è detta RESISTENZA → Ohm $[\Omega] = \left[\frac{V}{A}\right]$

• Se R è costante → è indipendente dal tempo e viene detto LINEARE e TEMPO INVARIANTE (LTI)

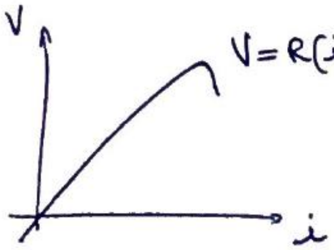


$\tan\alpha = R$

→ È una retta che passa per l'origine, è una prova della PASSIVITÀ (se non fornisco corrente, non avrò tensione)

• Se R cambia in funzione di i → resistore NONLINEARE

↳ non è più una retta



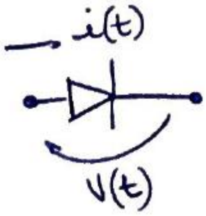
Passa sempre per l'origine, è passivo.

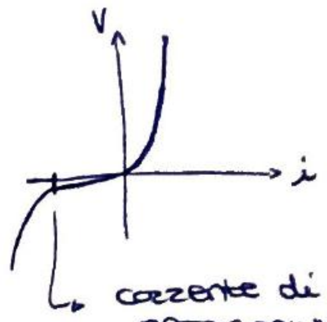
SE NON PASSA PER L'ORIGINE, NON È UN RESISTORE.

DIODO

$i > 0 \Rightarrow v \neq 0$

$i < 0 \Rightarrow v \cong 0$





• È passivo, passa per l'origine

⇓

RESISTORE NON LINEARE

- $Q = CV$ NON é equazione costitutiva (non c'é la i), ma puo' essere ottenuta esprimendola come la derivata prima di Q:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(CV) \quad \text{e prendendo C costante} \quad \frac{dQ}{dt} = C\frac{dV}{dt}$$

$$\boxed{i = C\frac{dV}{dt}}$$

- Devo quindi utilizzare un'integrazione:

$$i = C\frac{dV}{dt} \longrightarrow V(t) = \int_{-\infty}^{t} \frac{1}{C} i(t')dt'$$

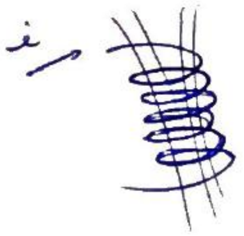
Posso dividere in due parti il dominio d'integrazione:

$$V(t) = \int_{-\infty}^{t} \frac{1}{C} i(t')dt' = \int_{-\infty}^{0} \frac{1}{C} i(t')dt' + \int_{0}^{t} \frac{1}{C} i(t')dt' =$$

$$= V(0) + \int_{0}^{t} \frac{1}{C} i(t')dt'$$

INDUTTORE

- É in grado di immagazzinare energia nel campo magnetico, quindi appartiene alla terza classe di utilizzatori.
- Una corrente che fluisce in un conduttore crea un campo magnetico ed un flusso concatenato con l'avvolgimento.



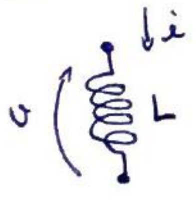
$\boxed{\phi = Li}$, con spesso $L = L(i)$

- L dipende dalla geometria dei materiali

- Non é costitutiva (manca la tensione), usiamo la legge di Lenz:

$$\phi = Li(t) \Rightarrow V = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d(Li)}{dt} \quad \text{e prendendo L costante} \quad \boxed{V = L\frac{di}{dt}}$$

SIMBOLO:



L'equazione costitutiva é un'EDO di primo grado, V e i hanno ruoli simili ma scambiati (DUALITÀ).

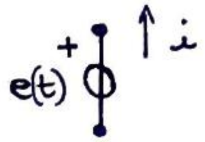
COMPONENTI ATTIVI

GENERATORI IDEALI

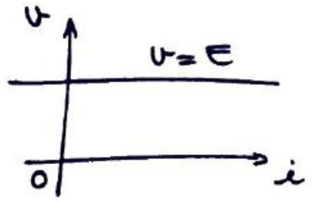
- Sono componenti in grado di fornire energia ad altri componenti
- La potenza è spesso generata a spese di qualche altra forma di energia (elettrochimica, ecc.)
- generatore **ideale**: è in grado di fornire potenza infinita
  ↳ non ci sarà mai, modello di generatore reale

GENERATORE IDEALE → di tensione costante

- Dipolo in grado di fornire una tensione $e(t)$ ai suoi morsetti indipendentemente dai componenti ad esso collegati.
- La tensione $e(t)$ è nota ma il valore della corrente che alimenta dipende dai carichi connessi.



- Se valore $e(t)$ è costante, posso fare il grafico:



$E = e(t)$

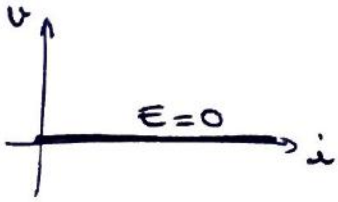
↳ non passa per l'origine, non è passivo.

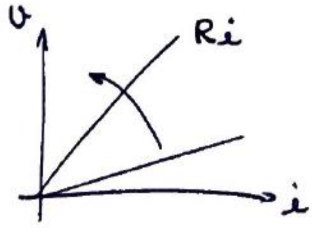
Lez. $\boxed{3}$ 6/3/2013

- Una batteria può essere approssimata a un generatore di tensione costante.

GENERATORE DI TENSIONE NULLA

- È sempre tensione costante, ma nulla qualunque corrente attraversi il generatore.





PERCHÉ COMPONENTI REALI?

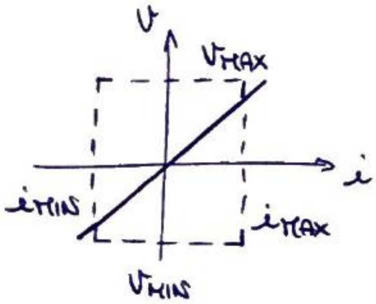
- Assomigliano a quelli ideali come eq. costitutive
- Cause di diversità
  - limiti sui valori ai morsetti
  - effetti parassiti

- Posso esprimere quelli reali come COMBINAZIONI di quelli ideali.

LIMITI AI MORSETTI

- Limiti costruttivi = in linea teorica, $V = Ri$ e v e i possono assumere qualsiasi valore

PROBLEMI TERMICI → limitano valore corrente
PROBLEMI DIELETTRICI → limitano valore tensione



$V_{MIN} \leq v \leq V_{MAX}$

$i_{MIN} \leq i \leq i_{MAX}$

⇓

Il valore della resistenza varia in base a questi intervalli

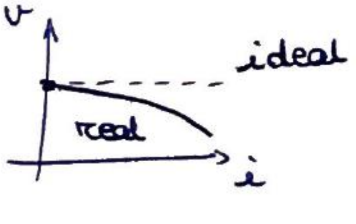
EFFETTI PARASSITI

- I componenti reali hanno un comportamento che li fa appartenere a più classi di componenti: questo può servire a creare un modello equivalente del componente reale.

Induttore reale = ha al suo interno una R parassita

GENERATORE REALE DI TENSIONE

L La potenza fornita è limitata dalla potenza convertita in elettrica, che può essere grande ma non infinita.



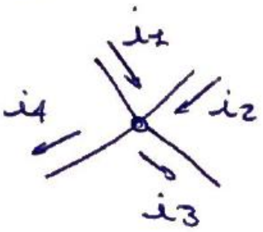
LEGGI DI KIRCHHOFF

- Hanno validità generale
- Non importa la natura dei componenti

[LEGGE DI KIRCHHOFF DELLE CORRENTI] → superficie chiusa

- Le correnti interagiscono al nodo

"Ad ogni istante, la somma algebrica delle correnti afferenti a un nodo è nulla"_



i_1 e i_2 sono POSITIVE (entranti)
i_3 e i_4 sono NEGATIVE (uscenti)

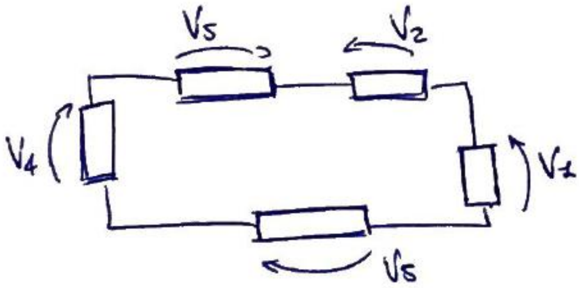
$$i_1 + i_2 - i_3 - i_4 = 0$$

* Essendo omogenea, un cambio di convenzione (ex. sui segni) non è importante_

[LEGGE DI KIRCHHOFF DELLE TENSIONI] → conservativo

"Ad ogni istante di tempo, la somma algebrica delle tensioni di maglia è nulla"_

TENSIONE POSITIVA → nel senso di percorrenza della maglia
NEGATIVA → nel senso opposto

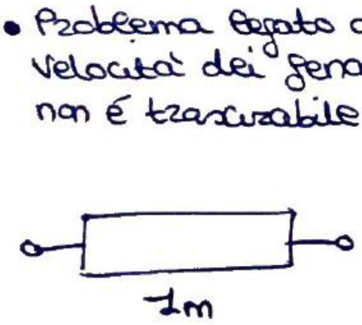


$$V_1 + V_2 - V_3 - V_4 - V_5 = 0$$

* Se cambio verso di percorrenza, non cambia nulla_

SONO SEMPRE VALIDE?

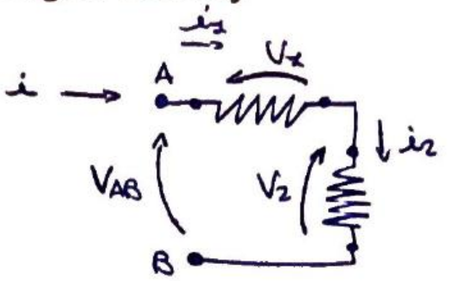
- Problema legato alla velocità della luce (approssimazione della velocità dei fenomeni elettromagnetici); a volte, questa differenza non è trascurabile_



$$\Delta t = \frac{l}{c} \cong 0{,}3 \cdot 10^{-9} = 3\,ns$$ → tempo abbastanza piccolo

CONNESSIONE SERIE

└ se sono percorsi dalla stessa corrente
(R1 e R2 formano un lato)



└ Eq. costitutive

$V_1 = R_1 i_1$
$V_2 = R_2 i_2$

└ Eq. topologiche

$i = i_1 = i_2$ (no nodi)

$V_{AB} - V_1 - V_2 = 0$ (senso orario)

$$\boxed{V_{AB}} = V_1 + V_2 = R_1 i_1 + R_2 i_2 = R_1 i + R_2 i = (R_1 + R_2) i = \boxed{R_{eq} i}$$

Abbiamo 6 variabili $(R_1, R_2, i_1, i_2, V_1, V_2)$ e 4 equazioni -

- Le resistenze connesse in serie si sommano tra di loro -

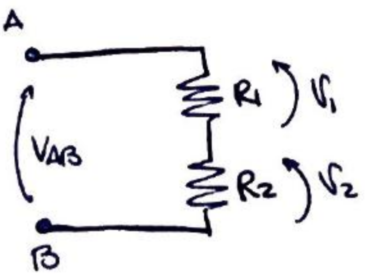
PARTITORE DI TENSIONE

$$i = \frac{V_{AB}}{R_1 + R_2}$$

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{AB} \qquad V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{AB}$$

La tensione si ripartisce tra i resistori ed ogni quota é proporzionale a:

$$\boxed{V_K = \frac{R_K}{\sum_{J=1}^{N} R_J} V_{AB}}$$



$R_{eq} = R_1 + R_2$

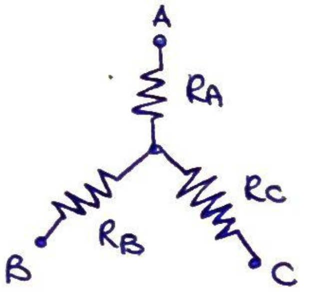
$I = \frac{V_{AB}}{R_1 + R_2}$ $\Longrightarrow$ $V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{AB}$

$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{AB}$

- La corrente passa in modo MAGGIORE nella resistenza MINORE, conservando però le equazioni topologiche.

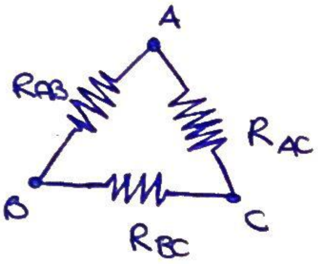
CONNESSIONI A 3 TERMINALI

A STELLA (A Y)



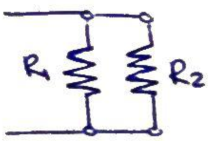
- Nodo centrale
- No maglie

A TRIANGOLO

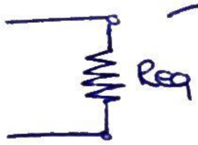


- Maglia centrale
- No nodi

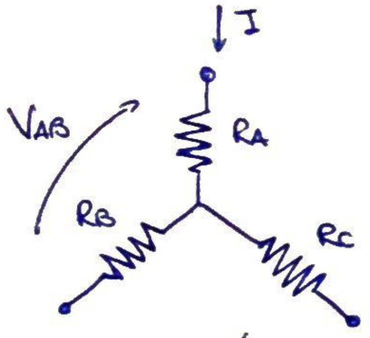
Equivalenza:



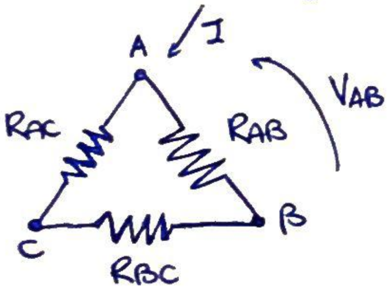
≡



→ più semplice da usare

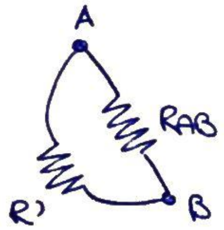


$I = \frac{V_{AB}}{R_A + R_B}$ (R_C non entra nel ragionamento)



R_{BC} e R_{CA} sono in serie

⟹



$R' = R_{CA} + R_{BC}$

Sono in //

⟹

$$R'' = \frac{R_{AB} R'}{R' + R_{AB}}$$

$$I'' = \frac{V_{AB}}{R''}$$

Essendo in serie:

$R_{eq} = R' + R''$

- In numeri:

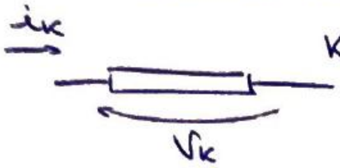
$R' = 1 + 1 = 2\,\Omega$

$R'' = \frac{2 \cdot 2}{2+2} = 1\,\Omega$

$R_{eq} = \boxed{2\,\Omega}$

SOLUZIONE DI UN CIRCUITO = definire un metodo per determinare le tensioni e le correnti in tutti i lati del circuito.

Tensioni e Correnti → VARIABILI DI RETE



K-esimo lato

Metodo di soluzione → generale = non dipende dalla struttura del circuito
→ particolare

EQUAZIONI DISPONIBILI:
- costitutive
- topologiche

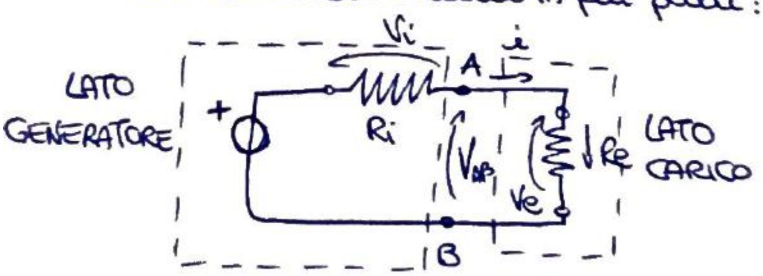
METODO:
- Grafico (particolare)
- Algebrico (generale)

- Obiettivo: scrivere numero di equazioni pari al numero di incognite, con correttezza garantita matematicamente.

METODO GRAFICO

Vincolo sulle equazioni ai morsetti

- Posso dividere circuito in più parti:



A e B sono morsetti

METODO ALGEBRICO

- Quante devono essere le variabili?

↳ 1 V e 1 i per lato, quindi avrò L lati e 2L incognite

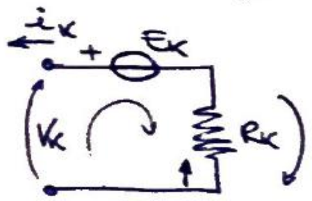
MA alcune equazioni (Kirchhoff) sono legate al numero di nodi, mentre non esistono relazioni tra numero lati e numero nodi.

EQUAZIONI DI VINCOLO

- Eq. costitutive
- Leggi correnti Kirchhoff
- Leggi tensioni Kirchhoff

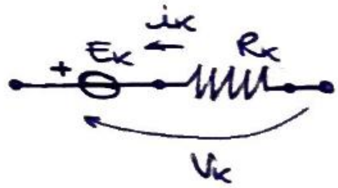
L equazioni costitutive ⟹
↳ una per lato (conosco V_k e i_k)

$$
\begin{array}{l}
2L \text{ incognite} - \\
L \text{ vincoli} = \\
\hline
L \text{ variabili libere}
\end{array}
$$



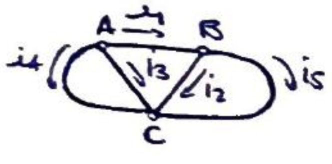
$V_k - E_k + R_k i_k = 0$

$V_k + R_k i_k = E_k$



- Le rimanenti L equazioni devono essere vincolate con le leggi di Kirchhoff delle correnti (una per nodo).

LKC



Nodo A) $-i_1 - i_3 - i_4 = 0$

B) $i_1 - i_2 - i_5 = 0$

C) $i_2 + i_3 + i_4 + i_5 = 0$

Equazioni algebriche lineari

In realtà, la terza equazione (nodo C) non è altro che la combinazione lineare delle altre 2 (nodo A e nodo B).

↳ In generale, posso scrivere solo (N-1) LKC, un nodo è il riferimento, scelgo quello che voglio.

$$
\begin{array}{l}
L \text{ equazioni} - \\
(N-1) \text{ LKC} = \\
\hline
\boxed{L-N+1} \text{ variabili}
\end{array}
\rightarrow \text{ delle variabili libere}
$$

[A] é una MATRICE SPARSA

- Le tensioni possono essere eliminate, riduco la matrice a una 3x3

$$\begin{cases} i_1 + i_2 - i_3 = 0 \\ R_1 i_1 + R_3 i_3 = E_1 \\ R_2 i_2 + R_3 i_3 = E_2 \end{cases}$$

Ottenendo:

$$i_1 = \frac{E_1 - R_3 i_3}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{E_2 - R_3 i_3}{R_2}$$

e un' equazione finale in i_3:

$$\frac{E_1 - R_3 i_3}{R_1} + \frac{E_2 - R_3 i_3}{R_2} = i_3$$

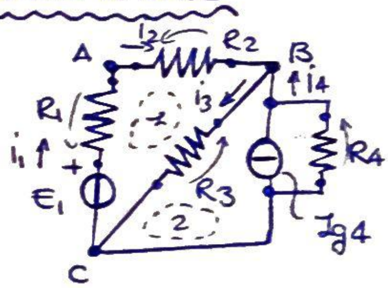
Dipende da tutti i componenti del circuito, nessuno ESCLUSO. $\Longleftarrow$

$$\boxed{i_3 = \frac{R_2 E_1 + R_1 E_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}}$$

Lez. $\boxed{5}$

GIOVEDÌ 13-14:30 LaibLED 12/3/2013

TEOREMI DI RETE

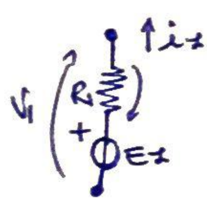


$L = 4$
$N = 3$

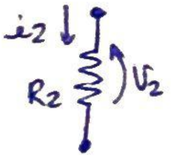
- Dove c'é un cortocircuito, é indifferente dove prendere il nodo rispetto alla sua posizione.

4 lati $\rightarrow$ 8 tensioni

Eq. costitutive (una per lato)



$-E_1 + R_1 i_1 + V_1 = 0 \rightarrow V_1 + R_1 i_1 = E_1$



$V_2 = R_2 i_2 \rightarrow V_2 - R_2 i_2 = 0$

K_1 e K_2 sono COSTANTI solo se le resistenze sono costanti.

↳ IL CIRCUITO È LINEARE SOLO SE TUTTI I SUOI COMPONENTI SONO LINEARI A TEMPO INVARIANTI.
↓
(LA SUA RISPOSTA)

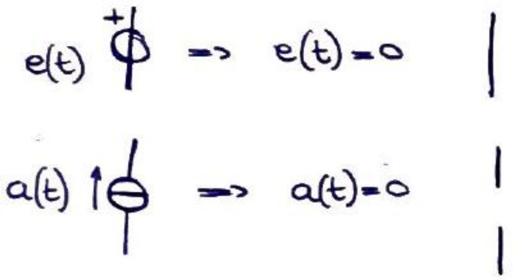
- Se la risposta del circuito è lineare → il circuito è lineare.

PASSIVAZIONE DELLE SORGENTI → annullamento del loro effetto

- Se ho due generatori, posso attivarne uno per volta. La rimozione di un generatore NON deve mutare la natura del circuito:

↳ Ad esempio, annullando una maglia

→ Sostituisco generatore con un altro equivalente con valori nulli:



- Si elimina così il contributo della sorgente senza mutare la topologia del circuito.

TEOREMA SOVRAPPOSIZIONE

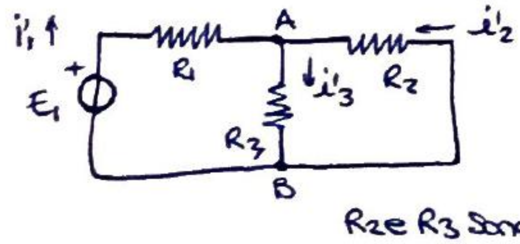
(Hp) Circuito lineare

(Def.) "In un circuito lineare con N generatori, ogni tensione e corrente di lato è la somma di N contributi ciascuno dei quali è calcolato risolvendo il circuito in cui tutte le sorgenti tranne una sono state passivizzate. Solitamente è più semplice risolvere questi circuiti."

$$\left[i_3 = i_3(E_1, E_2) = i_3'(E_1, 0) + i_3''(0, E_2) \right] \rightarrow E_1 \text{ passivato}$$

↳ E_2 passivato

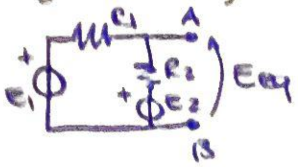
- PASSIVAZIONE E_2



$$i_1' = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{E_1 (R_2 + R_3)}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

R_2 e R_3 sono in //

$$E_1 - R_1 i - R_2 i - E_2 = 0$$

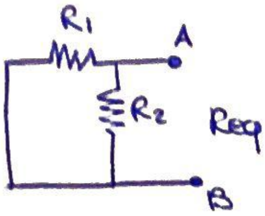


$$i = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$$ Ho solo un'incognita, i, che mi posso ricavare -

↳ Il segno dipende dal valore delle correnti generate dai generatori

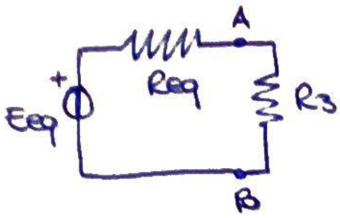
$$E_{eq} + R_1 i - E_1 = 0 \Rightarrow E_{eq} = E_1 - R_1 i = E_1 - R_1\left(\frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}\right)$$

$$\boxed{E_{eq} = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R_1 + R_2}}$$



$$\boxed{R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$$

R_1 e R_2, dopo la passivazione di E_1 e E_2, sono in parallelo -



$$E_{eq} = R_{eq} i_3 + R_3 i_3$$

$$i_3 = \frac{E_{eq}}{R_{eq} + R_3} = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

Lez. 6

13/03/2013

- Svantaggio Thevenin = vedo solo comportamento ai morsetti, mi perdo quello che succede all'interno del componente -

TEOREMA DI NORTON

- Estende concetto di equivalenza, ma con una differente rete equivalente -

Ipotesi: rete lineare alla sinistra di A e B e nessun accoppiamento tra la rete e la rete lineare

A_{eq} → corrente che fluisce tra i morsetti A e B cortocircuitati

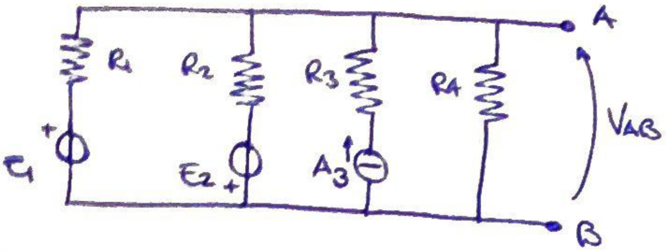
G_{eq} → conduttanza misurata ai morsetti AB della rete passivata

↳ Come Thevenin, ma essendo in // uso la conduttanza -

TEOREMA DI MILLMANN

- Si applica a reti di tipologia specifica:

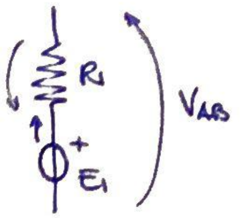
Ipotesi: rete lineare con un numero qualunque di lati connessi in parallelo tra 2 nodi -



NON devo avere nulla attaccato ai morsetti!

- Vogliamo scrivere tutte le equazioni di lato che dipendano da V_{AB} -

↳ esprimo la corrente in funzione di V_{AB}

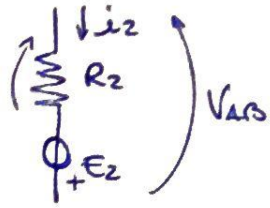


$$V_{AB} + R_1 i_1 - E_1 = 0$$

$$i_1 = \frac{V_1 - V_{AB}}{R_1}$$

CONCORDE

↳ segno E_1 = segno(V_{AB}) (verso l'alto)



$$V_{AB} - R_2 i_2 + E_2 = 0$$

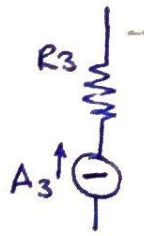
$$i_2 = \frac{V_{AB} + E_2}{R_2}$$

DISCORDE

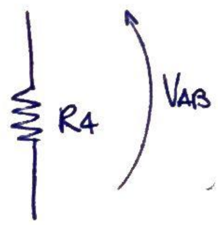
↳ segno E_2 ≠ segno (V_{AB})

→ basso

↳ alto

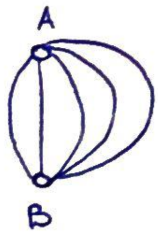


$$i_3 = A_3$$



$$i_4 = \frac{V_{AB}}{R_4}$$

(Verso di percorrenza dato dalla concordanza)



$$i_1 - i_2 + i_3 - i_4 = 0$$

$$\frac{E_1 - V_{AB}}{R_1} - \frac{V_{AB} + E_2}{R_2} + A_3 - \frac{V_{AB}}{R_4} = 0$$

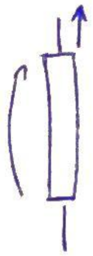
$$V_{AB}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}\right) = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + A_3$$

$$\boxed{V_{AB} = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + A_3}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}\right)}}$$

NUMERATORE: Somma pesata dei generatori di tensioni ognuno diviso per il proprio resistore con segno + se hanno stessa polarità V_{AB}, - viceversa

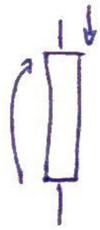
- Somma di tutti i generatori di corrente, con segno + se concorde ad A, - viceversa -

Generatori



$p>0$ generata
$p<0$ dissipata

Utilizzatori



$p<0$ generata
$p>0$ dissipata

$\boxed{\text{ENERGIA}}$ (Vedere slide)

$$W(t_1,t_2) = \int_{t_0}^{t} p(t)\,dt = \int_{t_0}^{t} v(t)\,i(t)\,dt$$

- RESISTORE

– Dalla legge di Ohm:

$$p(t) = v(t)\,i(t) = R\,i(t)\,i(t) = R\,i(t)^2$$
$$p(t) = v(t)\,i(t) = v(t)\,\frac{v(t)}{R} = \frac{v(t)^2}{R}$$

- La potenza può essere solo positiva → CONFERMA CHE IL RESISTORE NON PUÒ GENERARE ENERGIA

Energia dissipata:

$$W(t_1,t_2) = \int_{t_1}^{t_2} R\,(i(t))^2\,dt = \int_{t_1}^{t_2} \frac{(v(t))^2}{R}\,dt$$

→ Più la potenza è elevata, più la resistenza è inferiore.

$P = 1\,KW$
$T = 1\,h$

$W = PT$ (supponendo P costante)

$W = 1000 \cdot 3600 = 3600000\ J = 3{,}6\ MJ$

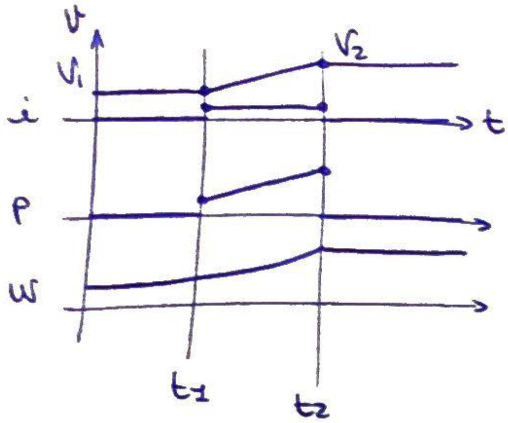
- Poiché il Joule ha un valore molto piccolo, introduciamo il concetto di Kilowattora (KWh):

$$1\,KW \cdot 1\,h = 3{,}6\ MJ$$

- In un condensatore, v rappresenta lo STATO ENERGETICO del componente (dipende da v^2)

$\llcorner$ v è una VARIABILE DI STATO

- Qualsiasi variazione di tensione comporta un cambiamento che l'integrale deve bilanciare con l'energia immagazzinata.



$$i(t) = C\frac{dv}{dt} = C\,\frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} = i^*$$

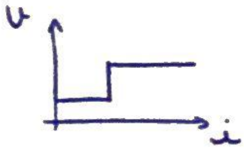
$$p(t) = v(t)\,i(t) = v(t)\,i^*$$

$$w(t) = \frac{1}{2}C\,v(t)^2$$

- Più breve è l'intervallo $(t_2 - t_1)$ a parità di V_1 e ~~costo~~ V_2, più grandi sono corrente, potenza e energia.

Potenza e Energia crescono se la trasformazione è rapida perché:
- la stessa q dev'essere portata in meno tempo
- con stessi V_1 e V_2 la potenza dev'essere trasferita in fretta

Nel caso di variazione istantanea, corrente e potenza dovrebbero avere valori infiniti:



- INDUTTORE

Essendo il duale del condensatore, stessa cosa ma in funzione di $i(t)$.

$$p(t) = v(t)\,i(t) = \left(L\frac{di}{dt}\right)i(t) = L\,i(t)\frac{di}{dt}$$

- Può essere negativa (induttore può cedere energia)

$$dw(t) = \int_{t_1}^{t_2} L\,i(t)\frac{di}{\cancel{dt}}\,\cancel{dt} = d\left(\frac{1}{2}Li^2\right)$$

Integrando: $$\boxed{w = \frac{1}{2}Li^2}$$

Mettendo due resistenze in //, assorbiranno meno corrente di due sole.

$$V' = \frac{R}{2} i' = 14.14\ V$$

- La tensione è cambiata, è più bassa, a volte non basta ad accendere tutto. La potenza erogata è uguale a quella assorbita, ma a spese della V e i delle resistenze.

- Dobbiamo incrementare la P per ottenere $V = 20V$:

$$P_{new} = \frac{V^2}{\frac{R}{2}} = \frac{400}{2} = 200W$$

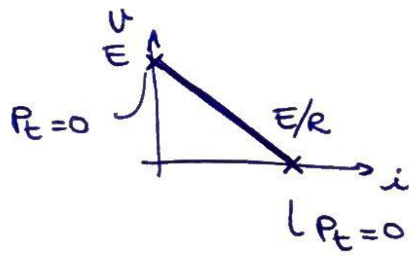
$$i_{new} = \sqrt{\frac{2P_{new}}{R}} = 10{,}04\ A$$

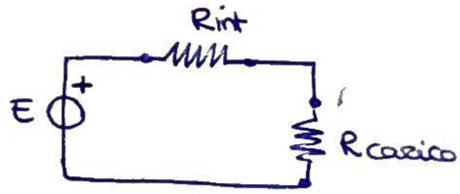
$$V_{nom} = \frac{R}{2} i_{new} = 20\ V$$

$\Longrightarrow$ La richiesta di tensione è la stessa, solo che devo considerare la resistenza equivalente.

MASSIMO TRASFERIMENTO DI POTENZA

- Un generatore reale non può fornire potenza ∞ ai carichi come nel caso ideale. Può essere rappresentato come un generatore ideale connesso ad una resistenza. In questo caso esiste un valore di resistenza del carico che rende massimo il trasferimento di potenza dal generatore. Nella pratica, questo valore di potenza massima non potrà essere superato.

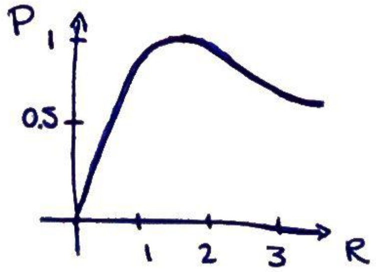




$$P_{carico} = R_{carico}\, i^2 = R_{carico} \left(\frac{R_{int} + R_{carico}}{E} \right)^{-2}$$

Cercando il massimo, derivo: $P_{carico} = \frac{dP_{carico}}{dR_{carico}} \longrightarrow \boxed{R_{carico} = R_{int}}$

- La potenza è massima quando la resistenza del carico è uguale alla resistenza interna.



Al massimo, potrò avere una potenza di 1 Watt, in corrispondenza di una data resistenza.

EVOLUZIONE NEL TEMPO

- Finora non abbiamo mai considerato il tempo -

- le reti resistive rispondono istantaneamente, indipendentemente dall'istante precedente o successivo - É detto circuito ADINAMICO - Se contiene anche condensatori e induttori diventa DINAMICO, perché contiene al suo interno le derivate totali di tensione e corrente -

- Rimangono le stesse equazioni di prima, ma non saranno solo algebriche, saranno differenziali -

↳ Se circuito é lineare, le equazioni differenziali saranno ORDINARIE LINEARI A COEFFICIENTI COSTANTI -

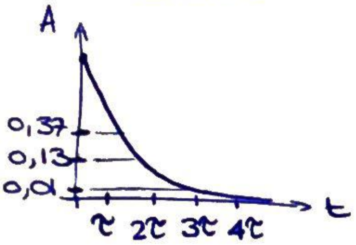
↳ Risolviamo con il metodo di Cauchy
- soluzione omogenea o risposta naturale
- soluzione particolare o risposta forzata

<u>FUNZIONE ESPONENZIALE</u> (uguale alla sua derivata)

- Per mantenere valori limitati, deve avere esponente negativo -

$f(t) = A e^{-t/\tau}$ $\qquad$ t/τ = numero adimensionale, regolarizza la e

costante ↲ (A)



$f(0) = A$
$f(\tau) = 0{,}37A$
$f(2\tau) = 0{,}13A$
...

se $t > 4\tau \Rightarrow \boxed{f(\tau) = 0}$

↓

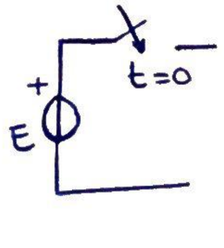
non proprio zero, ma quasi

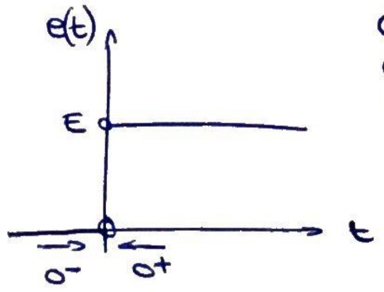
non riusciamo a rilevarlo con gli strumenti graduati

TASTI

- Per creare un ingresso variabile nel tempo possiamo utilizzare un generatore di tensione costante e collegarlo al circuito tramite un interruttore -

Tasto = componente che commuta tra lo stato aperto e corto circuito -





C'é una discontinuità, in $t=0$ non c'é uno stato preciso, sta commutando -

$0^- \rightarrow$ aperto, $E = 0$
$0^+ \rightarrow$ chiuso, $e(t) = E$

Soluzione Omogenea

$$\frac{dV}{dt} + \frac{V}{RC} = 0$$

polinomio caratteristico:

[Il grado della derivata è pari a quello del polinomio]

$$S + \frac{1}{RC} = 0 \rightarrow S = -\frac{1}{RC}$$

funzione esponenziale:

$$\boxed{V_{omo}} = Ke^{-\frac{1}{RC}t} = \boxed{Ke^{-t/RC}}$$

Soluzione Particolare

$$\frac{dV_p}{dt} + \frac{V_p}{RC} = \frac{A}{C}$$

$$\frac{dV_p}{dt} = 0 \Rightarrow \boxed{V_p = +RA}$$

Soluzione totale:

$$\boxed{V = V_{omo} + V_p = Ke^{-t/RC} + RA}$$ → Giusta per Cauchy (ce n'è una sola)

↓

<u>NON</u> dipende dal generatore

$$V(t) = Ke^{-t/RC} + RA$$

- Per trovare K, devo imporre una condizione iniziale:

$$V(0^+) = K + RA \Rightarrow K = -RA$$

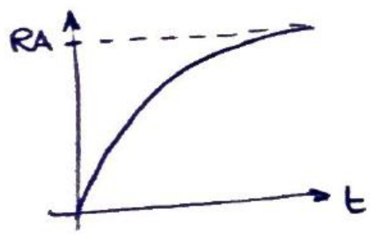
$$\boxed{V(t) = RA\left(1 - e^{-t/RC}\right)}$$ Vale solo per le t che appartengono al dominio, cioè per $t > 0$ (circuito chiuso)

↳ CARICA DEL CONDENSATORE

- La quantità RC è la costante di tempo del circuito Ohmico - Capacitivo -

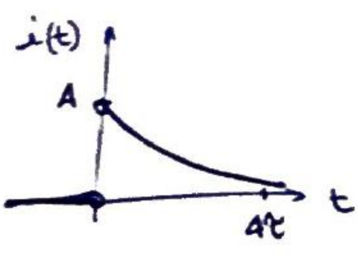
↳ Dopo poco tempo, raggiunge una tensione costante -

↳ Lastre condensatore

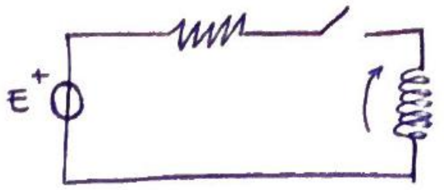


- Vale anche per le altre variabili del condensatore [i(t)]?

$$i(t) = C\frac{d}{dt}\left[RA\left(1 - e^{-t/RC}\right)\right] = \cancel{C}\left[\frac{\cancel{R}A}{\cancel{RC}}e^{-t/RC}\right] = Ae^{-t/RC} \quad (t > 0)$$



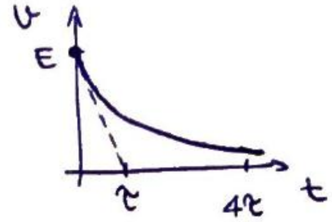
Nel passare da 0^- a 0^+ non è continua, non è variabile di stato, non posso dare condizioni iniziali -



$$\boxed{V(t)} = L\frac{di}{dt} = L\frac{d}{dt}\left[\frac{E}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)\right] = \frac{E\cancel{L}}{\cancel{R}}\left(\frac{\cancel{R}}{\cancel{L}}\right)e^{-\frac{R}{L}t} = \boxed{Ee^{-R/L\,t}}$$

$$\boxed{V(t) = Ee^{-\frac{R}{L}t}}$$

→ col passare del tempo, tende a un valore costante, sia tende a zero ($e^{-\infty} \to 0$)



$$\left.\frac{dV}{dt}\right|_0 = \left[E\left(-\frac{R}{L}\right)e^{-\frac{R}{L}t}\right]_0 = -\frac{ER}{L} = -\frac{E}{\tau}$$

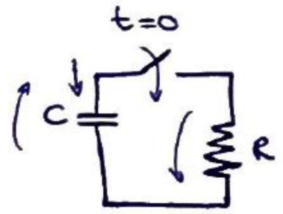
↳ retta che passa per E e si incastra in τ

EVOLUZIONE NATURALE DEL CIRCUITO

- La soluzione dell'omogenea ha il significato della risposta libera del circuito quando non sono applicati generatori – Può condurre a un'evoluzione solo se l'energia inizialmente immagazzinata non era nulla:

[Condensatore carico] $\quad V(0) = V_0 \implies W(0) = W_0 = \frac{1}{2}CV_0^2$

↳ grandezza finita



- Il generatore ha sempre convenzione degli utilizzatori, anche se fa da generatore al circuito –

LKT) $\quad V + V_R = 0 \implies V + RC\frac{dV}{dt} = 0$

- Soluzione omogenea:

$$\begin{cases} \frac{dV}{dt} + \frac{V}{RC} = 0 \\ V(0^+) = V_0 \end{cases}$$

$$S + \frac{1}{RC} = 0 \to S = -\frac{1}{RC}$$

– Non essendoci generatori, non c'è soluzione particolare –

$$\boxed{V(t) = Ke^{-t/RC}}$$

RENDIMENTO DI CARICA

- A causa della presenza di elementi dissipativi, il rendimento è inferiore a uno.

$$\boxed{\eta_{ener} = \frac{W_C}{W_{source}}}$$

Per trasferire la carica dal generatore al condensatore, questa deve fluire attraverso le resistenze dissipative.

- $E - RC\frac{dV_0}{dt} = V_0$

$$\begin{cases} \frac{dV_0}{dt} + \frac{V_0}{RC} = \frac{E}{RC} \\ v(0^+) = 0 \end{cases}$$

Omogenea

$S + \frac{1}{RC} = 0 \rightarrow S = -\frac{1}{RC}$

$\tau = \left|\frac{1}{S}\right| = RC$

$v(t)_{om} = Ke^{-t/RC}$

Particolare $\rightarrow$ $V(t) = H$ costante

$\cancel{\frac{dH}{dt}}_{=0} + \frac{H}{RC} = \frac{E}{RC} \rightarrow H = E$

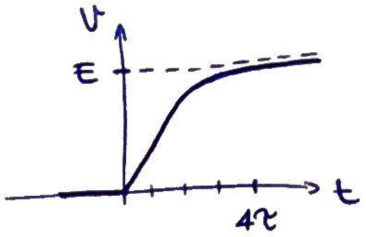
$v(t)_p = E$

$v(t) = Ke^{-t/RC} + E$

$0 = K + E \rightarrow K = -E$

$$\boxed{v(t) = E\left(1 - e^{-t/RC}\right)}$$

- Il processo di carica porta il generatore da un valore zero a un valore finito:



$t \rightarrow +\infty$
$v(t) \rightarrow E$
$W_\infty = \frac{1}{2}CE^2$

$C = 1\,\mu F \quad E = 10\,V$

$W_\infty = \frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 = 50\,\mu J$

- Per dissipare $50\,\mu J$ non ci ho prodotti con il generatore, ma dovrò produrne di più, perché oltre alla potenza immagazzinata nel condensatore bisogna considerare quella persa nelle resistenze.

potenza fornita $\rightarrow$ $P_E(t) = E\,i_d(t) = \frac{E^2}{R}e^{-t/RC}$

Energia fornita $\rightarrow$ $\boxed{W_{source}} = \int_0^{+\infty} \frac{E^2}{R}e^{-t/RC}dt = \left[\frac{E^2}{R}(-RC)e^{-t/RC}\right]_0^{+\infty} = \boxed{CE^2}$

VALORE EFFICACE: Valor medio della funzione al quadrato sotto radice (per problemi di unità di misura)-

$$A = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} a(t)^2\,dt}$$

- FUNZIONI SINUSOIDALI

$$a(t) = A_x \operatorname{sen}(\omega t + \phi)$$
$$b(t) = B_x \cos(\omega t + \phi)$$

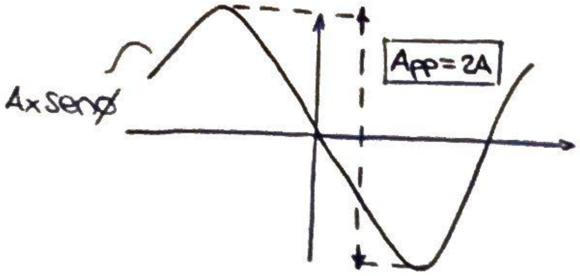
- $A_x, B_x \rightarrow$ ampiezza
- $\omega \rightarrow$ frequenza angolare
- $\phi \rightarrow$ angolo di fase

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi}$$

[ω ha l'unità di misura di una velocità angolare [rad/s], ma è una PULSAZIONE-]

- Consideriamo solo il seno perché con ϕ opportuni posso ricondurmici:

$$\cos(\alpha) = \operatorname{sen}(\alpha + \pi/2)$$



Valore efficace di una funzione sinusoidale:

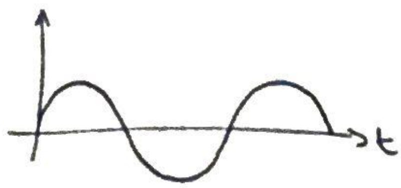
$$\boxed{A} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} (A_x \operatorname{sen}(\omega t + \phi))^2 dt} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} \frac{A_x^2}{2}(1 - \cos(2(\omega t + \phi)))\,dt} = \sqrt{\frac{A_x^2}{2T}\int_{t_0}^{t_0+T} dt} =$$

$$= \sqrt{\frac{A_x^2}{2\cancel{T}} \cdot \cancel{T}} = \boxed{\frac{A_x}{\sqrt{2}}}$$

- Il valore efficace è pari al valore massimo (A_x) diviso per $\sqrt{2}$ (cioè $\approx 1{,}4$)-

$$i(t) = \sqrt{2}\, I \operatorname{sen}(\omega t + \phi)$$



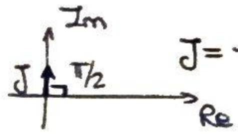
REGOLA DI DERIVAZIONE

- La derivazione mantiene la corrispondenza tra la funzione complessa $\bar{z}(t)$ e la funzione sinusoidale $f(t)$.

Dominio del Tempo	Dominio della Frequenza
$f(t) = F_x \operatorname{sen}(\omega t + \varphi)$	$\bar{z}(t) = F_x e^{j(\omega t + \varphi)}$
$\frac{df}{dt} = \omega F_x \cos(\omega t + \varphi) =$	$\frac{d\bar{z}}{dt} = j\omega F_x e^{j(\omega t + \varphi)} =$
$= \omega F_x \operatorname{sen}(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2})$	$= \omega e^{j\pi/2} F_x e^{j(\omega t + \varphi)} = \omega F_x e^{j(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2})}$

$\downarrow$

La pulsazione rimane UGUALE



$$J = 1 e^{j\pi/2}$$

$$\boxed{f(t) = Im[\bar{z}(t)]} \Longleftrightarrow \boxed{\frac{df}{dt} = Im\left[\frac{d\bar{z}}{dt}\right]}$$

Lez. $\boxed{11}$

26/3/2013

- $\frac{d}{dt} = j\omega$
- $\frac{d^2}{dt^2} = (j\omega)^2 = -\omega^2$

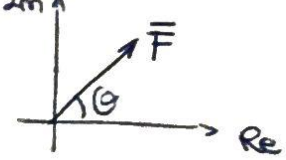
FASORE

- La funzione $f(t) = \sqrt{2} F \operatorname{sen}(\omega t + \varphi)$ è legata alla funzione complessa $\bar{z}(t)$ da:

$$z(t) = \sqrt{2} F e^{j(\omega t + \varphi)} = \sqrt{2} F e^{j\varphi} e^{j\omega t}$$

$F e^{j\varphi}$ non dipende dal tempo e contiene
- ampiezza attraverso valore efficace
- fase

- È detto fasore, è rappresentato da una freccia:



• Per tensione e' integrale particolare:

$$a(t) = \sqrt{2} A \, sen(\omega t) = Im\left[\sqrt{2} A e^{j0} e^{j\omega t}\right]$$

$$V_p(t) = \sqrt{2} V_p \, sen(\omega t + \varphi) = Im\left[\sqrt{2} V_p e^{j\varphi} e^{j\omega t}\right]$$

→ Sostituendo nell'equazione differenziale:

$$C \frac{dV_p}{dt} + \frac{V_p}{R} = \sqrt{2} A \, sen(\omega t)$$

$$C \, Im\left[\cancel{\sqrt{2}} j\omega V_p e^{j\varphi} \cancel{e^{j\omega t}}\right] + \frac{1}{R} Im\left[\cancel{\sqrt{2}} V_p e^{j\varphi} \cancel{e^{j\omega t}}\right] = Im\left[\cancel{\sqrt{2}} A e^{j0} \cancel{e^{j\omega t}}\right]$$

→ posso eliminare $\sqrt{2}$ e $e^{j\omega t}$ (funzione ma definita $\forall t$)

→ posso raccogliere Im

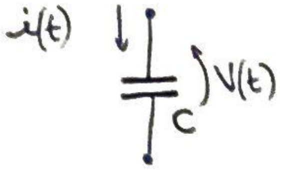
$$Im\left[j\omega C V_p e^{j\varphi} + \frac{1}{R} V_p e^{j\varphi}\right] = Im\left[A e^{j0}\right]$$

• L'uguaglianza della parte immaginaria sottintende l'uguaglianza tra i numeri complessi.

$$j\omega C V_p e^{j\varphi} + \frac{1}{R} V_p e^{j\varphi} = A e^{j0}$$ → passo ai fasori

$$j\omega C \overline{V_p} + \frac{1}{R} \overline{V_p} = \overline{A}$$

↳ Equazione algebrica a valori complessi



$$v(t) = \sqrt{2} V \, sen(\omega t + \varphi)$$

$$i(t) = C \frac{dv}{dt} = \sqrt{2} V \omega \cos(\omega t + \varphi) = \sqrt{2} \omega V \, sen\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

• Poiché C è costante, alla fine se applico variabili sinusoidali ottengo variabili sinusoidali con la STESSA ω e FASE DIVERSA.

→ La soluzione deve essere cercata mediante l'algebra dei numeri complessi.

$$z = a + jb = z e^{j\theta}$$ ~ A seconda dell'operazione scelgo la forma migliore

• $\overline{z}_1 + \overline{z}_2 = (a_1 + jb_1) + (a_2 + jb_2) = (a_1 + a_2) + j(b_1 + b_2)$

• $\overline{z}_1 \cdot \overline{z}_2 = (z_1 e^{j\theta_1}) \cdot (z_2 e^{j\theta_2}) = z_1 z_2 e^{j(\theta_1 + \theta_2)}$

Mettendo insieme:

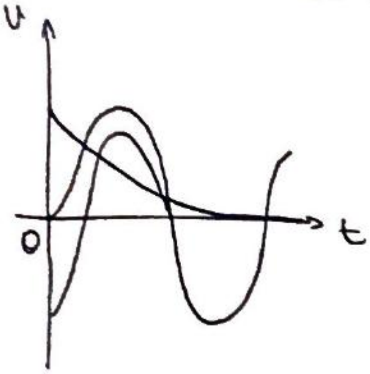
$$v(t) = K e^{-t/RC} + \sqrt{2} \cdot 179{,}1 \operatorname{sen}(314t - 1{,}1) \text{ V}$$

- Impongo le condizioni iniziali $\tau = 40 \cdot 10^3 \cdot 0{,}159 \cdot 10^{-6} = 6{,}36 \text{ ms}$

$$v(0) = 0 \implies K = 225{,}7 \text{ V}$$

$$\rightarrow v(t) = 225{,}7\, e^{-\frac{t}{40 \cdot 10^3 \cdot 0{,}159 \cdot 10^{-6}}} + \sqrt{2} \cdot 179{,}1 \operatorname{sen}(314t - 1{,}1)$$

↳ si esaurisce dopo $4\tau \approx 25 \text{ ms}$

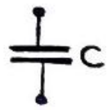


Lez. 12

27/3/2013

METODO SIMBOLICO

$$v(t) = \sqrt{2} V \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_v)$$



$$i(t) = C \sqrt{2} \omega V \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_v + \pi/2) \rightarrow$$ È anch'essa sinusoidale (derivata di una sinusoidale)

$$v(t) = \sqrt{2} V \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_v)$$

$$\Updownarrow$$

$$\overline{z}(t) = \sqrt{2} V e^{j(\omega t + \varphi_v)} \rightarrow v(t) = \operatorname{Im}[\overline{z}(t)]$$

$$\frac{d}{dt} \rightarrow j\omega$$

- Posso esprimerlo come:

$$\overline{z}(t) = \sqrt{2} V e^{j\omega t} e^{j\varphi_v}$$

$$\downarrow$$

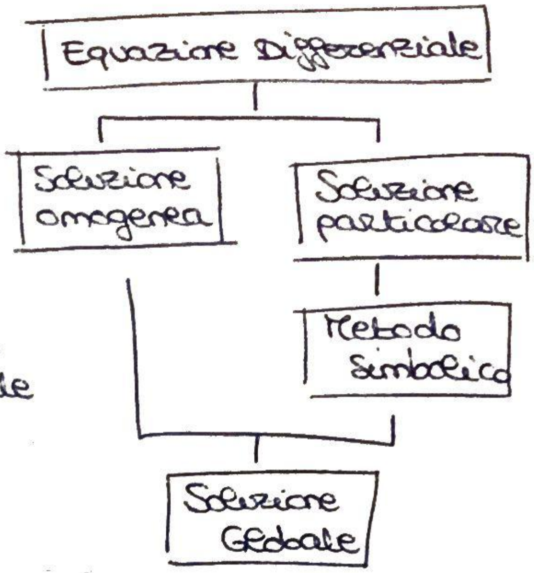
(fasore) $\overline{V} = V e^{j\varphi_v}$

↳ È un numero complesso

$$\frac{dv}{dt} \rightarrow \overline{V}' = j\omega \overline{V}$$

DOMINIO TEMPO — DOMINIO FREQUENZA

SOLUZIONE DEI CIRCUITI MEDIANTE METODO SIMBOLICO



- Se risposta libera non è di interesse, posso applicare il metodo simbolico in maniera più radicale.
- Posso provare a non passare dall'equazione differenziale

LEGGI DI KTL

↳ posso scriverla in modo fasoriale

- In un nodo, posso scrivere: $i_1(t)+i_2(t)-i_3(t)=0$

↳ Tutte funzioni sinusoidali sono isofrequenziali (stessa ω) della corrente sinusoidale in ingresso.

$$\sqrt{2}I_1\,\text{sen}(\omega t+\varphi_1)+\sqrt{2}I_2\,\text{sen}(\omega t+\varphi_2)-\sqrt{2}I_3\,\text{sen}(\omega t+\varphi_3)=0$$

$$\text{Im}\left[\cancel{\sqrt{2}}\,I_1 e^{j\varphi_1}\cancel{e^{j\omega t}}\right]+\text{Im}\left[\cancel{\sqrt{2}}\,I_2\cancel{e^{j\omega t}}e^{j\varphi_2}\right]-\text{Im}\left[\cancel{\sqrt{2}}\,I_3\cancel{e^{j\omega t}}e^{j\varphi_3}\right]=0$$

→ posso scriverla sotto forma di fasori:

$$\bar{I}_1+\bar{I}_2-\bar{I}_3=0$$ → e' equazione nel dominio del tempo è equivalente a quella nel dominio della frequenza

→ Se posso scrivere anche le equazioni costitutive in funzione dei fasori, posso saltare il passaggio dell'equazione differenziale.

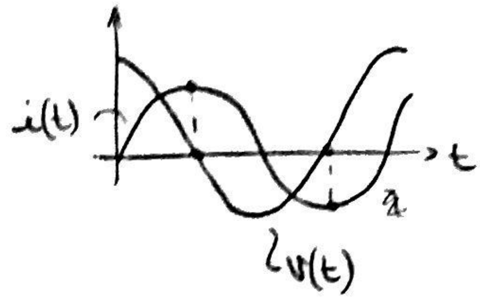
EQUAZIONI COSTITUTIVE

RESISTORE

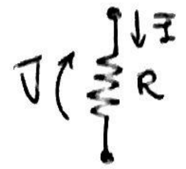
$$i(t)=\sqrt{2}I\,\text{sen}(\omega t+\varphi_i)=\text{Im}\left[\sqrt{2}Ie^{j\omega t}e^{j\varphi_i}\right]$$

Legge di Ohm $\quad V(t)=R\sqrt{2}I\,\text{sen}(\omega t+\varphi_i)=\text{Im}\left[\sqrt{2}RIe^{j\omega t}e^{j\varphi_i}\right]$

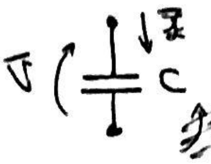
- Il fasore della tensione diventa: $\quad \bar{V}=R\bar{I}=\begin{cases}|\bar{V}|=RI\\ \angle\bar{V}=\varphi_i\end{cases}$



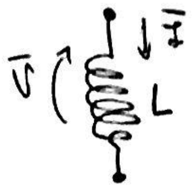
Sono nuovamente sfasate, ma con la corrente e la tensione invertita -



$\bar{V} = R\bar{I}$



$\bar{I} = j\omega C\bar{V} \Rightarrow \bar{V} = \frac{\bar{I}}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C}\bar{I}$



$\bar{V} = j\omega L\bar{I}$

IMPEDENZA

- La struttura dell'equazione è comune a tutti e tre i componenti:

$\bar{V} = \bar{Z}\bar{I}$ LEGGE DI OHM IN FORMA SIMBOLICA

[Il numero complesso $\bar{Z}$ è detto IMPEDENZA -]

- $\bar{Z}$ varia per ogni componente
    - Resistore: $\bar{Z} = R$
    - Condensatore: $\bar{Z} = -\frac{j}{\omega C}$
    - Induttore: $\bar{Z} = j\omega L$

Parte reale di $\bar{Z}$ → RESISTENZA
Parte immaginaria di $\bar{Z}$ → REATTANZA
} Sono numeri reali!

- In forma esponenziale: $\bar{Z} = Ze^{j\theta} \Rightarrow Ve^{j\varphi_V} = Ze^{j\theta}e^{j\varphi_I}$

$Z = V/I \quad \theta = \varphi_V - \varphi_I$

- Il valore assoluto di Z (V/I) è espresso in Ohm -

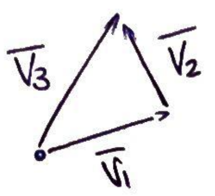
Lez. 13

8/4/'13

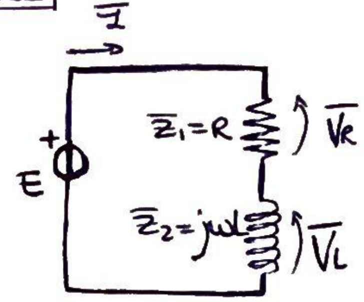
DIAGRAMMI VETTORIALI

- Nel metodo simbolico le grandezze sono numeri complessi, hanno cioè una struttura bidimensionale. Possono essere rappresentati come numeri sotto forma di vettori nel piano complesso. Questo viene detto DIAGRAMMA FASORIALE.

Ex. $\overline{V}_3 = \overline{V}_1 + \overline{V}_2$



RL



- Con il metodo simbolico, considero UN SOLO ISTANTE, in cui la tensione assume una fase particolare. L'impedenza complessiva della serie vale $\overline{Z}_{eq} = R + j\omega L$.

$$\overline{E} = E e^{j0}$$

$$\overline{E} = (R + j\omega L)\overline{I}$$

$$\overline{I} = \frac{\overline{E}}{R + j\omega L}$$

$$|\overline{I}| = \frac{|\overline{E}|}{|(R + j\omega L)|} = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (j\omega L)^2}}$$

$$\angle \overline{I} = \angle \overline{E} - \angle (R + j\omega L) =$$

$$= -\tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$$

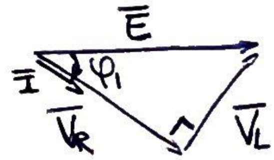
- Calcolato il fasore $\overline{I}$, posso ricavare i fasori della tensione:

$$\overline{V}_R = R\overline{I} = R I e^{j\varphi_1}$$

$$\overline{V}_L = j\omega L \overline{I} = \omega L I e^{j(\varphi_1 + \pi/2)}$$

$\hookrightarrow e^{j\pi/2}$

$$\overline{E} = \overline{V}_R + \overline{V}_L$$

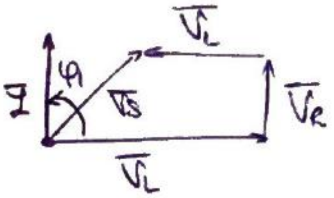


In un circuito ohmico-induttivo la corrente è in RITARDO rispetto alla tensione.

- φ_1 negativo [$(\omega L/R) > 0$, ma '$-$' davanti], quindi va preso in senso orario per convenzione.

- Se il carico diventa una capacità:
  $\to \overline{V}_L$

$$\overline{V}_S = \overline{V}_L + \overline{V}_R + \overline{V}_X = \overline{V}_L + R\overline{I}_{eire} + jX_{eire}\overline{I}$$



- Situazione pericolosa: il valore della tensione ai capi del generatore è maggiore del valore efficace di $\overline{V}_S$, per evitare che i carichi abbiano comportamento capacitivo si usa ~~il~~ RIFASAMENTO -

POTENZA IN REGIME SINUSOIDALE

- Potenza dipolare $\quad p(t) = v(t)\, i(t)$

In regime sinusoidale,

$$v(t) = \sqrt{2}\, V \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_v)$$
$$i(t) = \sqrt{2}\, I \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_i)$$

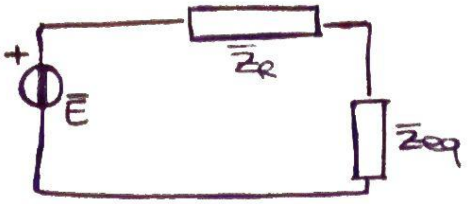
- Il risultato può essere rielaborato come:

$$p(t) = \sqrt{2} V \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_v) \sqrt{2} I \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_i) =$$
$$= 2VI \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_v)\operatorname{sen}(\omega t + \varphi_i) = \cancel{2}VI \frac{1}{\cancel{2}}\left[\cos(\varphi_v - \varphi_i) - \right.$$
$$\left. - \cos(2\omega t + \varphi_v + \varphi_i)\right]$$

$$\operatorname{sen}\alpha \operatorname{sen}\beta = \frac{1}{2}\left[\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)\right]$$

$\varphi = (\varphi_v - \varphi_i)$ è molto importante,
coincide con l'angolo di indipendenza $(\varphi = \theta)$

$$\left[\, p(t) = VI\left[\cos\varphi - \cos(2\omega t + \varphi_v + \varphi_i)\right] \,\right]$$



$$\bar{Z}_{eq} = \frac{\bar{Z}_C \bar{Z}_L}{\bar{Z}_C + \bar{Z}_L} = \frac{-jX_C \, jX_L}{-jX_C + jX_L} =$$

$$= \frac{j^2(-X_C X_L)}{j(X_L - X_C)} = \frac{X_C X_L}{j(X_L - X_C)} \cdot \frac{-j}{-j} = -\frac{j X_C X_L}{(X_L - X_C)} = +j16{,}5\,\Omega$$

↳ $\bar{E}$ positivo, nel // "vince" e' impedenza minore, quella induttiva -

$$\bar{Z}_{TOT} = \bar{Z}_R + \bar{Z}_{eq} = (50 + j16{,}5)\,\Omega$$

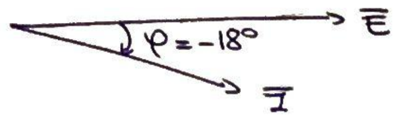
$\bar{I} = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_{TOT}}$ → Valore di fase di E sarà zero, perché non è dato!

$$|\bar{Z}| = \sqrt{50^2 + (16{,}5)^2} = 52{,}7\,\Omega$$

$$\angle \bar{Z}_{TOT} = \tan^{-1}\left(\frac{16{,}5}{50}\right) = 18°$$

Corrente in ritardo rispetto alla tensione

$$\bar{I} = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_{TOT}} = \frac{100\,e^{j0°}}{52{,}7\,e^{j18°}} = \boxed{1{,}89\,e^{-j18°}}$$

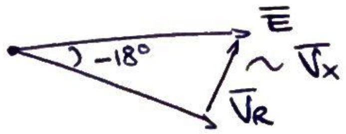


$$\bar{V}_R = R\bar{I} = 50 \cdot 1{,}89 \cdot e^{-j18°} = 94{,}5\,e^{-j18°}\,V$$

- Per trovare V_x posso fare un'equazione di maglia KTC:

$$\bar{E} = \bar{V}_R + \bar{V}_x \implies \bar{V}_x = \bar{E} - \bar{V}_R$$

- GRAFICAMENTE



- ANALITICAMENTE

$$\bar{V}_R = 94{,}5\left[\cos(-18°) + j\,\text{sen}(-18°)\right] =$$
$$= 89{,}9 - j29{,}2\,V$$

$$\bar{V}_x = 100 - 89{,}9 + j(29{,}2) = \boxed{10{,}1 + j29{,}2\,V}$$

- Volendo ricavare $\bar{I}_L$ e $\bar{I}_C$, dobbiamo ritornare alla forma esponenziale.

$$|\bar{V}_x| = \sqrt{(10{,}1)^2 + (29{,}2)^2} = 30{,}9\,V$$

$$\angle \bar{V}_x = \tan^{-1}\left(\frac{29{,}2}{10{,}1}\right) = 72° \text{ (complementare di } 18°)$$

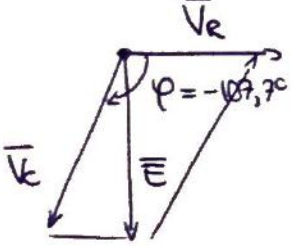
$$\bar{I}_L = \frac{\bar{V}_x}{\bar{Z}_L} = \frac{30{,}9 \cdot e^{j72°}}{j15{,}7} = \frac{30{,}9}{15{,}7} \cdot \frac{e^{j72°}}{e^{j90°}} = \boxed{1{,}97 \cdot e^{-j18°}\,A}$$

Se dobbiamo trovare $\overline{E}$:

$$\overline{V}_C = \overline{Z}_C \overline{I} = -\frac{j}{\omega C} \cdot \overline{I} = -j63{,}7 \cdot (10 - j\,3{,}2) =$$
$$= 63{,}7 \cdot e^{-j90°} \cdot 10{,}5 \cdot e^{-j17{,}7°} = 668{,}85 \cdot e^{-j107{,}7°}$$

- Applicando Kirchhoff per la prima maglia:

$$\overline{E} + \overline{V}_C - \overline{V}_R = 0 \implies \overline{E} = \overline{V}_C + \overline{V}_R = 668{,}85 \cdot e^{-j107{,}7°} + 100\,e^{j0°} =$$
$$= 668{,}85\left(\cos(-107{,}7°) + j\,\mathrm{sen}(-107{,}7°)\right) + 100 =$$
$$= \boxed{\overset{-95{,}5}{\cancel{625{,}30}} + j\,\overset{639{,}6}{\cancel{414{,}01}}\ V}$$

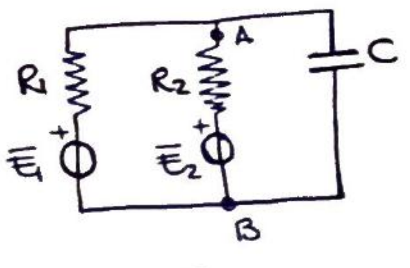


Da gradi a radianti:

$\implies$ [GRADI × π : 180]

$$|\overline{E}| = \sqrt{(95{,}5)^2 + (639{,}6)^2} = 646{,}6$$
$$\angle \overline{E} = \tan^{-1}\left(\frac{639{,}6}{-95{,}5}\right) = -98{,}8° \quad \longrightarrow \quad \boxed{\overline{E} = 646{,}6\,e^{-j98{,}8°}}$$

HOMEWORK



$\overline{E}_1 = 100\,e^{j0°}\,V$

$\overline{E}_2 = 100\,e^{j90°}\,V$

$R_1 = R_2 = 10\,\Omega$

$C = 50\,\mu F$

(a) $\overline{V}_{AB}$?

(b) $\overline{I}_C$?

(c) $\overline{I}_{E_1}$?

(d) $\overline{I}_{E_2}$?

Lez. 16

15/4/13

POTENZA ATTIVA E REATTIVA

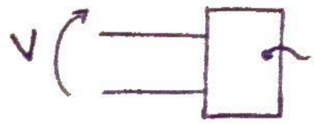
- La potenza reattiva è un qualcosa a valor medio nullo, ha tuttavia un'influenza in potenza dannosa sul circuito.

[TEOREMA DI BOUCHEROT] (Tellegen in forma sinusoidale)

- I flussi di potenza sinusoidale evidenziano un problema comune a molti sistemi industriali.

CONSERVAZIONE POTENZA COMPLESSA

$$\sum_{i=1}^{n_{\text{sorg}}} \overline{S}_K = \sum_{i=1}^{n_{\text{load}}} \overline{S}_i$$



carico che assorbe una potenza attiva P e una potenza reattiva Q

$$\bar{S}_1 = P_1 + jQ_1 \qquad \bar{S}_2 = P_2 + jQ_2$$

$$\bar{S}_{TOT} = \bar{S}_1 + \bar{S}_2 \quad \text{(Teorema di Boucherot)}$$

- noto φ:

$$P = VI\cos\varphi \implies I = \frac{P}{V\cos\varphi}$$

- Una volta calcolata la corrente di carico, il valore di potenza assorbita dall'impedenza di linea diventa:

$$P_l = R_l I^2$$
$$Q_l = X_l I^2$$

→ La potenza complessa globalmente assorbita diventa

$$\bar{S}_{TOT} = \overbrace{(P_l + P_2)}^{P_{sorg}} + j\overbrace{(Q_l + Q_2)}^{Q_{sorg}}$$

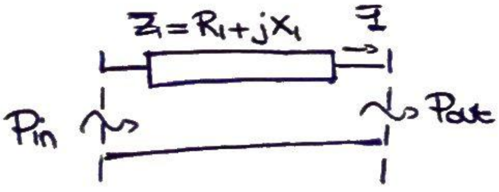
- Possiamo in questo modo ricavare la potenza attiva delle sorgenti, sfruttando Boucherot:

$$\varphi_{sorg} = \tan^{-1}\frac{Q_{sorg}}{P_{sorg}}$$

$$P_{sorg} = EI\cos\varphi \implies E = \frac{P_{sorg}}{I\cos\varphi}$$

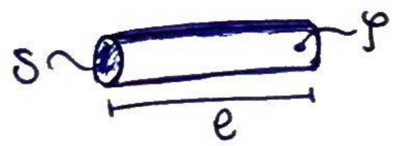
LINEA DI TRASMISSIONE

- Dispositivo che trasferisce la potenza dai generatori ai carichi.
- Essendo associato a un'energia, ha un rendimento:



$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{perse}}$$

A parità di P_{out} una diminuzione delle perdite comporta un aumento del rendimento della linea.



$$P_\pi = RI^2$$

$$R = \rho\frac{l}{S}$$

$\begin{cases} l \text{ non posso fare nulla} \\ \rho \text{ costa tanto a} \neq \text{di materiale} \\ S \text{ posso cambiarlo} \end{cases}$

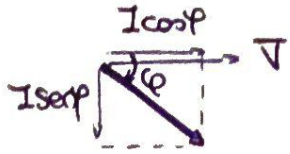
Lez. 17

16/4/'13

RIFASAMENTO

- La corrente di carico può essere espressa come:

$$\bar{I} = \bar{I}_P + \bar{I}_Q$$

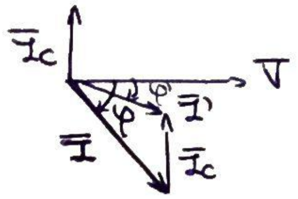


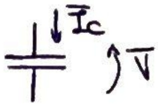
$I_P = I\cos\varphi$, legato alla potenza attiva
$I_Q = I\,\text{sen}\varphi$, legato alla potenza reattiva

- La componente reattiva non ci serve al fine di portare energia, serve a caricare e scaricare condensatori e induttori ogni periodo assegnato.

↳ I_Q contribuisce alle perdite di energia, in quanto queste dipendono dal valore del modulo di I, e non solo da I_P.

CONDENSATORE IN PARALLELO

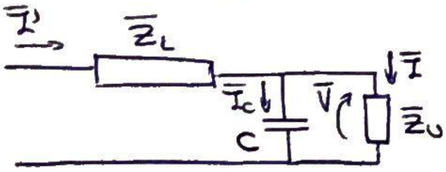




$$\bar{Z}_C = -\frac{j}{\omega C}$$

$$\bar{I}_C = \frac{\bar{V}}{-j/\omega C} = j\omega C\bar{V}$$

BILANCIO DI Q



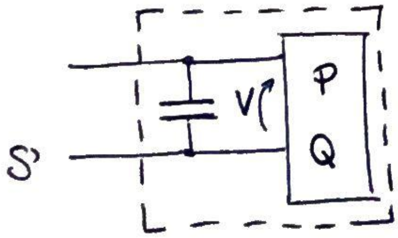
- La potenza che arriva al carico rimane sempre la stessa, modifico quella reattiva.

$\boxed{\text{RIFASAMENTO}}$ → Un condensatore viene messo vicino a un carico per assorbire potenza REATTIVA (non tocca quella ATTIVA)

- Devo minimizzare la potenza data da:

$$P_{eire} = R(\bar{I}_P + \bar{I}_Q)^2$$

, ma mi serve $\bar{I}_P$, devo minimizzare il valore di $\bar{I}_Q$.



$$\bar{S}' = P' + jQ'$$

dove $Q' = Q + Q_C$
$P' = P + \cancel{P_C}_{\to 0}$

- La potenza reattiva viene fornita gratuitamente se:

$W_Q \leq 0{,}5\, W_P \Rightarrow \tan\bar{\varphi} = 0{,}5 \Rightarrow \bar{\varphi}$

$\Rightarrow \boxed{\cos\bar{\varphi} \approx 0{,}9}$

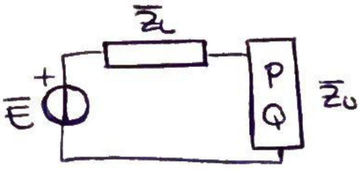
OBIETTIVO: Trovare il valore di $\bar{\varphi}$ per il quale $\cos\bar{\varphi} \approx 0{,}9$ e quindi è gratuita -

↳ In nessun caso l'utente può fornire potenza reattiva alla linea -

↳ di tipo capacitivo, è molto pericoloso per la gestione della linea, il proprietario non vede -

BASSO VALORE DI $\cos\varphi$

$\bar{Z}_L = R_L + jX_L$



$V = 230\,V$

$\bar{Z}_L = 0{,}15 + j0{,}2\ \Omega$

$P = 10\ KW$

$Q = 10\ KVAr$

$\varphi = \tan^{-1}\frac{Q}{P} \Rightarrow \cos\varphi \approx 0{,}77 \to$ dobbiamo correggerlo e ottenere 0,9

- Posso calcolare la I:

$I = \frac{P}{V\cos\varphi} = 61{,}5\ A$ (Valore efficace della corrente)

$P_L = R_L I^2 = 567\ W$

$Q_L = X_L I^2 = 756\ VAr$

$\bar{S}_{load} = (P + P_L) + j(Q + Q_L) = 10567 + j\,10756\ VA$

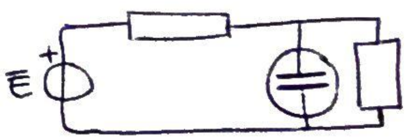
↳ potenza complessa, per Boucherot sarà pari a quella fornita

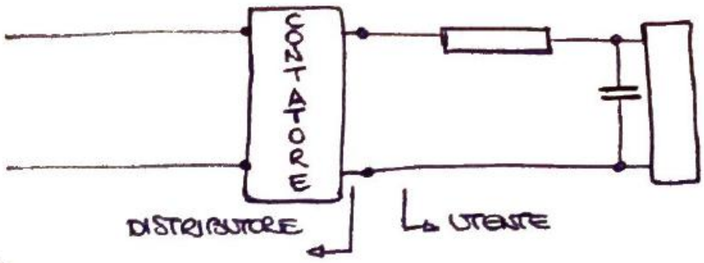
$\bar{S}_{load} = \bar{S}_{sorg}$ $\qquad \varphi_{sorg} = \tan^{-1}\frac{Q_{sorg}}{P_{sorg}} = 1{,}02 \Rightarrow \cos\varphi_{sorg} = 0{,}701$

↳ minore ancora

$E = \frac{P_{sorg}}{I\cos\varphi_{sorg}} =$

$\boxed{\text{RIFASAMENTO}}$ → metto condensatore in //





- La corrente ci arriva da un terzo, dal proprietario della rete elettrica, ma dove è il confine che delimita la mia proprietà dell'impianto? Attraverso il CONTATORE.

⟹ Il condensatore del rifasamento è nella mia proprietà, i vantaggi però li ha il distributore, esistono dei contratti per compensare il costo del condensatore.

MERCATO DELL'ENERGIA

- Prezzo ottenuto in modo complesso, in parte stabilito da leggi nazionali e in parte affidato alla libera contrattazione di mercato.
- Negli ultimi 10 anni si è passati da una configurazione monopolistica a una componente sempre crescente di mercato.
- Dati i vincoli di natura tecnica, sono state istituite le figure delle Autorità e dei Gestori che sovraintendono ai vari livelli di funzionamento.

→ ENEL ha dovuto cedere delle centrali per avere quota mercato <50%
→ TERNA, creata per la gestione dell'alta tensione

STRUTTURA del SISTEMA ELETTRICO

AUTORITÀ PER ENERGIA ELETTRICA E GAS
- → PRODUZIONE → molteplicità di mercato
- → TRASMISSIONE → monopolio di mercato
- → DISTRIBUZIONE → monopolio di mercato
- → VENDITA → molteplicità di mercato

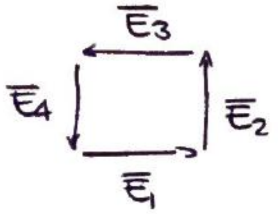
⇓

CLIENTI IDONEI

- Struttura del prezzo dell'energia:
  - servizio di vendita
  - servizi di rete
  - oneri generali (contributi per fonti rinnovabili, ecc.)
  - imposte (IVA e altre tasse, vanno allo Stato)

• Un sistema POLIFASE si dice SIMMETRICO se tutte le sorgenti hanno lo stesso valore efficace-

Sottoinsieme dei puri

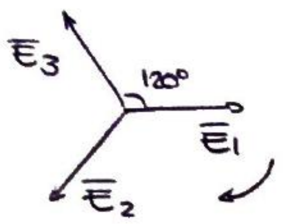


Poligono chiuso e regolare

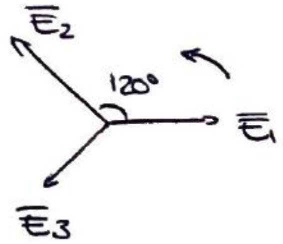
$\boxed{\text{SISTEMA TRIFASE}}$ $\Theta = \frac{2\pi}{3}$

• Ha forme d'onda sfasate di ±120°-

SIMMETRICO DIRETTO



SIMMETRICO INVERSO

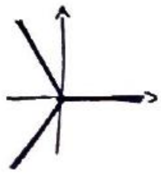


$\overline{E}_1 = E_1 e^{j0}$
$\overline{E}_2 = E_2 e^{-j120°}$
$\overline{E}_3 = E_3 e^{j120°}$

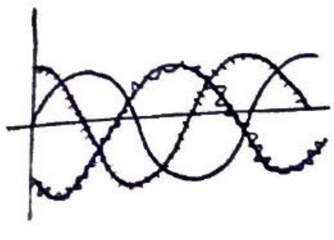
$\overline{E}_1 = E_1 e^{j0}$
$\overline{E}_2 = E_2 e^{j120°}$
$\overline{E}_3 = E_3 e^{-j120°}$

$\alpha = e^{j\frac{2}{3}\pi}$

$\alpha^2 = e^{j\frac{4}{3}\pi} = e^{-j\frac{2}{3}\pi}$



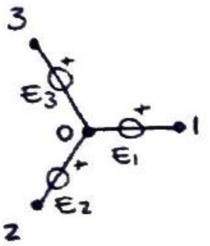
• Nel tempo, la composizione diretta ha forma:

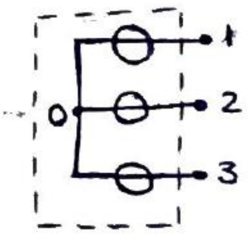


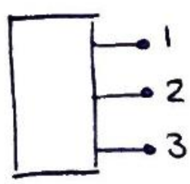
TERNA DIRETTA → quando una delle forme d'onda assume valori piccoli gli subentra un'altra forma d'onda con valori alti-

↓

Nella forma inversa si scambiano le due funzioni esterne



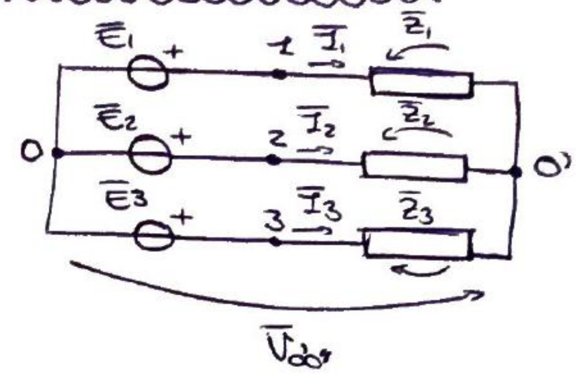




Non ho accesso al morsetto 0, e quindi non posso calcolare E_1, E_2 e E_3-

- Se le tre impedenze sono uguali in MODULO e FASE, il sistema è detto EQUILIBRATO -

CIRCUITO STELLA - STELLA

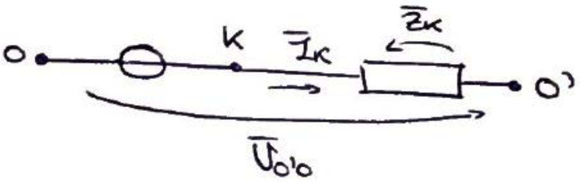


- La struttura è formata da tre LATI, o CIRCUITI DI FASE, collegati in parallelo tra 0 e 0' -

↓

USO MILLMANN

$$\overline{V}_{00'} = \frac{\frac{\overline{E}_1}{\overline{Z}_1} + \frac{\overline{E}_2}{\overline{Z}_2} + \frac{\overline{E}_3}{\overline{Z}_3}}{\frac{1}{\overline{Z}_1} + \frac{1}{\overline{Z}_2} + \frac{1}{\overline{Z}_3}}$$



$$\overline{E}'_K = \overline{E}_K - \overline{V}_{00'} \Rightarrow \overline{I}_K = \frac{\overline{E}'_K}{\overline{Z}_K}$$

$$\Rightarrow \boxed{\overline{I}_K = \frac{\overline{E}_K - \overline{V}_{0'0}}{\overline{Z}_K}} \quad K = 1, 2, 3, \dots$$

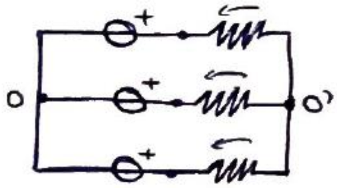
Ex.

$E = 230\ V$

$R_1 = 1000\ \Omega$

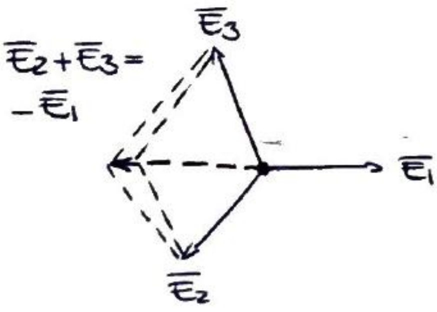
$R_2 = 1\ \Omega$

$R_3 = 1\ \Omega$

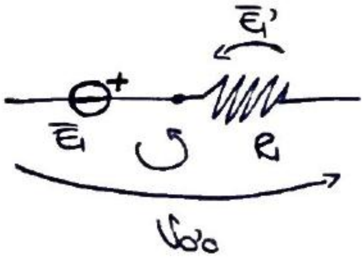


$$\overline{V}_{0'0} = \frac{\frac{\overline{E}_1}{1000} + \frac{\overline{E}_2}{1} + \frac{\overline{E}_3}{1}}{\frac{1}{1000} + 1 + 1} \approx \frac{\overline{E}_2 + \overline{E}_3}{1+1} = \frac{\overline{E}_2 + \overline{E}_3}{2} = \frac{230\, e^{-j\frac{2}{3}\pi} + 230\, e^{j\frac{2}{3}\pi}}{2} =$$

$$= \boxed{-115\ V}$$



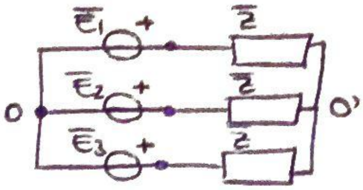
SONO GRANDEZZE VETTORIALI



$$\overline{E}'_1 = \overline{E}_1 + \overline{V}_{0'0} \Rightarrow |\overline{E}'_1| = 345\ V$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{\overline{E}'_1}{R_1} = 0{,}345\ A$$

• Trascurando l'impedenza della linea, equivale a:



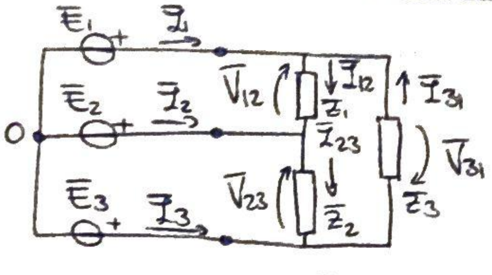
POSSO RICREARMI LOCALMENTE IL CASO PRECEDENTE.

Lez. 19

22/4/'13

STRUTTURA DEL SISTEMA DI POTENZA

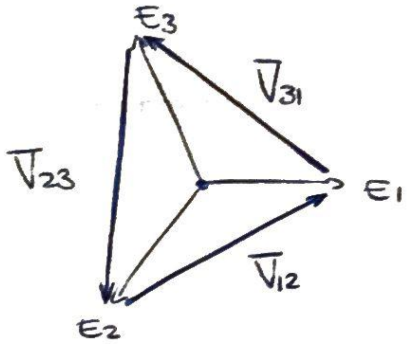
• CARICO A TRIANGOLO = Millman non ha più nessun potere, non sono collegati tutti in parallelo a due nodi.

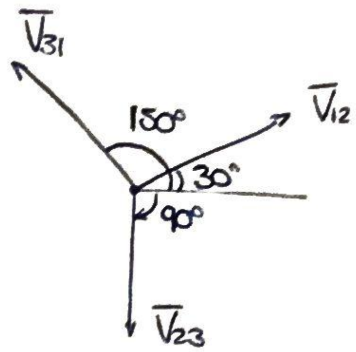


Ogni impedenza è direttamente collegata con due morsetti, posso notare che le correnti sono conoscibili.

$$\overline{I}_{12} = \frac{\overline{V}_{12}}{\overline{Z}_1} \qquad \overline{I}_{13} = \frac{\overline{V}_{13}}{\overline{Z}_3} \qquad \overline{I}_{23} = \frac{\overline{V}_{23}}{\overline{Z}_2}$$

A TRIANGOLO = ogni impedenza è sottoposta alla tensione concatenata





$$\overline{I}_1 = \overline{I}_{12} - \overline{I}_{13}$$
$$\overline{I}_2 = \overline{I}_{23} - \overline{I}_{12} \quad \longrightarrow \text{Leggi di Kirchhoff nei nodi}$$
$$\overline{I}_3 = \overline{I}_{31} - \overline{I}_{23}$$

• Note le impedenze, ricavo le correnti di collegamento (CORRENTI DI ~~LINEA~~ FASE), e da queste posso ricavare le correnti dei generatori (CORRENTI DI ~~FASE~~ LINEA).

- Se Z_1, Z_2 e Z_3 formano un carico equilibrato:

$$\overline{I}_{12} = \frac{\overline{V}_{12}}{\overline{Z}_1} = \frac{V e^{j30°}}{Z e^{j\theta}} = \frac{V}{Z} e^{j(30°-\theta)}$$

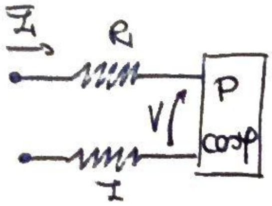
$$\overline{I}_{23} = \frac{\overline{V}_{23}}{\overline{Z}} = \frac{V e^{-j90°}}{Z e^{j\theta}} = \frac{V}{Z} e^{j(-90°-\theta)}$$

- Uso del sistema trifase è molto comune, perché ha una maggiore efficienza nella trasmissione della energia, una componente attiva della potenza istantanea costante e utilizzo efficace nei sistemi elettrotecnici.

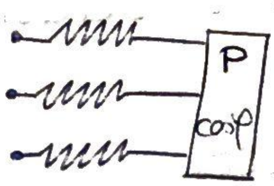
CONFRONTO LINEE DI TRASMISSIONE

- Posso confrontarli a parità di parametri costitutivi.
- Si suppone che alla fine della linea ci siano gli stessi valori di $V, P, \cos\varphi$.

mono



tri



$$R_1 = \rho \frac{\ell}{S_1}$$

$$R_3 = \rho \frac{\ell}{S_3}$$ → posso solo cambiare sezione

$$P_{linea\,1} = 2\rho \frac{\ell}{S_1} I_1^2 = \boxed{2\rho \frac{\ell}{S_1}\left(\frac{P}{V\cos\varphi}\right)^2}$$

$$P_{linea\,3} = 3\rho \frac{\ell}{S_3} I_3^2 = 3\rho \frac{\ell}{S_3}\left(\frac{P}{\sqrt{3}\,V\cos\varphi}\right)^2 = \boxed{\rho \frac{\ell}{S_3}\left(\frac{P}{V\cos\varphi}\right)^2}$$

- A parità di sezione, le perdite del monofase sono il doppio di quella trifase.

▷ Se impongo che siano uguali:

$$\frac{2}{S_1} = \frac{1}{S_3}$$ ⟹ Sezione linea monofase dev'essere il DOPPIO di quella trifase.

↳ $\boxed{S_1 = 2S_3}$

Volume totale:

$$V_{cond\,1} = 2S_1 \ell = 4S_3 \ell$$

$$V_{cond\,3} = 3S_3 \ell$$ ⟶ $\boxed{\frac{V_{cond\,3}}{V_{cond\,1}} = \frac{3}{4}}$ (risparmio quasi il 25%)

Lez. 20

23/4/'13

SICUREZZA ELETTRICA

- Studia gli aspetti legati alla prevenzione e all'attenuazione dei danni dovuti a utilizzi impropri dell'elettricità.
  - Conoscenze ingegneristiche
  - Conoscenze pratiche e giuridiche

- La pericolosità viene valutata in base a:
  - tempo (ciò che era accettabile 20 anni fa non lo è più)
  - luogo (paesi diversi hanno differente concezione di pericolo)

- Sono comunque indicatori di sicurezza:
  - Tasso di guasto (numero di guasti nell'unità di tempo)
  - Conseguenza del danno provocato da un guasto (concetto di affidabilità)

- Oltre alla sicurezza, altri criteri sono il costo del dispositivo, la semplicità di fabbricazione ... Spesso per trovare un compromesso serve una regolamentazione da parte di una serie di norme di carattere tecnico. Queste leggi possono essere formulate dallo stato o da organi competenti.

- Le leggi nazionali hanno un iter approvativo lungo e sono difficili da mutare. Inoltre, devono esserci leggi simili tra i vari paesi per garantire lo scambio commerciale.

IEC (Commission Electrotechnique Internationale) = a livello mondiale
↳ da standards elettrici

CENELEC = a livello europeo

CEI (Commissione Elettrotecnica Italiana) = a livello italiano, ma spesso sono contenute all'interno delle normative internazionali, in conformità con il mondo.

- Le installazioni tecniche devono essere fatte "a regola d'arte"
- Le installazioni tecniche realizzate mediante le norme CEI sono "a regola d'arte"

(legge n. 186 del 1968)

- Anche nel caso pericoloso, negli istanti di tempo precedenti al raggiungimento di quella temperatura assume valori accettabili -

Dato un certo valore massimo di T sostenibile dal cavo, definisco come **PORTATA** del cavo il valore di corrente che, a regime costante, mantiene il cavo in zona di sicurezza -

→ dipende dalla sezione, ma anche dalla condizione di posa -

$\boxed{\text{SOVRACORRENTE}}$

- La corrente nominale e le condizioni di posa sono date dal problema - Se supero il valore di corrente, creo un pericolo tanto maggiore quanto maggiore è il tempo in cui scorre - È detta SOVRACORRENTE -

SOVRACORRENTE
- corrente di sovraccarico = $I_N < I_a < 8 I_N$ (over load)
  valore tra 1 e 8 volte la corrente nominale
- corrente di cortocircuito = corrente che passa in un circuito il cui isolamento sia danneggiato - Può raggiungere valori da 10 a 20 volte la corrente nominale -

- DISPOSITIVI DI SICUREZZA: devo interrompere il passaggio di sovracorrente prima che danneggi il sistema -

- Possono essere interruttori automatici formati da:
  - Un sensore che deve valutare le condizioni del sistema e inviare un segnale in caso di situazione pericolosa
  - Un interruttore di potenza capace di interrompere la corrente indipendentemente dal valore elevato e dalla presenza di componenti induttivi sulla linea - (RELAIS)

- Per garantire la CONTINUITÀ DEL SERVIZIO devono intervenire solo in caso di reale pericolo e il più vicino possibile alla fonte del guasto -

- Altro tipo sono interruttori termici:
  - Accettano valori superiori alla portata solo per tempi inferiori al raggiungimento della temperatura limite - Fino a $I = 8 I_N$ -
  - Monitora lo stato termico del sistema -

Lez. $\boxed{21}$ (dopo Roma!! ☺)

29/4/'13

SICUREZZA DELLE PERSONE

- Spesso la pericolosità dei sistemi elettrici domestici é sottostimata.
- Lo shock elettrico é una delle cause di incidenti a livello industriale e domestico.
- Al fine di valutare la pericolosità delle installazioni vanno valutati gli effetti elettrici sul corpo umano.
  - I tessuti umani sono conduttivi, sottoposti a una tensione permettono il passaggio di corrente.
  - Una corrente che circola crea danno perché interferisce con le correnti fisiologiche presenti nell'organismo.

- I muscoli subiscono conseguenze diverse a seconda di:
  - intensità
  - percorso
  - durata

  della corrente.

EFFETTI BIOLOGICI DELLE CORRENTI

- Tetanizzazione = corrente crea contrazioni muscolari non controllate
- Asfissia = in caso di perdita di controllo dei muscoli del torace, la respirazione può venire compromessa.
- Fibrillazione ventricolare = il cuore é un muscolo molto reattivo agli stimoli elettrici ed il suo funzionamento é regolato da un organo nervoso detto nodo seno-atriale.

In caso di asfissia, il fenomeno é REVERSIBILE, nel caso della fibrillazione é IRREVERSIBILE a volte, l'obiettivo é evitare l'innesto del fenomeno.

↳ al max uso defibrillatore

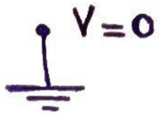
- Ustioni: il riscaldamento dovuto all'effetto Joule é molto pericoloso perché il calore generato viene rilasciato all'interno del corpo.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 87 di 90

TT

- POTENZIALE DI TERRA: in assenza di correnti si pone che le parti conduttive a riposo abbiano potenziale nullo, siano cioè al potenziale di terra.

- Se un punto del circuito è collegato al terreno, i suoi potenziali sono riferiti al potenziale di terra.



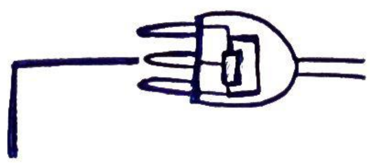
- RESISTENZA DI TERRA: in caso di mancato isolamento, la terra viene percorsa da corrente e non ha più potenziale nullo.

CIRCUITO DI GUASTO A TERRA = un difetto di isolamento verso terra crea un circuito a terra che può interessare la persona.

può difenderci un interruttore termomagnetico?

No, perché la corrente, pur letale, è molto piccola, l'interruttore non la considera pericolosa.

- Serve un interruttore DIFFERENZIALE, che non si basa su un valore di corrente, ma bensì su una differenza della stessa.



INTERRUTTORE SALVAVITA = se c'è un guasto, la corrente passa nel centro, fa "scattare" il salvavita.