



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 431

DATA : 10/12/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Pecoriello

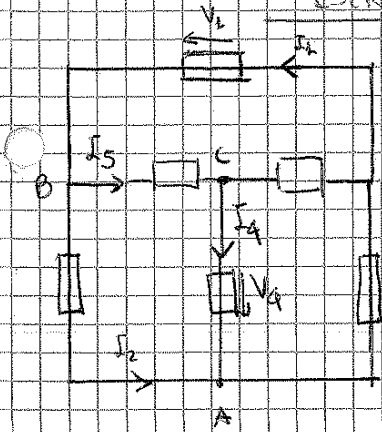
MATERIA : Elettrotecnica, Impianti Elettrici + Eserc
Prof. Tommasini_Freschi

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

ESERCIZI CAPITOLO 1



$$\left. \begin{aligned} V_4 &= 7V \\ V_5 &= 9V \\ V_6 &= 8V \end{aligned} \right\} \begin{aligned} I_3 &= 6A \\ I_5 &= 8A \\ I_6 &= 7A \end{aligned}$$

per le tensioni valgono le seguenti regole (KVL):

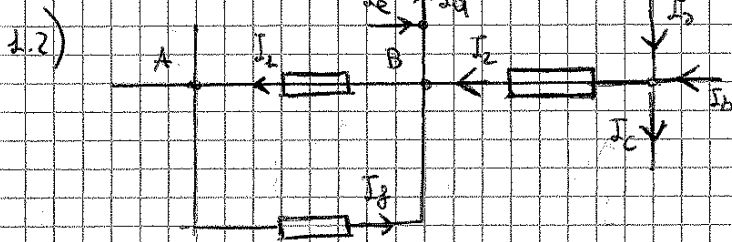
- $V_2 = V_5 - V_4 = 9 - 7 = 2V$
- $V_3 - V_4 + V_6 = 0$
 $V_3 = V_4 - V_6 = 7 - 8 = -1V$
- $V_1 = V_2 + V_6 = 2 + 8 = 10V$

Per le correnti:

• $I_4 = I_5 + I_3 = 8A + 6A = 14A$

$-I_2 + I_4 - I_5 = 0 \rightarrow I_2 = I_4 + I_5$
 $I_2 = 14A + 8A = 22A$

$I_1 = I_6 + I_5 = 8A + 7A = 15A$

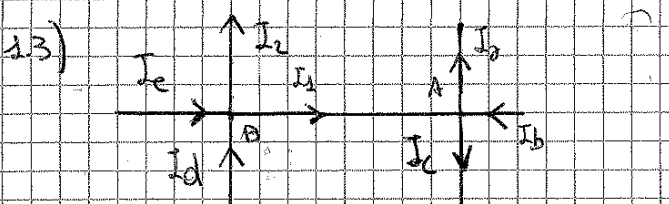


→ ENTRANTI SOMMO
→ USCENTI SOTTRAGGO

$$\left\{ \begin{aligned} I_1 &= 8A \\ I_2 &= -2A \\ I_3 &= 5A \\ I_4 &= -6A \\ I_5 &= 8A \\ I_6 &= 10A \end{aligned} \right.$$

NODO B: eq. $I_7 - I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$
 $I_2 = I_7 + I_3 - I_4 + I_5 = 2 + 10 - 6 + 8 = 25A$

NODO C: $-I_2 + I_3 + I_6 - I_8 = 0$
 $I_2 = I_3 + I_6 - I_8 \rightarrow I_2 = 8A - 2A - 5A = 1A$



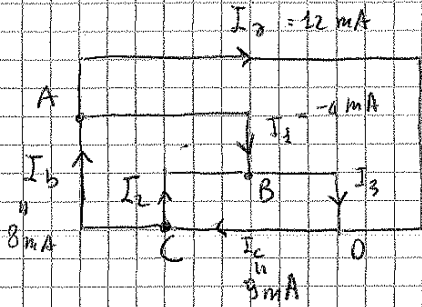
sono dati:

$$\left\{ \begin{aligned} I_1 &= 4A \\ I_2 &= -3A \\ I_3 &= 2A \\ I_4 &= 5A \\ I_5 &= -6A \end{aligned} \right.$$

nodo A: $I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0; I_5 = I_1 + I_2 - I_3 = 4 + 3 - 2 = 5A$

nodo B: $-I_2 + I_3 - I_4 = 0 \rightarrow I_2 = I_3 - I_4 = 5A - 6A = -1A$

1.6.) Dato circuito, calcolare I_1, I_2, I_3
 $I_2 = 12 \text{ mA}$ $I_b = 8 \text{ mA}$ $I_c = 9 \text{ mA}$



node A $\Rightarrow -I_2 + I_b - I_1 = 0$

$I_1 = 8 - 12 = -4 \text{ mA}$

node C $\Rightarrow I_c - I_b + I_2 = 0$

$I_2 = I_c - I_b = 9 \text{ mA} - 8 \text{ mA} = 1 \text{ mA}$

node B $\Rightarrow -I_3 + I_2 + I_1 = 0$

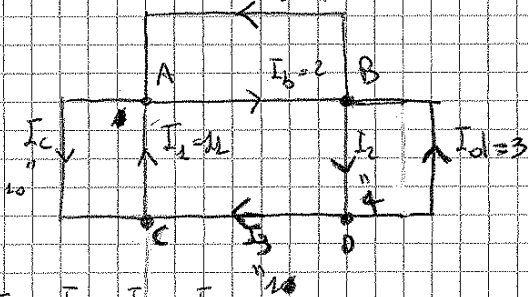
$I_3 = I_2 + I_1 = -4 \text{ mA} + 1 = -3 \text{ mA}$

equazione di verifica al nodo B: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

$-4 \text{ mA} + 1 + 3 = 0$

K.V.O.

1.7.)



$\rightarrow I_1, I_2, I_3 ?$

$$\begin{cases} I_1 = 1 \text{ A} \\ I_2 = 2 \text{ A} \\ I_3 = 10 \text{ A} \\ I_4 = 3 \text{ A} \end{cases}$$

node A $I_1 + I_2 - I_b - I_c = 0$

$I_1 = I_b + I_c - I_2 = 2 + 10 - 2 = 10 \text{ A}$

node C: $I_c - I_1 + I_3 = 0$ $I_3 = I_1 - I_c = 10 - 10 = 0 \text{ A}$

node O: $-I_3 + I_2 - I_4 = 0$

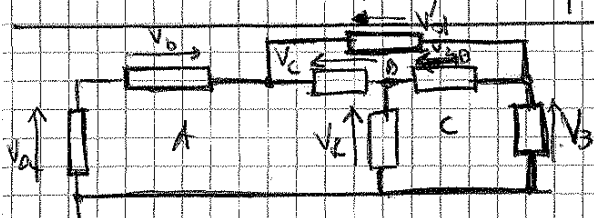
~~node B~~ $I_2 = I_3 + I_4 = 3 + 1 = 4 \text{ A}$

eq. verifica \rightarrow node A) $1 - 10 - 2 + 10 = 0$

node B) $-1 + 2 + 3 - 4 = 0$

node C) $10 - 10 + 0 = 0$

node O) $-0 + 4 - 3 = 0$



ES. 1.8

\rightarrow calcolare V_1, V_2, V_3

$$\begin{cases} V_0 = 20 \text{ V} \\ V_b = 25 \text{ V} \\ V_c = 10 \text{ V} \\ V_1 = 25 \text{ V} \end{cases}$$

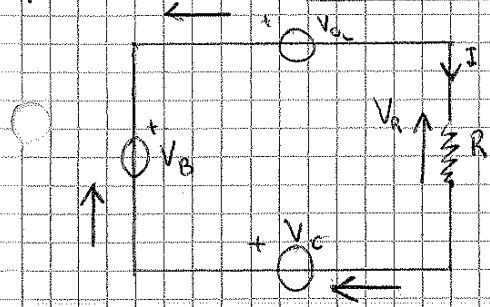
maglia B: $V_0 + V_2 - V_c = 0$
 $V_2 = V_0 - V_c = 20 - 10 = 10 \text{ V}$

maglia A: $V_0 + V_b - V_c - V_1 = 0$
 $V_1 = V_0 + V_b - V_c = 20 + 25 - 10 = 35 \text{ V}$

maglia C: $V_2 + V_1 - V_3 = 0$ $V_3 = V_2 + V_1 = 10 + 20 = 30 \text{ V}$

ESERCIZI CAPITOLO 2

4)



- $V_a = 10V$
- $V_b = 12V$
- $V_c = -8V$
- $R = 3\Omega$

il + da un lato, anche il meno
in cui lo considero positive

È nota la potenza dissipata dal Resistor $R \rightarrow P_R$

• Devo applicare la legge di Kirchhoff delle tensioni alla maglia in corso

$$V_a - V_b - V_c + R \cdot I = 0$$

$$I = \frac{-V_a + V_b + V_c}{R} = \frac{-10V + 12V - 8V}{3} = -2A$$

Esso la potenza dissipata da un punto pari alle corrente per la tensione ai suoi capi (nella convenzione di utilizzatore), si ha

$P_R = V_R \cdot I = R \cdot I^2 = 3\Omega \cdot (-2A)^2 = 12W$

• da potenza fruite dai generatori è pari al prodotto della tensione ai capi del generatore per la corrente che lo attraversa, ma nelle convenzioni di utilizzatore, quindi

$P_a = V_a \cdot I = 10V \cdot (-2A) = -20W$

$P_b = V_b \cdot I = 12V \cdot (-2A) = -24W$

$P_c = V_c \cdot I = -8V \cdot (-2A) = 16W$

Convenzione: considero la convenzione degli utilizzatori ricordando che se la tensione entra dal verso detto negativo, prendo il valore negativo, mentre se entra dal polo positivo ho il valore positivo.

• Si verifica infine che la somma algebrica delle potenze fruite dai generatori al circuito è uguale alla somma algebrica delle potenze dissipate.

$P_a + P_b + P_c = -20W - 24W + 16W = -28W = -P_R$
procedimento

- 1) studio le convenzioni di segno con la convenzione degli utilizzatori
- 2) applico la regola della maglia (curva od ohm): per trovare la I.
- 3) trovo la potenza con la formula della potenza dissipata dai resistori
- 4) trovo ciascuna potenza
- 5) verifico che le potenze sommate quadrino con la somma

$$V_0 = E \cdot \frac{R_3 \parallel R_4}{(R_1 + R_2) + R_3 \parallel R_4} = 58V \cdot \frac{40\Omega \parallel 20\Omega}{(70\Omega \parallel 30\Omega) + (40\Omega \parallel 20\Omega)}$$

$$= 58V \cdot \frac{8}{21 + 8} = 16V$$

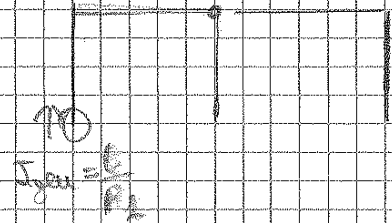
b. necessità i_1 e i_3

$$i_1 = \frac{E - V_0}{R_1} = i_2 = \frac{58V - 16V}{70\Omega} = 0,6A$$

$$i_3 = i_3 = \frac{V_0}{R_3} = \frac{16V}{40\Omega} = 0,4A$$

per le correnti considero i nodi
scelta per le tensioni considero
il nodo

per i_1



tensione $V_1 = E - V_0$

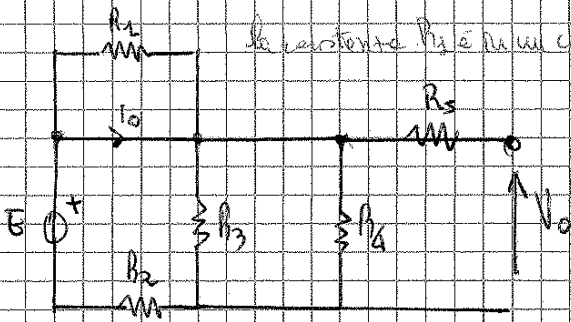
che deriva da $V_1 - E + V_0 = 0$

non voglio la corrente quadruplicata per R

per $i_3 \rightarrow$

$$-i_0 - i_3 + i_1 = 0 \rightarrow i_0 = i_1 - i_3 = 0,6 - 0,4 = \underline{\underline{0,2A}}$$

2.4) la costante R_5 è un corto circuito



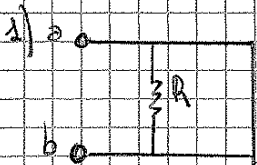
È probabile che R_5 sia un corto circuito
quando non è collegato a nulla
ed un circuito aperto quando è collegato

$$i_0 = \frac{E}{R_2 + (R_3 \parallel R_4)} = \frac{20V}{20\Omega + (30\Omega \parallel 60\Omega)} = \frac{20V}{20 + 20} = 0,5A$$

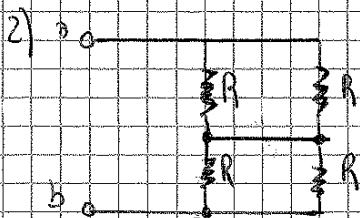
$$V_0 = i_0 (R_3 \parallel R_4) = 0,5 \cdot (30\Omega \parallel 60\Omega) = 0,5 \cdot 20 = 10V$$

non connedo circuito su R_5 , la tensione V_0 è uguale quella del parallelo $R_3 \parallel R_4$

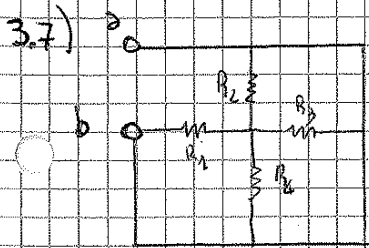
ESERCIZI CAPITOLO 3



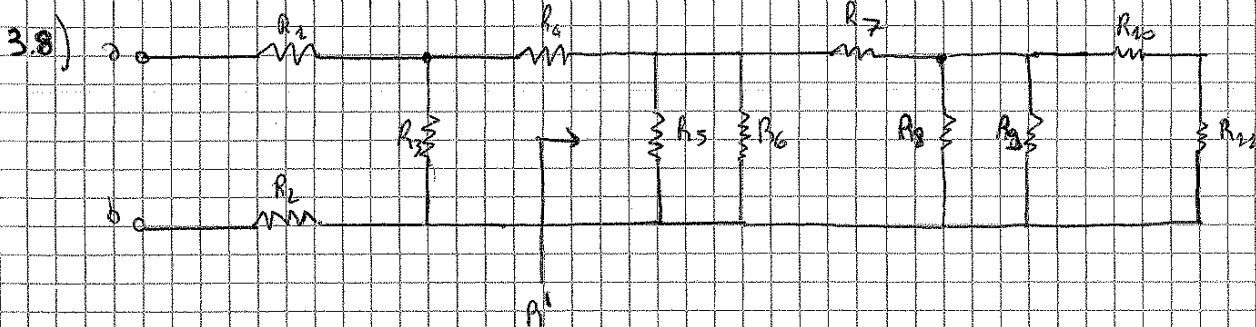
Dato il circuito determinare la resistenza equivalente R_{ab} tra i
nodi a e b: la resistenza R è in parallelo al circuito aperto
quindi $R_{ab} = 0$



SOLUZIONE: $R_{ab} = (R \parallel R) + (R \parallel R) = \frac{R}{2} + \frac{R}{2} = R$



3.7) a b appare uguale al sistema vuoto quindi
 $\rightarrow R_{ab} = 0$



metodo 1:

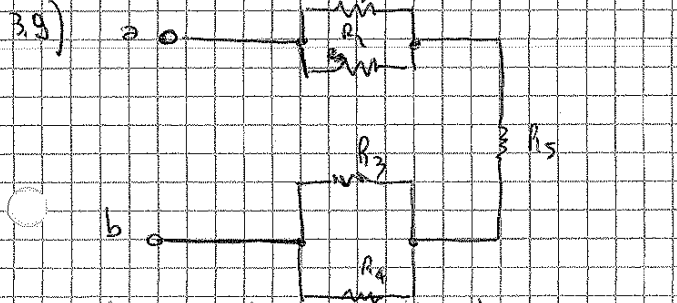
$$R' = (R_{11} + R_{10}) \parallel R_9 \parallel R_8 = (11 + 9) \parallel \frac{5 \cdot 9}{14} = 22$$

$$\frac{(11+9) \parallel (5 \cdot 9)}{4} = 2 \Omega$$

$$R'' = (R' + R_7) \parallel R_6 \parallel R_5 = (2 + 8) \parallel (20 \Omega) \parallel 20 \Omega = 10 \Omega \parallel 20 \Omega \parallel 20 \Omega = 5 \parallel 20 = \frac{100}{25} = 4 \Omega$$

in alternativa: Posizione tra 2 metodi

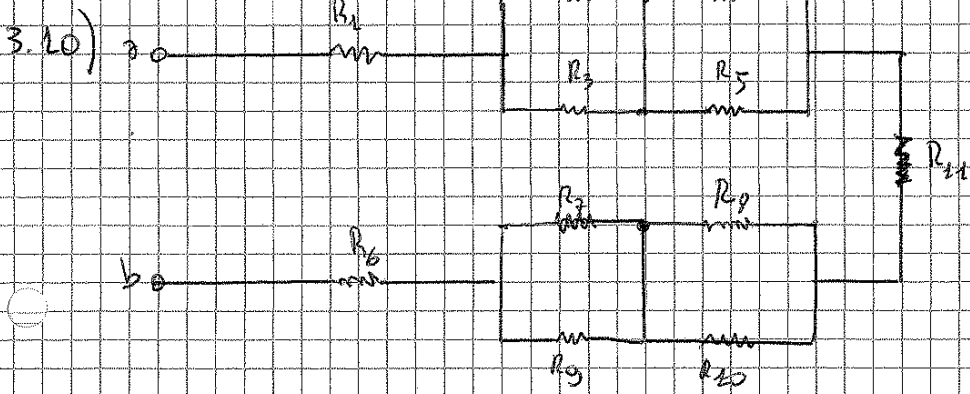
$$R_{ab} = \left[(R' + R_4) \parallel R_3 \right] + R_2 + R_1 = \left[(4 + 6) \parallel 25 \right] + 4 + 5 = 15 \Omega$$



- $R_1 = 30 \Omega$
- $R_2 = 30 \Omega$
- $R_3 = 60 \Omega$
- $R_4 = 20 \Omega$
- $R_5 = 40 \Omega$

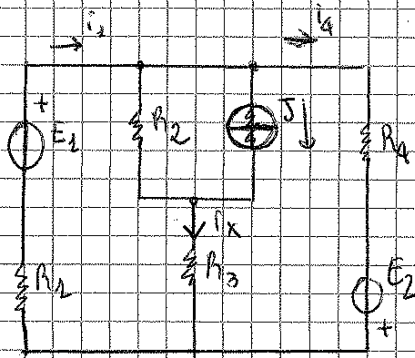
$$R_{ab} = (R_1 \parallel R_2) + (R_3 \parallel R_4) + R_5 \Rightarrow R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{ab} = 21 + 15 + 40 = 76 \Omega$$



$$R_{ab} = R_1 + (R_2 \parallel R_3) + (R_4 \parallel R_5) + R_6 + R_{11} = 8 + 12 + 24 + 4 + 6 = 54 \Omega$$

5.2)



Dati:

- $R_1 = 4 \Omega$
- $R_2 = 2 \Omega$
- $R_3 = 6 \Omega$
- $R_4 = 8 \Omega$
- $E_1 = 40 \text{ V}$
- $E_2 = 32 \text{ V}$
- $J = 2 \text{ A}$

tes: i_x ? P_x ?

- Spingo J e E_2 insieme E_1
calcolo i_x i_2 = corrente che ricade sul lato sup

$$i_2 = \frac{E_2}{R_1 + [(R_2 + R_3) \parallel R_4]} = \frac{40 \text{ V}}{4 + [8 \parallel 8]} = 5 \text{ A}$$

i_x' = partitore di corrente

$$i_x' = i_2 \frac{R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = 5 \text{ A} \cdot \frac{8 \Omega}{2 \Omega + 6 \Omega + 8 \Omega} = 2,5 \text{ A}$$

→ imposto il calcolo i_x la maglia dx perché il nodo sotto R_3 è raggiunto da dx e da xx, e R_3 e R_4 sono in parallelo quindi posso calcolare solo il parallelo e usare quella resistenza

- Spingo E_1 ed E_2

$$i_x'' = J \frac{R_2}{R_2 + R_3 + (R_1 \parallel R_4)} = 2 \text{ A} \cdot \frac{2 \Omega}{2 \Omega + 6 \Omega + (4 \Omega \parallel 8 \Omega)} = 0,375 \text{ A}$$

- Spingo J e E_1

$$i_x''' \rightarrow \text{prima calcolo } i_4: i_4 = \frac{E_1}{R_4 + (R_2 \parallel (R_3 + R_1))} = 3 \text{ A}$$

$$i_x'' = -i_4 \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = -3 \text{ A} \cdot \frac{4 \Omega}{4 + 2 + 6} = -1 \text{ A}$$

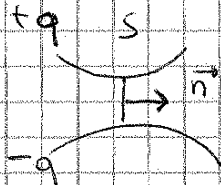
$$i_x = 2,5 + 0,375 - 1 = 1,875 \text{ A}$$

$$P_x = R_3 \cdot i_x^2 = 6 \cdot 1,875^2 = 21,1 \text{ W}$$

- Elettrotecnica -

Prima lezione 4/10/2011

CORRENTE:



l'oggetto (o conduttore) in grado di far fluire di elettroni

= significa due cariche di segno opposto attraverso una superficie orientata del verso n: la superficie è detta sup di attraversamento

S = Superficie di Attraversamento

convenzione: attraversamento della carica (positiva) con verso concorde alla normale

$$q_n(t) = +(+q) - (+q_2) + (-q_3) - (-q_4) = \text{CARICA NETTA}$$

carica usata e la somma di esse (con segno)
il primo segno segno della carica
definisce il verso di attraversamento

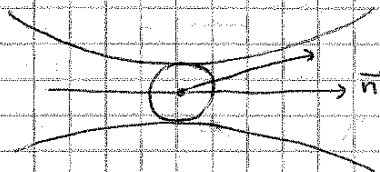
$$i(t) = \text{corrente elettrica} = \frac{dq}{dt}$$

(definita nel tempo)

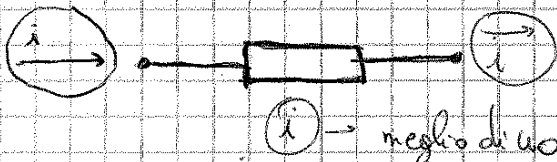
devo contare il segno globale come una operazione normale

$$\rightarrow [i] = \text{ampere}$$

$$1A = \frac{1C}{1s} = \frac{C}{s} \quad \text{unità di misura}$$



representazione grafica



notazione valida

→ convenzione:

definisce modo dei

morsetti come (+)



quello che serve come il verso di circolazione

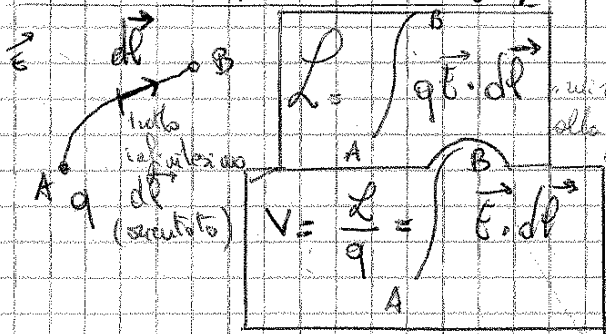
si stabiliscono per definire il segno del valore richiesto

Nel generico componente qualsiasi sezione considero, i non deve cambiare (grandezze non in funzione coord. spaziali)

TENSIONE (non a caso segni):

$v(t) = \text{tensione}$

$$[V] = V = \text{volt}$$



si stabiliscono per definire il segno del valore richiesto

→ lavoro all'interno di un campo conservativo

• Convenzione degli utilizzatori: la corrente entra nel morsetto "puntato" dalla freccia della tensione. Apparecchi utilizzatori / apparecchi generatori

• Convenzione dei generatori: la corrente esce dal morsetto "puntato" dalla freccia della tensione. calcolo della potenza

$$P = V \cdot i$$

potenza Assorbita dal bipolo: ha segno, cioè se è

\oplus sta assorbendo la potenza

potenza \ominus , anche una potenza negativa, ovvero

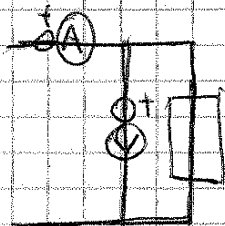
sta emettendo potenza nel circuito

Se studiamo il bipolo con la convenzione degli utilizzatori il prodotto:

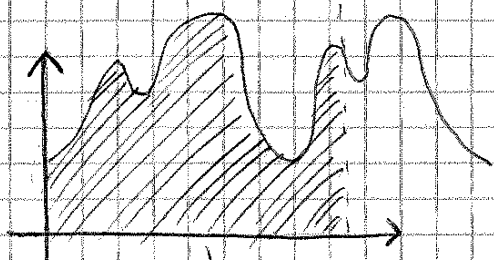
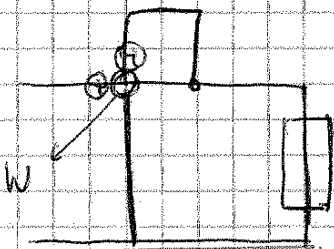
$p(t) = v(t) \cdot i(t)$ indica la potenza assorbita dal bipolo

quindi $p(t) = v(t) \cdot i(t) \gtrless 0$ la potenza può avere segno \pm

$[P] = W = \text{Watt} = \underline{V \cdot A} = \underline{v(t) \cdot i(t)}$ misura contemporanea di corrente e tensione



voltmetro } misura contemporanea
 → amperometro



$$E = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt$$

integrale della potenza in un intervallo di tempo

l'energia è l'itarea della potenza nel tempo (emendo una quadrato obliqua)

Equazione costitutiva

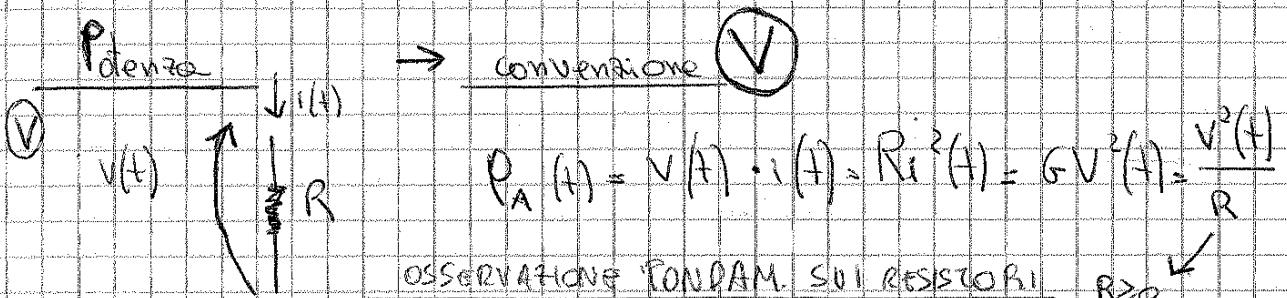
- bipoli → lineari: parametri dipendenti sul tempo

- legame tra tensione e corrente (legame corrente tensione)

$$v(t) = (i; t)$$

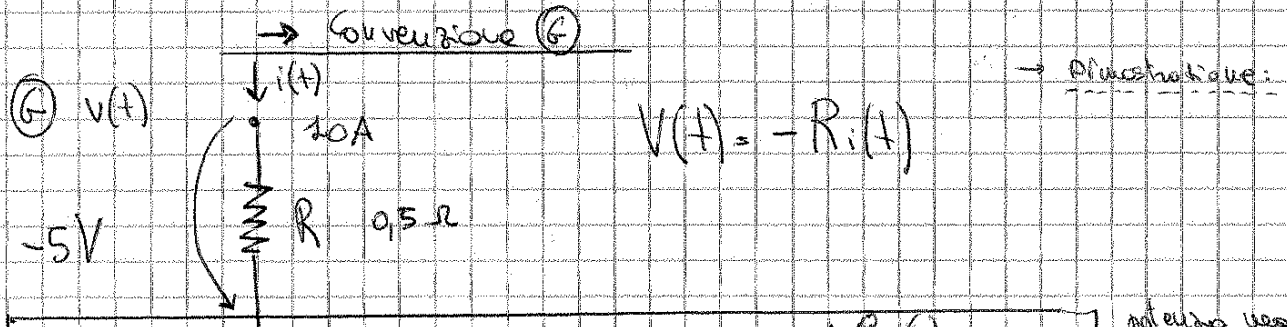
$$v \rightarrow i \quad (i \rightarrow v)$$

$$i(t) = (v; t)$$



$R > 0$ sempre (in un resistore): quindi il resistore è sempre in grado di assorbire potenza e mai di fornirla.

OSSERVAZIONE FONDAM. SUI RESISTORI $R > 0$



→ Alimentazione:

$P(t) = v(t) \cdot i(t) = -Ri^2(t) = -Gv^2(t) = -\frac{v^2(t)}{R} \leq 0$

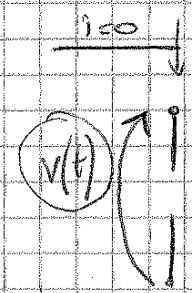
potenza negativa

ci sono casi particolari di Resistori:

con $R=0$ $G \rightarrow \infty$ $v(t) = 0$ V_i, V_e
 corto circuito → graficamente: \downarrow DEFINIZIONE DI CIRCUITO CORTO
 per ogni valore di $i(t)$ la $R=0$, con $v=0$ o il contrario

con $G=0$ $(R \rightarrow \infty)$ $i(t) = 0$ V_i, V_e
 circuito aperto

INTERPRETAZIONE: è la soluzione che prende ~~il~~ entrambi i cost. alternativamente



- Eg. costitutive:
- resistore
 - condensatore
 - induttore
 - gen. tensione
 - gen. corrente

- Eg. Topologiche:
- LKC
 - LKT
 - Soluzione dei circuiti elettrici

LEZIONE ELETTA. 6-10-2011

Potenza - Energia:

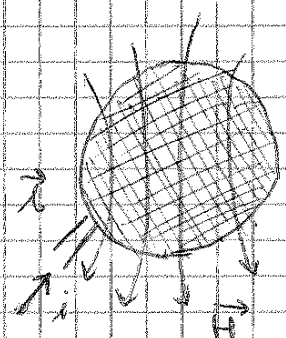
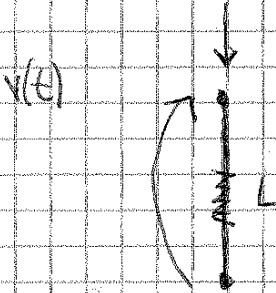
$$P_A(t) = v(t) i(t) = < v(t) \cdot \frac{dv(t)}{dt} > > < 0$$

$$E = \int P(t) dt = \frac{1}{2} C v^2(t) \geq 0 \quad (\text{sempre}) \quad \forall t$$

Il condensatore per fornire energia al circuito

→ Si dice in generale che il componente fornisce energia positiva

Induttore:



$$\mu = \mu_r \mu_0$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\phi = f(i)$$

ferro magnetico

L : induttanza $[L] = H = \text{Henry}$

$$\phi = L i$$

$$v = \frac{d\phi}{dt} = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

L : induttanza

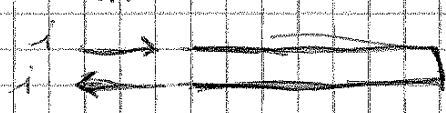
$$[L] = H = \text{henry}$$

$$i(t) = i_0 + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(t') dt'$$

il segno dell'equazione dipende dal verso

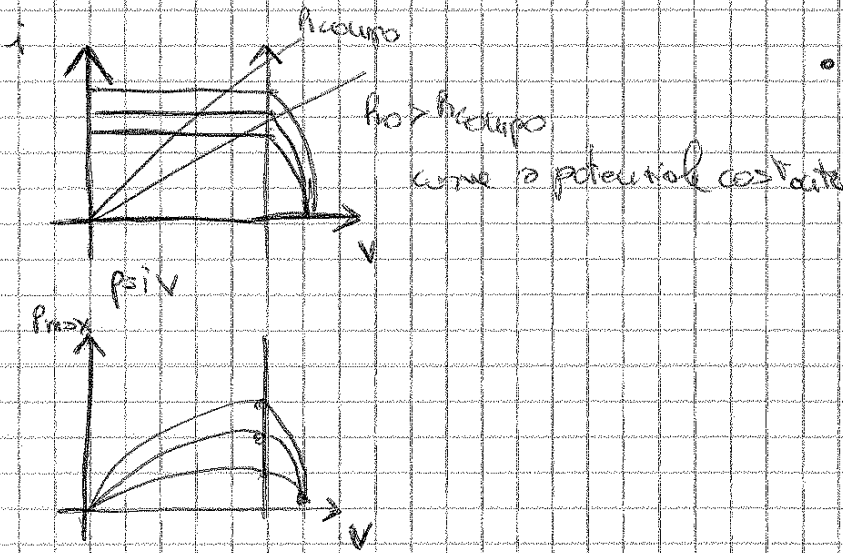
$$P_A(t) = v(t) i(t) = L i(t) \cdot \frac{di(t)}{dt} > < 0$$

$$E(t) = \frac{1}{2} L i^2(t)$$



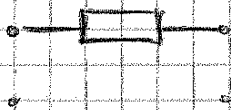
resistive (2 tipi)

→ fuso
parametro presente in circuiti elettrici



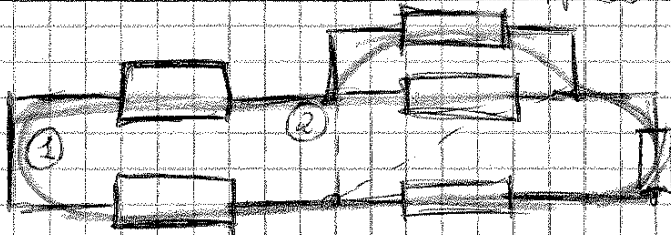
• Cambio invecchiamento per i pannelli fotovoltaici (curve di potenza)

Eq. TOPOLOGICHE



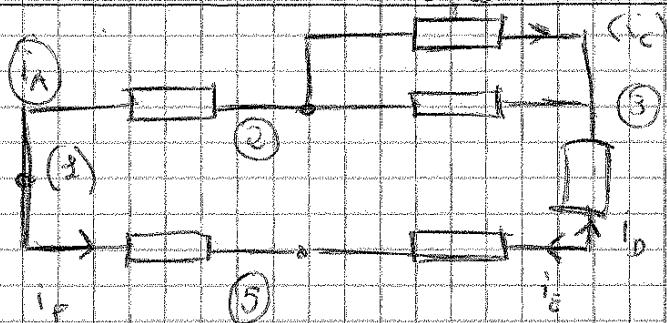
MODI DI UN CIRCUITO: il numero, ovvero il numero cui si collegano $2n$ bipoli (N)

Botto (L): connessione fra due nodi che appoggia su un bipole



L'insieme dei bipoli n
 $n_{bipoli} = 5000 (G)$

LC (Legge di Kirchhoff delle correnti): in un circuito elettrico la somma algebrica delle correnti che attraversano una superficie qualunque chiusa e orientata è nulla in ogni istante



partitore di Corrente:



• Poiché tensione iniziale che fluisce alle spalle delle due resistenze, che viene ripartita lungo le 2 resistenze

Conosco: $R_1, R_2, i \Rightarrow$ Trovo i_1, i_2

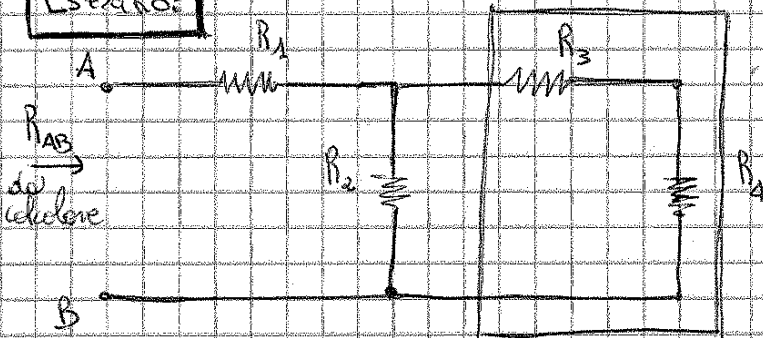
$$V = R_p \cdot i$$

$$i_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{R_2 R_p}{R_1 + R_2} i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i$$

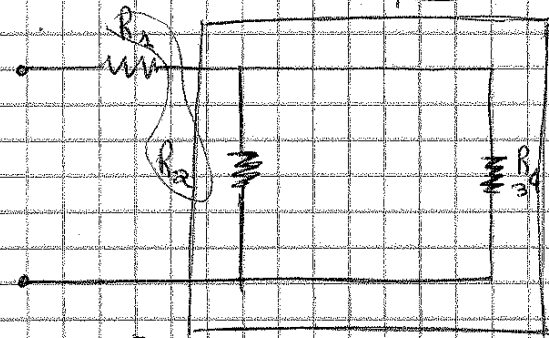
$$i_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{R_1 R_p}{R_1 + R_2} i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i$$

$$i = \frac{\left(\sum_{k=1}^N \frac{1}{R_k} \right)^{-1}}{R_j} i = \frac{1}{\sum_{k=1}^N \frac{1}{R_k}} i$$

Esercizio



FASE 1: ridotti fra loro sommo di resistenze
 $R_{34} = R_3 + R_4$



$$R_{34} = R_3 + R_4$$

FASE 2 $R_2 \parallel R_{34}$ nuovo il parallel

$$R_{234} = R_{34} \parallel R_2 = (R_3 + R_4) \parallel R_2$$

FASE 3 sommo i valori

$$R_{AB} = R_1 + R_{234} = R_1 + \left[(R_3 + R_4) \parallel R_2 \right]$$

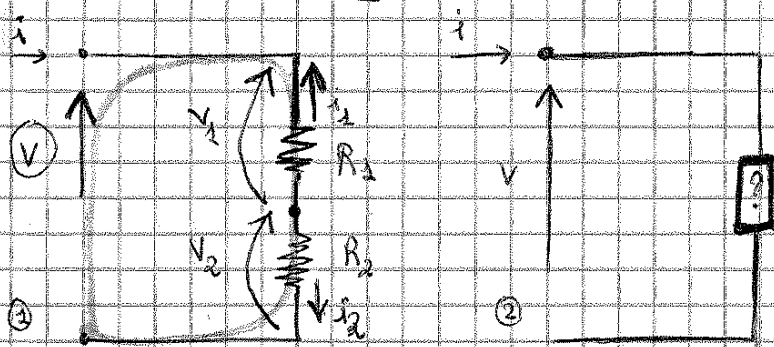
$$R_{AB} = R_{1,2,3,4}$$

Esistono formule per il passaggio da stella a triangolo



Resistori in Serie:

Voglio trovare un equivalente: cioè che ha un comportamento identico con la somma delle serie



eq. cost) $V_1 = R_1 i_1$

$V_2 = R_2 i_2$

LKC) $i_1 = i_2 = i$

LKT) \sum volti al primo percorso chiuso

$V - V_1 - V_2 = 0 \Rightarrow V = V_1 + V_2$

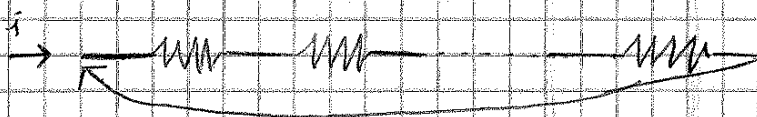
$V = V_1 + V_2 = R_1 i_1 + R_2 i_2 = (R_1 + R_2) i$

LKT
cost.
LKC

$V = (R_1 + R_2) i$

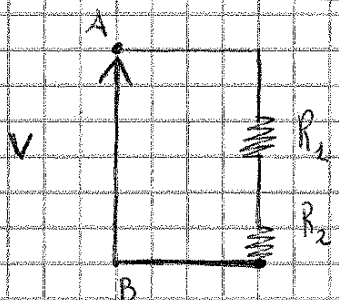
$V = R_S i$

Resistore che ha come resistenza la somma delle resit.



$V = R_S \cdot i$
 $R_S = \sum_{k=1}^N R_k$

partitore di tensione:



conosco R_1, R_2, V

• conoscenza di V

→ gen. di tensione collegata tra A e B

→ calcolo in precedenza

→ Misura

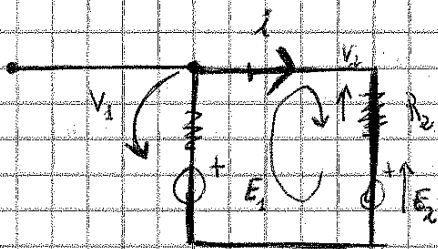
→ Parallelo di gen. di tensione:



il generatore impedisce alla tensione di variare: dovrei prima calcolare la tensione del generatore e modellare quella dei morsetti al concetto

→ Non possiamo mettere 2 generatori di tensione diversi in parallelo (se non si verificano le equazioni)
 Solo se $V = E_1 = E_2$ se $E_1 = E_2$

Il generatore ideale \times impedimento la batteria non è quello che si studia il parallelo \rightarrow (quando si studia il parallelo di 2 batterie).



$$E_1 - V_1 - V_2 - E_2 = 0$$

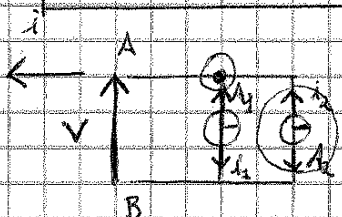
$$E_1 - R_1 i - R_2 i - E_2 = 0$$

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

Resistenza totale

caso lo si studia la tensione che fluisce su ogni } Applica Ohm

Parallelo di gen. di corrente



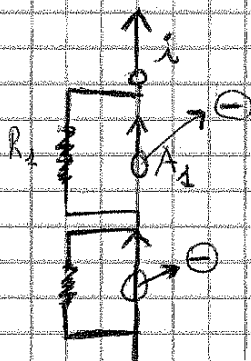
$$\begin{cases} i_1 = A_1 \\ i_2 = A_2 \end{cases}$$

$$i_1 + i_2 = i$$

$$i = A_1 - A_2$$

V_V, V_L

• Serie di gen. di corrente:



Se $A_1 \neq A_2$

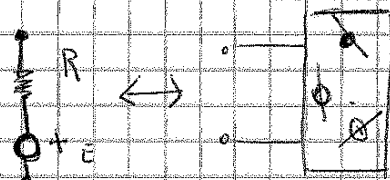
impossibile

se $A_1 = A_2$

$$i = A_1 = A_2$$

gen. tensione insieme a R:

by Thevenin



• Anzitutto L eq. costitutive

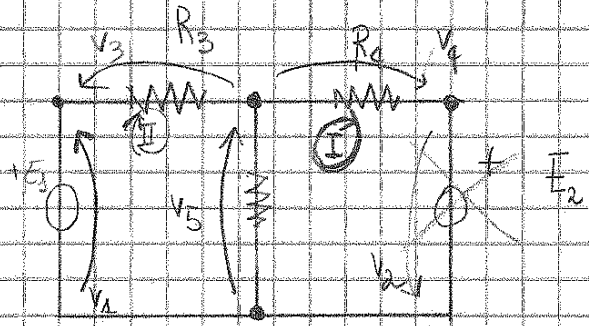
$$\left. \begin{array}{l} LKC \\ LKT \end{array} \right\} \textcircled{L} \rightarrow \left. \begin{array}{l} N-1 \\ L-N+1 \end{array} \right\} \underline{\underline{L+N-1-N-1=L}}$$

• Leggi di Kirchhoff per la rete tr:

LKC

- Ⓐ $i_1 - i_3 = 0$ ⊖
- Ⓑ $i_3 - i_4 - i_5 = 0$ ⊖
- Ⓒ $i_2 + i_4 = 0$ ⊖
- Ⓓ $-i_1 - i_2 + i_5 = 0$ ⊖

un risultato del genere
 attraverso spere:
 le eq. lu. indep.
 sono $N-1$ sempre



• sta applicando la convenzione degli effetti.

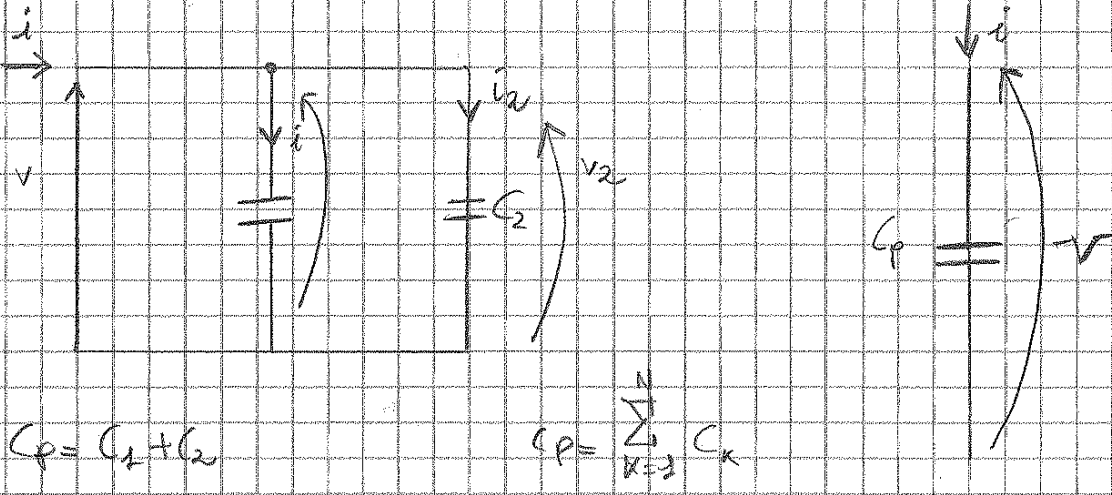
Sceliamo un elemento: quindi esso rientra nelle equazioni:

- Ⓕ $v_2 - v_4 + v_5 = 0$
- Ⓖ $v_2 - v_3 - v_5 = 0$

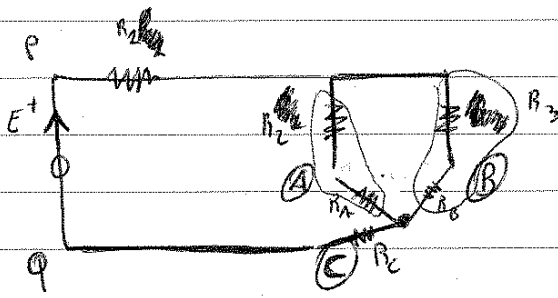
$$L - N + 1 \\ 5 - 4 + 1 = 2$$

sceliamo un elemento alla volta

- ① $v_2 = E_2$
- ② $v_2 = -E_2$ (discordanza tra v e relativa E)
- ③ $v_3 = R_3 i_3$
- ④ $v_4 = -R_4 i_4$ conv. generatore
- ⑤ $v_5 = R_5 i_5$



4-5-6



Se $R_4 = R_5 = R_6 = R_D$

$\Rightarrow R_A = R_B = R_C = R_D = \frac{1}{3} R_D$

$R_{PQ} = (R_1 + R_A) // (R_3 + R_B) + R_C + R_2$

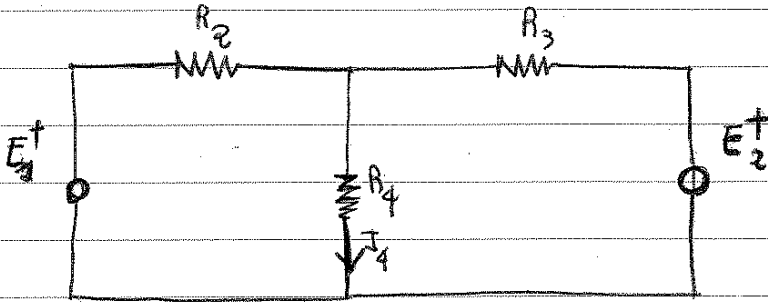
$I = \frac{E}{R_{PQ}}$

(partire da corrente: si applica quando conosco la corrente tot. e ho 2 rsmt. in parallelo)

$I_2 = \frac{(R_3 + R_B)}{(R_3 + R_B) + (R_1 + R_A)} I$

form. del partitore

PSE



to eq. in 10

ricognito

è deformazione prod. lineare → algebriche non c'è più un sistema lineare (sostanz. effetto → rsmt. lin.)

Sorgente: Forze elettrom. + Corrente in presenza

effetto: altre correnti + tensioni del circuito

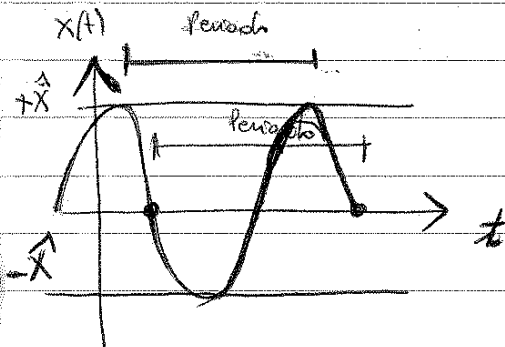
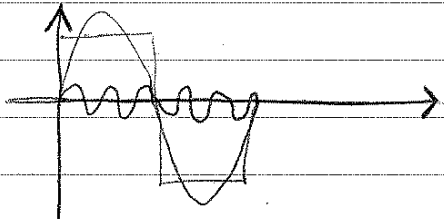
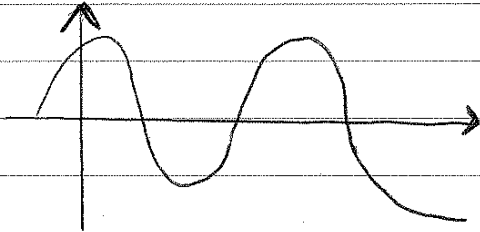
Se il sistema è lineare e a rsmt. + sorgenti, posso valutare un generico effetto con la seguente procedura:

- 1) spengo tutte le sorgenti tranne una sovrapposizione
- 2) calcolo l'effetto dovuto a questa sorgente
- 3) ripeto il punto uno per quanto volte ho in circuito tutte le sorgenti

REGIME SINUSOIALE

- Definizione
- forme
- proprietà
- eq. topologiche e costitutive

differenza tra elettrone
ed elettostatica



$$x(t) = \overset{\uparrow}{\hat{x}} \sin(\overset{\uparrow}{\omega t} + \overset{\uparrow}{\varphi})$$

\hat{x} = valore di picco

$\hat{x} = \max \{x(t)\}$

$T =$ periodo $[T] = s$

$f =$ frequenza

$$f = \frac{1}{T}$$

$$[f] = \frac{1}{s} = s^{-1} = Hz = \text{Hertz} =$$

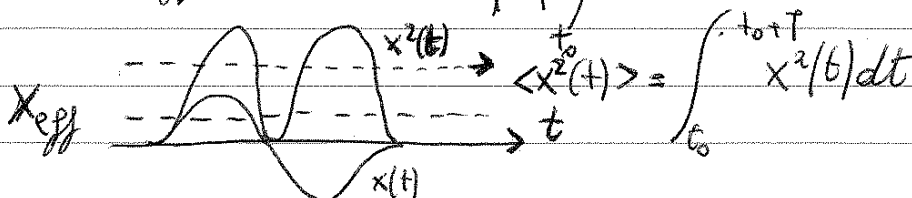
$$f = 50 \text{ Hz} \rightarrow T = 20 \text{ ms}$$

$\omega =$ freq. angolare / pulsazione

$$\omega = 2\pi f$$

$$[\omega] =$$

valore efficace: $x_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x^2(t) dt}$ $\forall t_0$



Lezione 27/10/2021

$$x(t) = \sqrt{2} X \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\underline{X} = X e^{i\varphi} = X \cos \varphi + j X \sin \varphi$$

$$x(t) = \sqrt{2} \operatorname{Im} \left\{ \underline{X} e^{j\omega t} \right\} = \sqrt{2} \operatorname{Im} \left\{ X e^{i\varphi} e^{j\omega t} \right\} = \sqrt{2} \operatorname{Im} \left\{ X e^{i\varphi} e^{j\omega t} \right\} =$$

$$= \sqrt{2} \operatorname{Im} \left\{ X \cos(\omega t + \varphi) + j X \sin(\omega t + \varphi) \right\} = \sqrt{2} X \sin(\omega t + \varphi)$$

Proprietà dei fasori

unicità, linearità, derivazione (integrazione)

unicità: se ho due sinusoidi a cui corrispondono due fasori, se sono uguali le sinusoidi, allora sono uguali i fasori

$$\left. \begin{array}{l} x_2(t) = x_2(t) \\ \updownarrow \\ \underline{x}_1 = \underline{x}_2 \end{array} \right\}$$

Linearità:

$$\left\{ \begin{array}{l} y(t) = k_1 x_1(t) + k_2 x_2(t) \\ \updownarrow \\ \underline{y} = k_1 \underline{x}_1 + k_2 \underline{x}_2 \end{array} \right. \quad k_1, k_2 \in \mathbb{R}$$

Esempio: $2\sqrt{2} \sin(3t) + 4\sqrt{2} \cos(3t + \frac{\pi}{2})$

\downarrow
 $2 \angle 0^\circ$

$$4\sqrt{2} \cos(3t + \frac{\pi}{2}) = -4\sqrt{2} \sin(3t)$$

\downarrow
 $-4 \angle 0^\circ$ ← fase

(dopo averlo nella forma sinus per calcolare la fase)

$$\underline{S} = 2 \angle 0^\circ - 4 \angle 0^\circ = -2 \angle 0^\circ$$

$$\uparrow$$

$$s(t) = -2\sqrt{2} \sin(3t)$$

Derivazione:

$$x(t) = \sqrt{2} X \sin(\omega t + \varphi)$$

$$y(t) = \frac{d}{dt} x(t) = \sqrt{2} X \cos(\omega t + \varphi) \cdot \omega =$$

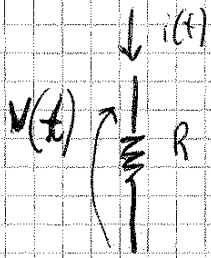
$$\underline{y} = \omega X e^{i(\varphi + \frac{\pi}{2})} = \omega X e^{i\varphi} e^{j\frac{\pi}{2}} = j\omega X e^{i\varphi} = j\omega \underline{X}$$



$$e^{j\frac{\pi}{2}} = \cos \frac{\pi}{2} + j \sin \frac{\pi}{2} = j$$

$$= \sqrt{2} X \sin(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}) \cdot \omega$$

Resistore



$$v(t) = R i(t)$$

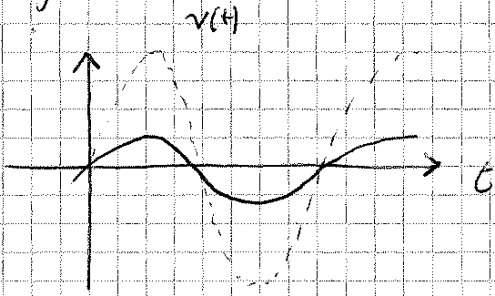
$$i(t) = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi_I)$$

$$v(t) = \sqrt{2} V \sin(\omega t + \varphi_V) = \sqrt{2} R I \sin(\omega t + \varphi_I)$$

$$V = R I ; \varphi_V = \varphi_I$$

→ valore efficace della tensione
→ fase

uguaglianza di valori efficaci



$$i(t) \leftrightarrow \underline{I}$$

$$v(t) \leftrightarrow \underline{V}$$

hanno corrispondenti nei formati vettoriali R è uno scalare

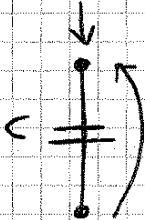
$$\underline{V} = R \underline{I}$$

$$V e^{i\varphi_V} = R I e^{i\varphi_I}$$



Condensatore:

$$i(t) = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi_I)$$



$$v(t) = \sqrt{2} V \sin(\omega t + \varphi_V)$$

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$$

$$\underline{I} = C j \omega \underline{V}$$

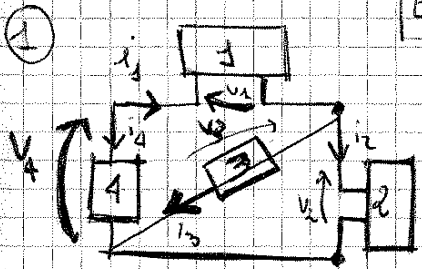
$$\underline{I} = j \omega C \underline{V}$$

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j^2} = -j$$

$$\underline{V} = \frac{1}{j \omega C} \cdot \underline{I} = j \frac{1}{\omega C} \cdot \underline{I} = j X_C I$$

$$X_C = -\frac{1}{\omega C} \quad \text{reattanza capacitiva} \quad [X_C] = \Omega ; X_C \leq 0$$

Esercizi



$i_1 = 2A$ $v_2 = 4V$
 $i_3 = 3A$ $v_4 = 2V$

calcolare tutte le potenze assorbite!

convenzione wilemotor: $P = v \cdot i$

$v_1 = -v_3 + v_4 = -2V$ | $i_2 = -i_3 - i_4 = -3 - (-2) = -1A$

$v_3 = v_2 = 4V$ | $i_4 = -i_1 = -2A$

$P_1 = i_1 v_1 = -4W$

$P_3 = i_3 v_3 = 12W$

$P_2 = i_2 v_2 = -4W$

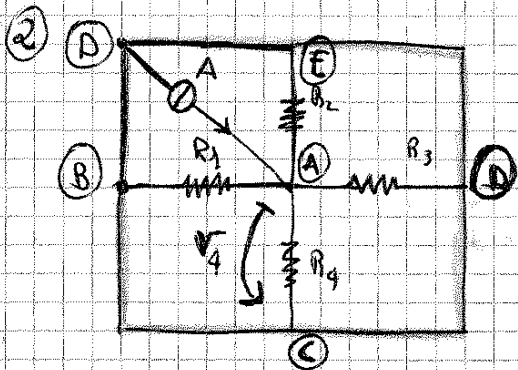
$P_4 = i_4 v_4 = -4W$

← somma potenze = 0
 $P_{tot} = 0W$

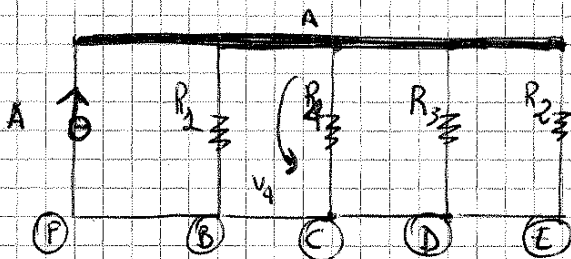
in un circuito si conserva la potenza

$\sum_{k=1}^L P_k = \sum_{k=1}^L v_k i_k = 0$

→ teorema di Tellegen



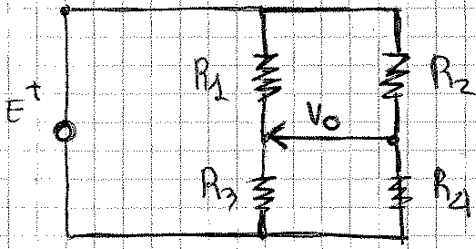
tensione ai capi di un corto circuito è 0



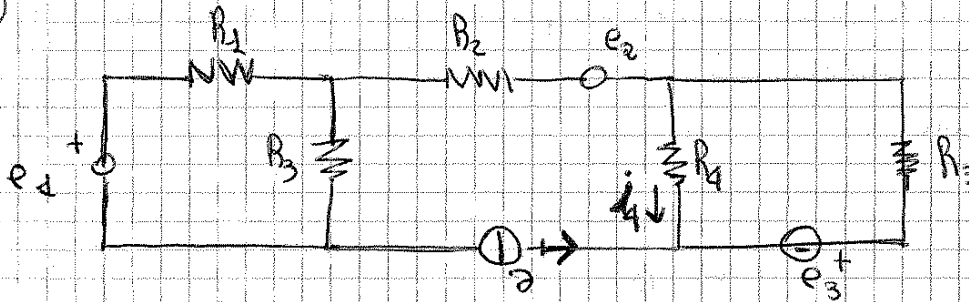
la tensione v_4 è la tensione che ha il parallelo delle 4 resistenze

$R_{eq} = R_1 // R_2 // R_3 // R_4$
 $v_4 = -R_{eq} A$

PER CASA → V_0 ?



5



$$D_A = ?$$

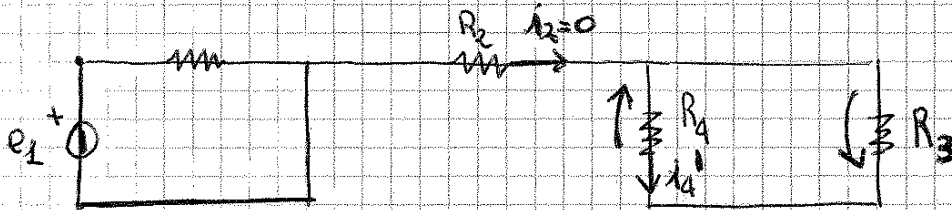
$$i_4 = \frac{e_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} i_2$$

$$= \frac{e_3 - R_3 i_2}{R_3 + R_4}$$

$$P_4 = R_4 \cdot i_4^2$$

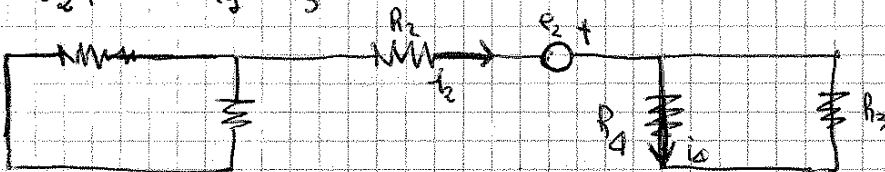
• sulla potenza non possiamo fare la sovrapposizione

$e_1 \neq 0$ $e_2 = e_3 = 0$ $i_2 = 0$



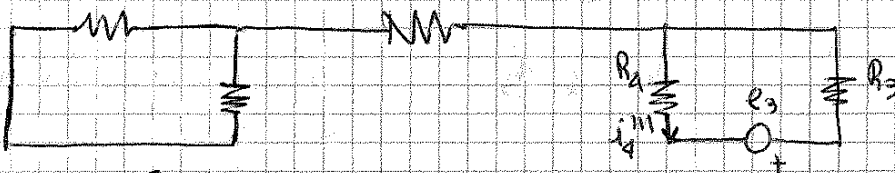
$i_4^I = 0$

$e_2 \neq 0$ $e_1 = e_3 = 0$ $i_2 = 0$



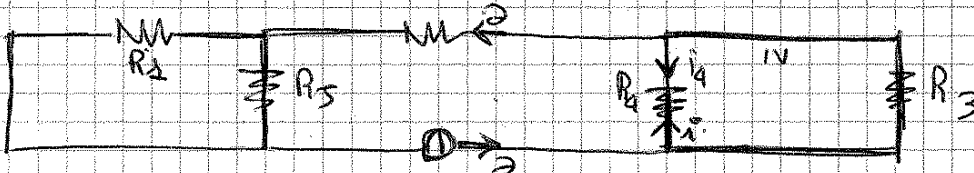
$i_4^{II} = 0$

$e_3 \neq 0$ $e_1 = e_2 = 0$ $i_2 = 0$



$$i_4^{III} = \frac{e_3}{R_3 + R_4}$$

$e_1 = e_2 = e_3 = 0$ $i_2 \neq 0$



$$\underline{V}_R = R \underline{I}_R$$

$$\underline{V}_L = j X_L \cdot \underline{I}_L$$

$$\underline{V}_C = \delta \cdot X_C \cdot \underline{I}_C$$

$$\underline{V}_L = \underline{V}_C$$

$$\otimes \underline{V}_L + \underline{V}_C = \underline{V}$$

$$\underline{I} = \underline{I}_R$$

$$\otimes \underline{I}_R = \underline{I}_L + \underline{I}_C$$

$$j X_L \cdot \underline{I}_L + R \underline{I} = \underline{V}$$

$$\underline{I} = \underline{I}_L + \frac{\underline{V}_C}{\delta X_C} = \underline{I}_L + \frac{\delta \cdot X_L \cdot \underline{I}_L}{\delta X_C}$$

$$\underline{I} = \frac{X_L + X_C}{X_C} \underline{I}_L \rightarrow \underline{I}_L = \frac{X_C}{X_L + X_C} \underline{I}$$

$$j \cdot \frac{X_L \cdot X_C}{X_L + X_C} \underline{I} + R \underline{I} = \underline{V}$$

$$\underline{V} = \left(R + j \cdot \frac{X_L X_C}{X_L + X_C} \right) \underline{I}$$

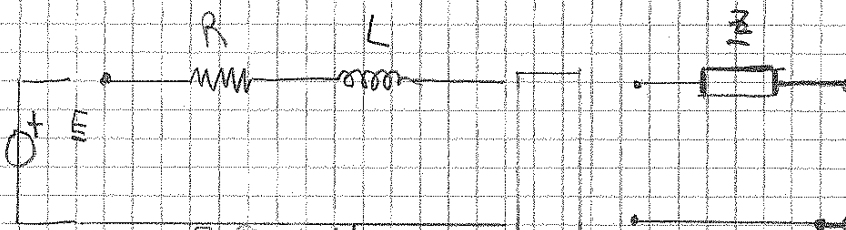
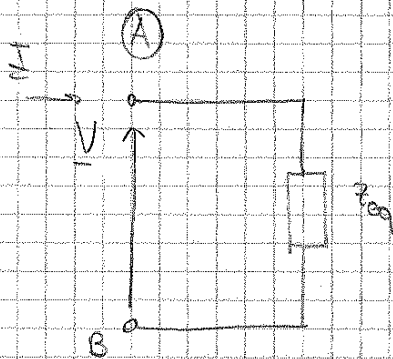
$$R + (j X_L \parallel j X_C)$$

$$\underline{Z}_R + \underline{Z}_L \parallel \underline{Z}_C \rightarrow = \underline{Z}_{eq}$$

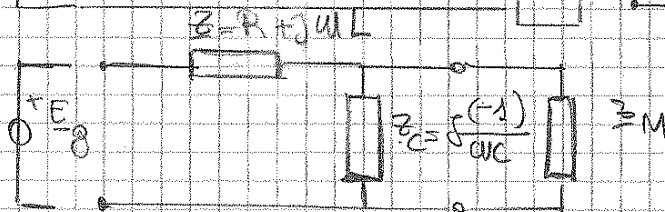
$$\underline{V} = \underline{Z}_{eq} \underline{I}$$

esistono impedenze equivalenti, di tutte le impedenze di un circuito

- in generale, le caratteristiche del filo conduttore sono lunghezza, larghezza (spessore), ρ , conduttività o spina di condotti e ritorno (perpendicolare piccolo)



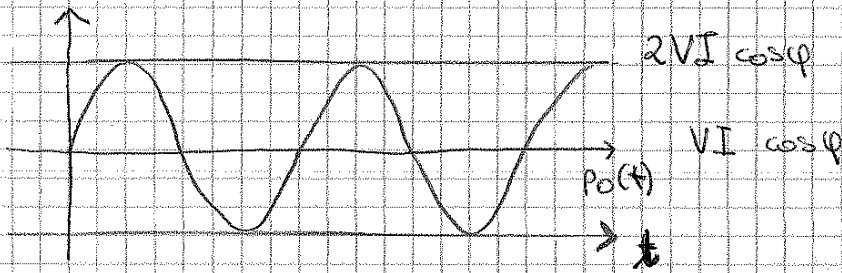
$$\underline{Z} = R + j\omega L$$



$$p(t) = P_Q(t) + P_R(t)$$

potenza attiva ist.

potenza reattiva ist.



$$VI \cos \varphi = \langle P_Q(t) \rangle = \langle p(t) \rangle = P$$

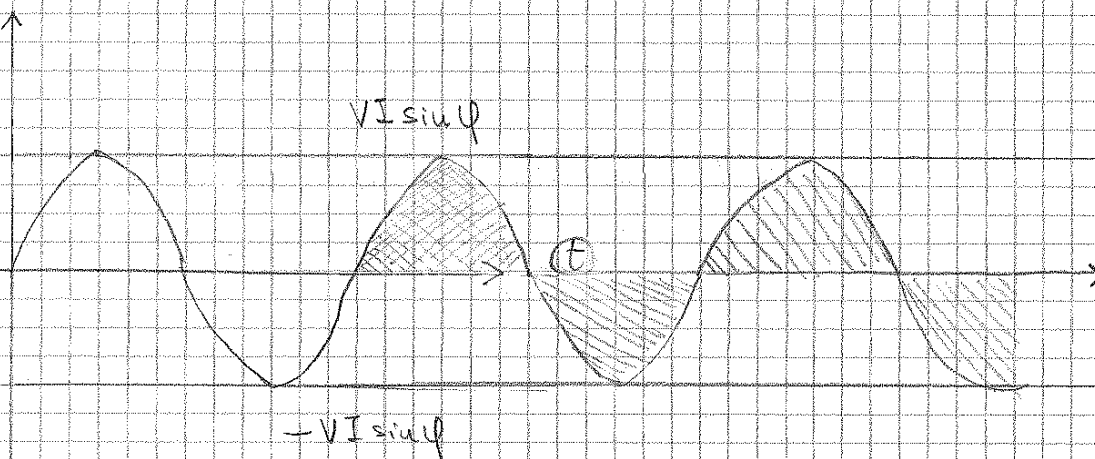
P potenza attiva

$$[P] = \text{Watt} = W$$

$$P = VI \cos \varphi$$

coefficiente = $\cos \varphi \rightarrow$ fattore di potenza

P



$$\max \{ p_2(t) \} = VI \sin \varphi = Q$$

Q potenza reattiva [Q] = var

$$P = VI \cos \varphi$$

$$Q = VI \sin \varphi$$

$$\sqrt{P^2 + Q^2} = VI = S$$

potenza apparente

$$\underline{S}^* = V e^{j\varphi} I e^{j\psi} = V I e^{j(\varphi - \psi)} = V I e^{j\varphi} = VI \cos \varphi + j VI \sin \varphi =$$

$$\underline{S} = P + jQ \quad \text{potenza complessa}$$

$$|\underline{S}| = \sqrt{P^2 + Q^2} = S$$

$$[S] = VA = \text{volt-ampere}$$

Se studio tutti i componenti con la stessa convenzione la somma delle potenze è zero
 come si conveniva P e Q in un circuito funzionante
 in regime sinusoidale. Se studio tutti i bipoli
 con la stessa convenzione di segno

$$\sum_{k=1}^L S_k = 0$$

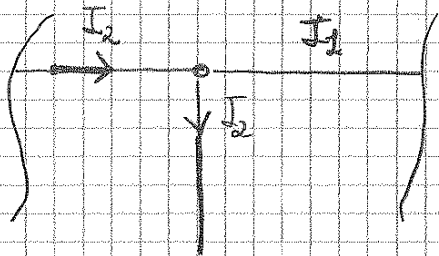
$$\begin{cases} \sum_{k=1}^L P_k = 0 \\ \sum_{k=1}^L Q_k = 0 \end{cases}$$

→ Enunciato: In un circuito potenze attive e reattive si conservano in modo indipendente le une dalle altre

due convenzioni opposte

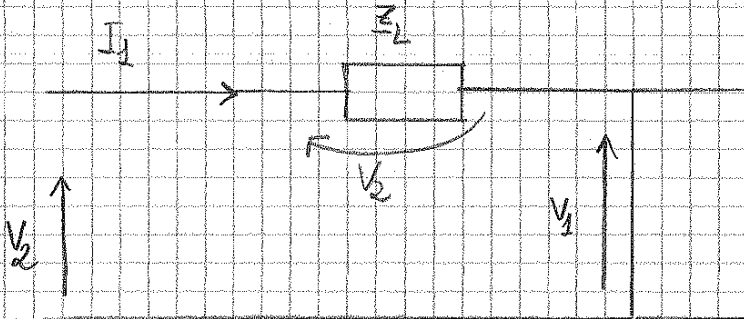
$$\sum_{m=1}^M P_m^{gen} = \sum_{n=1}^N P_n^{utlm}$$

$$\sum_{m=1}^M Q_m^{gen} = \sum_{n=1}^N Q_n^{utlm}$$



$$\underline{I}_2 = \underline{I}_1 + \underline{I}_L$$

$$|\underline{I}_2| = |\underline{I}_1 + \underline{I}_L| \neq |\underline{I}_1| + |\underline{I}_L|$$



$$V_2 = |Z_L| I_2$$

$$S_1 = 15,38 \text{ V}$$

$$V_2 = V_1 + V_L$$

NO



$$P_{L2} = \frac{V_L^2}{R_L}$$

$$V_R = I_2 \cdot R_L$$

$$\cos \varphi \geq 0,9$$

$$P_1 = 10 \text{ kW}$$

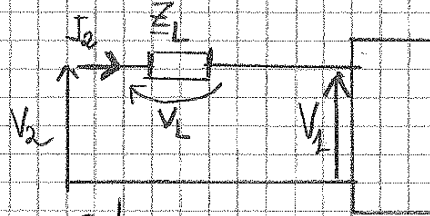
$$Q_1 = 10 \text{ kVAr}$$

$$V_1 = 230 \text{ V}$$

$$I_1 = 61,5 \text{ A}$$

$$Q_R = Q_1 + Q_{IR} < Q_1$$

scopo c tale che $\cos \varphi_R = 0,9$



$$\cos \varphi \uparrow \Rightarrow \varphi \downarrow \Rightarrow \tan \varphi \downarrow \Rightarrow Q \downarrow$$

$$\textcircled{A} V_R = V_1$$

$$P_R = P_1 + P_{IR} = P_1$$

$$Q_R = Q_1 + Q_L$$

$$Q_R \text{ lo coseno } \alpha \text{ l'è } = P_R \tan(\varphi_R) - Q_L$$

SISTEMI TRIFASE

Lezione 9/21/2011

- origine / definizioni
- ~~unifase equivalente~~ → non l'ha fatto
- potenza
- convenienze
- non si fa la sovrapposizione degli effetti quando due generatori in serie o in parallelo
- Teorema di Boucherot → potenza istantanea

Regime sinusoidale → i sistemi trifase ne sono una parte particolare

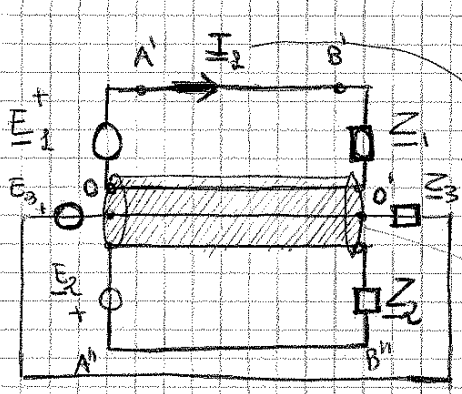
Riprendendo l'espressione e, questo termine va a zero per $t \rightarrow \infty$

Circuiti regime sinusoidale → eq. differenziale (costitutive + topologiche)

se il generatore impone grandezze sinusoidali → cerchiamo una parte sinusoidale

→ "transitorio" è studio della parte esponenziale: opposta alla parte sinusoidale

termini sinusoidali → "trou"



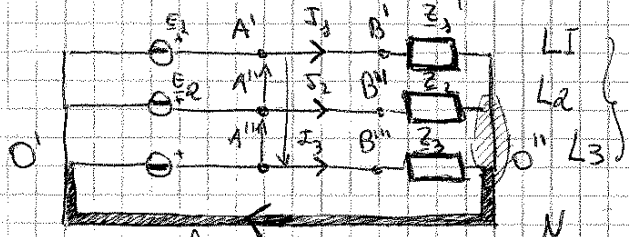
TRIFASE

- 3 fasi = 3 generatori
- circuito a tre vie
- nucleo 3 fasi contemporaneamente

$$\vec{I}_1 = \frac{E_1}{Z_1}$$

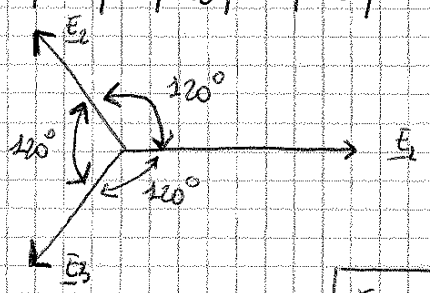
Filo unico per tutti e 3: ipotesi di risposta

lo costruiamo un circuito equivalente a:



$$\vec{I}_N = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$$

Un sistema trifase si dice simmetrico se le tensioni sono uguali in modulo (E_1, E_2, E_3) e sfasate di 120° :
 dire che non sfasate di 120° vuol dire che



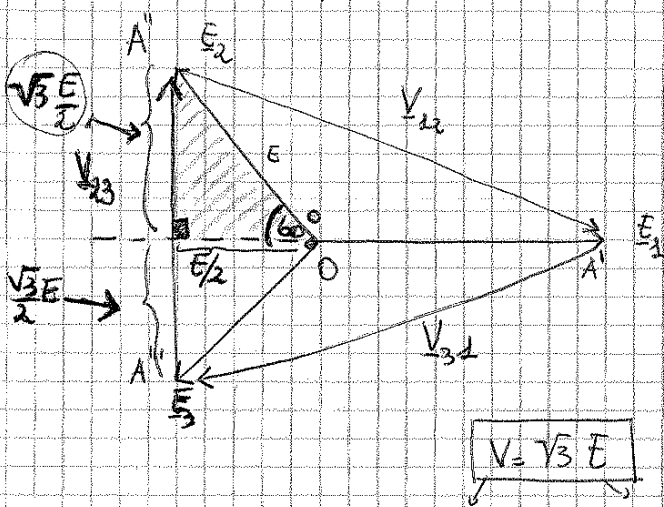
$$|\varphi_1 - \varphi_j| = 120^\circ \quad i \neq j$$

$$\begin{aligned} E_1 &= E \quad (+5320^\circ) \\ E_2 &= E \cdot e^{j120^\circ} \\ E_3 &= E \cdot e^{j240^\circ} \end{aligned}$$

$$E_1 + E_2 + E_3 = 0$$

Tensioni E_1, E_2, E_3 richiamano "tensioni stellate" oppure tensioni di fase:

→ Tensione tra 2 fasi:



E_1, E_2, E_3 tensioni stellate o "di fase"
 V_{12}, V_{23}, V_{31} tensioni concatenate
 o di linea (3 fili, le anche tensione misurabile non quella tra un conduttore e l'altro)
 il nostro caso

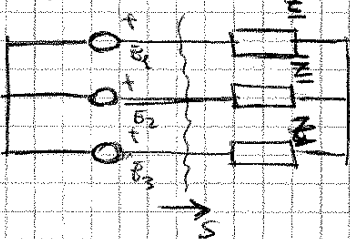
$$V = \sqrt{3} E$$

concatenata stellata

nei riferimenti quadrilateri in basso indicato il valore nominale delle tensioni concatenate che più alta, quindi indica il piccolo numero

POTENZA

• la definiamo solo nei sistemi numerici ed equilibrati.



• aggiungo il filo di neutro → separo le 3 fasi, quindi la potenza sarà la somma delle singole fasi prese separatamente

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = E_1 I_1^* + E_2 I_2^* + E_3 I_3^* = \frac{E_1 E_1^* e^{j(\varphi_{E_1} - \varphi_{I_1})} + E_2 E_2^* e^{j(\varphi_{E_2} - \varphi_{I_2})} + E_3 E_3^* e^{j(\varphi_{E_3} - \varphi_{I_3})}}{1} = 3EI e^{j\varphi} = 3EI \cos\varphi + j 3EI \sin\varphi$$

$$P = 3EI \cos\varphi$$

$$Q = 3EI \sin\varphi$$

$$V = \sqrt{3} E$$

$$P = \sqrt{3} VI \cos\varphi$$

$$Q = \sqrt{3} VI \sin\varphi$$

$$Q = P \tan\varphi$$

$$S = P + jQ$$

$$S = \sqrt{3} VI$$

- è più facile generare potenza con un sistema trifase (singolo solo un trifase)
- A parità di potenza trasportata / tensione → una linea trifase rimpiazza uno stesso
- da potenza istantanea è costante. Piccola potenza → sistemi monofase

Con Tommasini

Lezione 30/11/2018

RISCHIO		PROTEZIONE
fuga di corrente	contatto diretto	protezione contro c.d.
	contatto indiretto	protezione contro c.i.
sovraccarichi	sovraccarichi	protezione contro sovraccarichi
	cto / cts (cont. riscuito)	protezione contro corto/circuiti
alimentazione elettrica		alimentazione alternativa alimentazione alim. di riserva

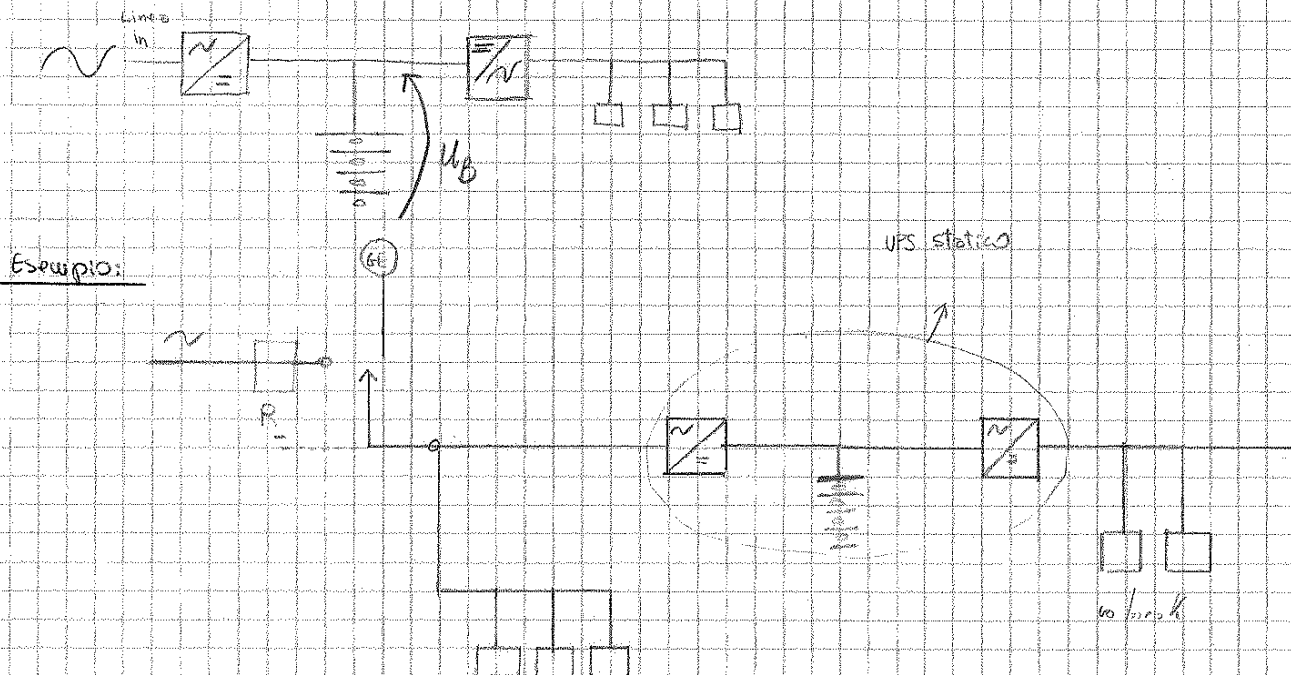
alimentazione no-break: alimentazione che deve essere continua perché in certe situazioni non posso perdere energia. (fabbrica operativa)

→ interruzione minima 0,5 secondi: viene visto come un avaria (per alcune illuminazioni che devono essere costantemente coltate di luminosità aerea → lampade per chirurgia)

• Asseverazione (aspeabile): non posso permettere lunghe interruzioni di corrente, soprattutto in caso di crisi gravi.

UPS: sistema di potenza non interrompibile. esistono UPS di tipo STATICO e di tipo ROTANTE. lo statico è costituito da un convertitore

UPS Statico:



• fulmine

• Umbrosie uscite:
determinare circolari se i conduttori
o usare la protezione

LPS esterno
(se necessario)
LPS interno

Impianti:

1) generazione: produrre di energia elettrica a partire da un'altra forma di energia
produttiva

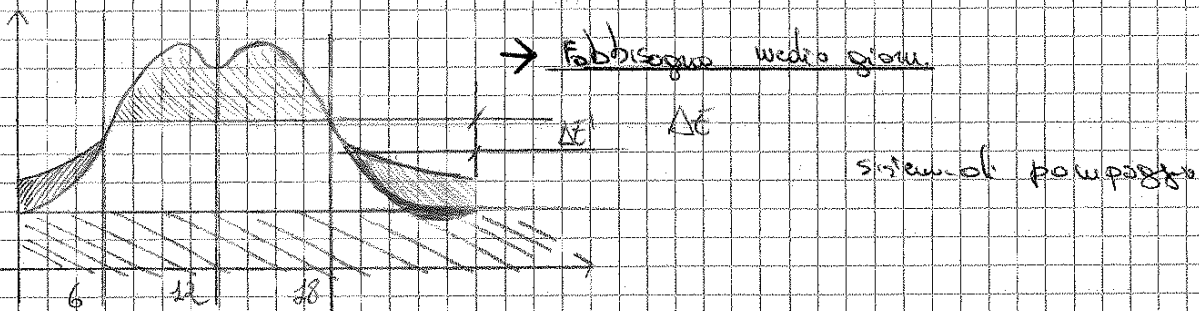
2) Trasferimento di energia elettrica: trasferimento di energia da centrale a punti di uso

3) Distribuzione di " " "

Italia

- Produrre energia elettrica partendo da combustibile 77,2%
- Produrre energia idroelettrica: 17,8% (tramite invasi (bacini artific.), fiumi)
- Produrre " geotermoelettrica: riscaldamento naturale dell'acqua (Toscana)
- // Eolica: 2,7%
- // fotovoltaico: 0,7%

Acquisti: energia da Svizzera (Idroelettrica) con pagamento, Francia (Termoelettrica con Nucleare)



Turbogas: camera di combustione, bruciando combustibile con componente
rendimento basso, ma si accendono in poco tempo

C-A

AT	$U_m > 30 \text{ kV}$	380 kV 220 kV	232 kV 150 kV	kV; kg; km
MT	$1000 \text{ V} < U_m < 30 \text{ kV}$	6 kV 15 kV	3 kV 20 kV	
BT	$50 \text{ V} < U_m < 1000 \text{ V}$	230 / 400 V		
ELV (BBT)	$< 50 \text{ V}$			

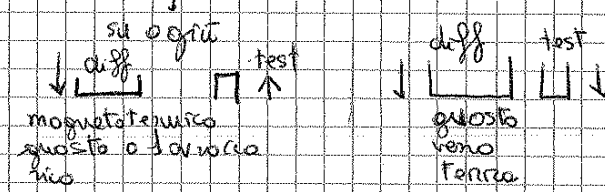
Tester, Differenziale: controllo di sicurezza periodico

Lezione 17/11/2021

Interruttore magnetotermico può avere fino a 3 spazzatori

- Magnetico
- Termico
- Differenziale

Levetto blu: quando scatta → elevato corrente
→ corrente a terra



Sistema di differenziale obbligatorio

Parametro fondamentale ~~fra~~ del differenziale è la corrente diff. nominale d'intervento che è simboleggiata da $I_{\Delta n}$ o I_{dn} = minima corrente diff. che fa intervenire il differenziale

Differenziali corrente obbligatorie dei milliampere: diff di corrente = corrente che fluisce verso terra = corrente di guasto (il differenziale lo scella)

$I_{\Delta n}$	I_{du}
0,01 A	(10mA)
0,03 A	(30 mA)
0,1 A	
0,3 A	
0,5 A	
0,1 A	

alta sensibilità
bassa "

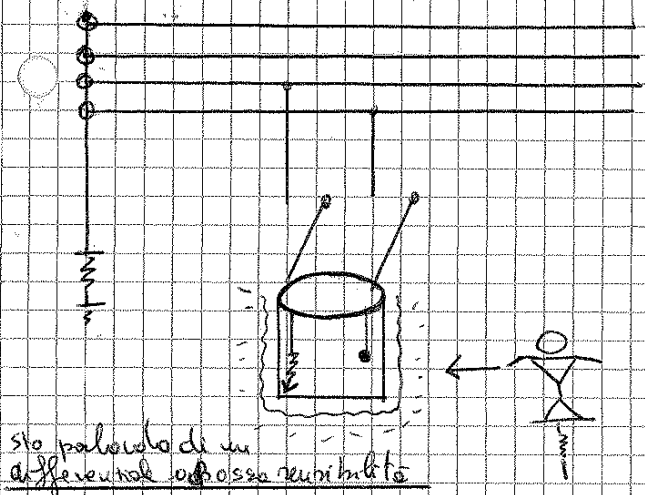
Il differenziale deve rispettare la curva di sicurezza corrente - tempo
 $R_E \leq \frac{U_L}{I_{du}}$ → tensione limite (25V-50V)
→ corrente nominale d'intervento

ES. $I_{du} = 0,03 A$
 $U_L = 50 V$
 $R_E \leq 1666 \Omega$?

in linea di massima (teoria) è giusto ma un impianto con tanti così alta deve preoccupare per il valore superiore 100 Ω

il differenziale sente le correnti: la corrente viaggia nei conduttori

- Se il differenziale non c'è (colleg.) il dispositivo a terra, la protezione non c'è
- nel momento in cui tocca, la corrente parte una massa e il differenziale se ne accorge
- corrente mortale
- " non "



alta sensibilità: protegge la permanenza dal contatto diretto sia indiretto: l'interruttore ad alta sensibilità deve essere obbligato

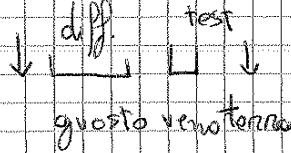
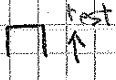
Alta sensib.: non è una protezione sostitutiva contro contatti diretti o indiretti, ma è addizionale (sempre raccomandabile) → in qualche caso è obbligatorio.

Lezione 17/11/2019

TESTER, DIFFERENZIALI: controllo di sicurezza
periodico

magnetico

Interruttore magnetotermico può avere fino a 3 regolatori \rightarrow termico
dovetta Blu: quando scatta \rightarrow elevata corrente \rightarrow differenziale
 \rightarrow corrente a terra



Systema dt (differenziale obbligatorio)

magnetotermico: questo serve

l'interruttore differenziale è comunemente detto il salvavita, ed è un dispositivo elettotecnico in grado di interrompere un circuito in caso di guasto verso terra ("dispersione elettrica") o folgorazione fase-terra fornendo dunque anche verso minishock elettrico sia diretto che indiretto. Non offre alcuna protezione contro cortocircuito o corto-circuiti tra fase e fase e neutro, per i quali è richiesto un interruttore magnetotermico. Sono molto diffusi in commercio apparecchi che integrano entrambi i dispositivi (comunemente detti "salvavita"). È detto differenziale perché basa il suo funzionamento sulla differenza di correnti elettriche eventualmente

DISPERSIONE ELETTRICA: è il fenomeno della perdita della carica elettrica da parte di un conduttore carico isolato. Può essere causata da un imperfetto isolamento, ma in generale si verifica per radiorisparmio. Si rischia la folgorazione.

CORTO-CIRCUITO È un collegamento fra due punti di un circuito che ha resistenza nulla, cioè impone una tensione nulla (ottocorrente) ai suoi capi e non impone vincoli sulla corrente che parte attraverso di esso, che può assumere valori molto elevati.

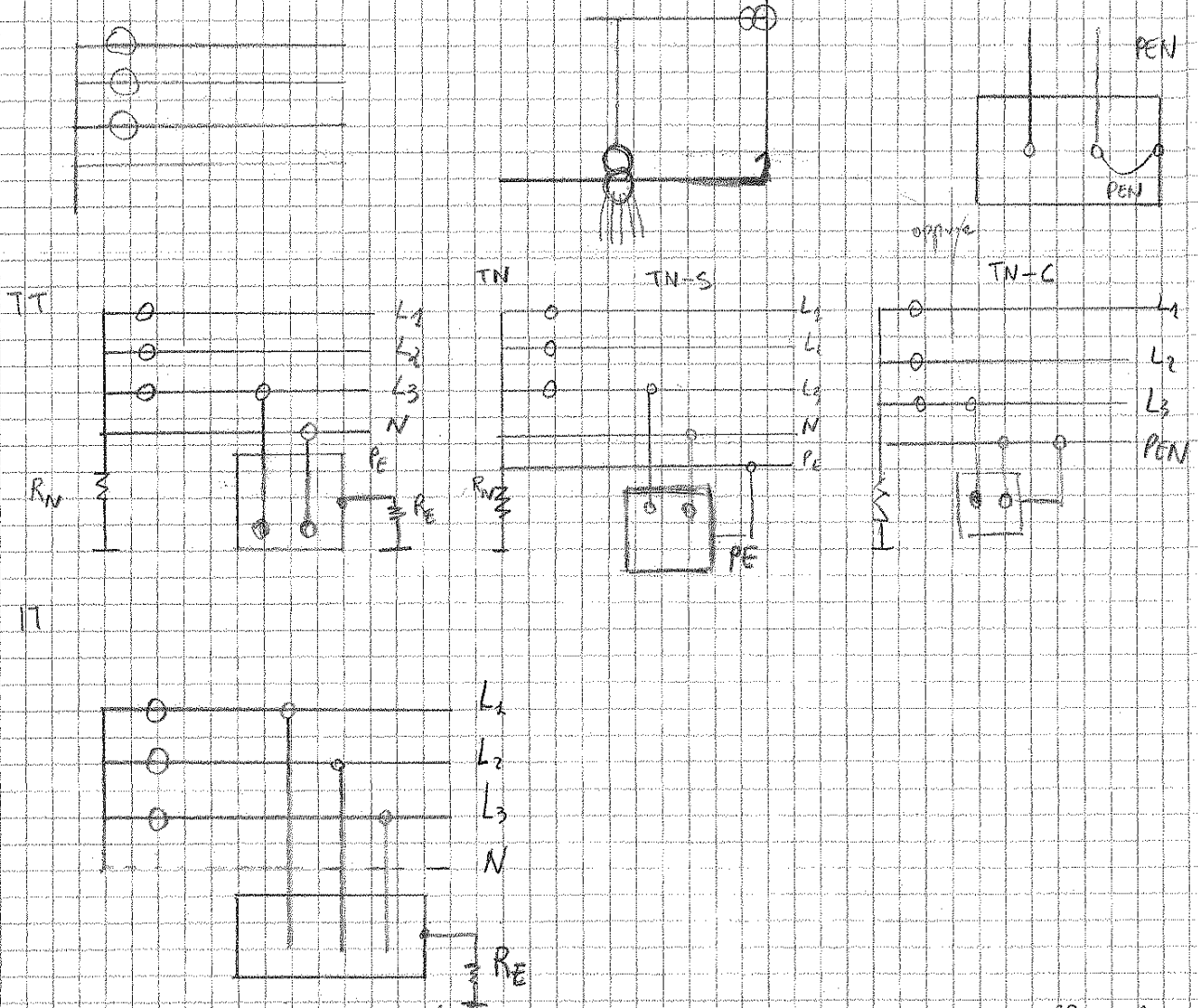
In elettotecnica, il corto-circuito (o circuito chiuso) ideale è quel bipolo costituito dalla relazione circuitale $V(t) = 0$; dove V corrisponde alla tensione elettrica (espressa in Volt) e t corrisponde al tempo (espresso in secondi). La potenza elettrica del bipolo è nulla, dato che $P = V \cdot I$ con $V = 0$.

Circuito equivalente ad un corto-circuito ideale è il corto-circuito è un componente ideale, in quanto non corrisponde a nessun elemento reale. Esso può essere pensato come equivalente di vari elementi:

1. un resistore con valore nullo di resistenza
2. un generatore ideale di tensione di valore nullo
3. collegamento in parallelo di un nullatore ed un moratore

Situazione reale di corto circuito: In condizioni reali, la corrente circolante in condizioni di corto-circuito è limitata esclusivamente dalla resistenza dei fili conduttori e dei collegamenti. In un comune impianto elettrico a 220V-240V, o a 380-420V l'intensità di corrente può raggiungere valori da migliaia a centinaia di ampere e per effetto Joule può generare temperature tali da provocare la fusione dei conduttori stessi (rischio esplosione - incendio).

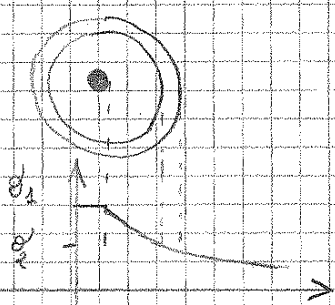
Lezione 23/22/2011

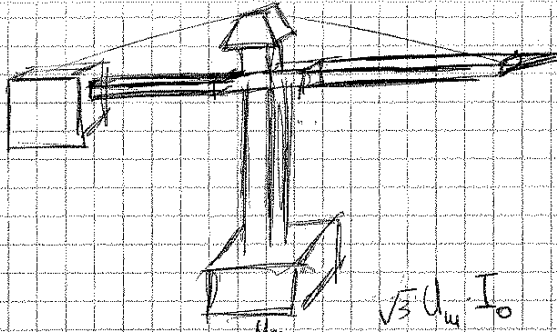


Sovraccorrente: è una corrente circolante minima superiore a quella richiesta. Il problema è l'effetto Joule ovvero l'effetto di riscaldamento che mette la corrente, con l'andare più in là di sopra e per causa

conduttore propriamente detto (interno) parte conduttrice fatta generalmente di rame o oro e la prima parte che si riscalda per la temperatura. I metalli formano a livelli + alti degli isolanti: sopra del livello di isolamento → riscalda l'isolamento

isolamento principale: materiali sintetici che devono isolare elettricamente i cavi e lo spazio tra i cavi (materiali testati) proprietà meccanica: (si fonde o si deforma materiale isolante) le parti che tentano di andare più in là (schiuma, ...)





$$P_n = 14 \text{ kW}$$

$$\cos \phi = 0,85$$

$$U_m = 400 \text{ V}$$

$$S = 3 U_0 I = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} U_0 \cdot I = \sqrt{3} U_m I$$

potenza apparente

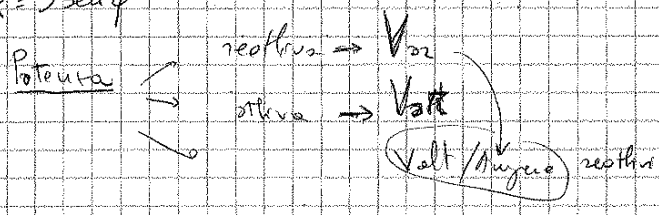
In un sistema trifase: $T_{equiv} = \text{Curent} \cdot 3$



$$U_m = \sqrt{3} U_0$$

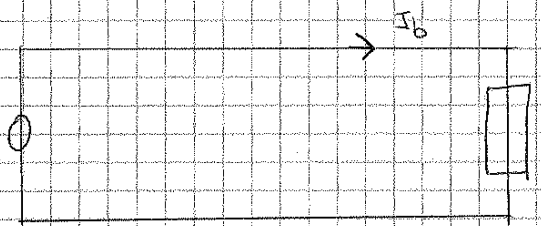
$$P = S \cos \phi$$

$$Q = S \sin \phi$$

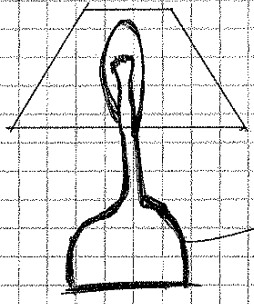


$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U_m \cos \phi}$$

• I è la corrente che passa in ciascuno dei 3 conduttori



• le correnti in un sistema trifase e quindi sono verso una terza spaziale di 120° (terzo trifase)



$$25 \text{ W}$$

$$\cos \phi = 1$$

$$U_n = 230$$

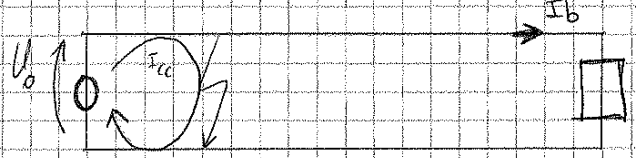
$$P = U_0 I$$

$$I = \frac{25}{230} = 0,11 \text{ A}$$

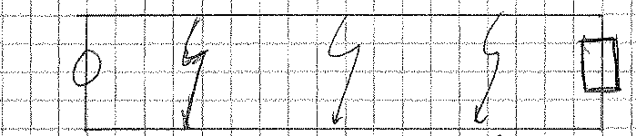
CORRENTE DI CORTO CIRCUITO

by-passa un pezzo di rete circuito

• spostato tra due punti



trascurabilità delle resistenze



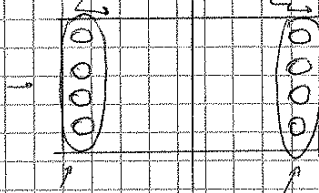
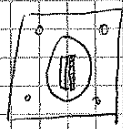
I cavi non sono conduttori perfetti, non hanno $R=0$, e anche i generatori non hanno impedenza $= 0$, per cui la corrente non sarà infinita.

• Se è vero che le resistenze dei conduttori non sono trascurabili, abbiamo sbagliato e non considerarle nelle altre occasioni?

COMPONENTE NOM. e la CORRENTE NOM. sono indicate in simboli

Lezione 24/11/2011

- Tommasini o portalo i simboli: TIPO FUSIBILE - SEZIONE DI DOTTE



Quelle parti al pompeggio della
corrente, si vedono prima e dopo
il punto di fusione, quello che
precede completamente, quello che
lo segue, cioè che è più facile da
spegnere

potere di interruzione: massima corrente di corto circuito che il fusibile è in grado di
spegnere (= aprire il circuito e non fare più portare corrente)

• potere di interruzione meccanicamente alto

il minimo di una corrente alternata è zero, quindi è una corrente più facile da interrompere
Sembra che si interrompa la corrente alternata allo zero naturale (al minimo, secondo ecc...)

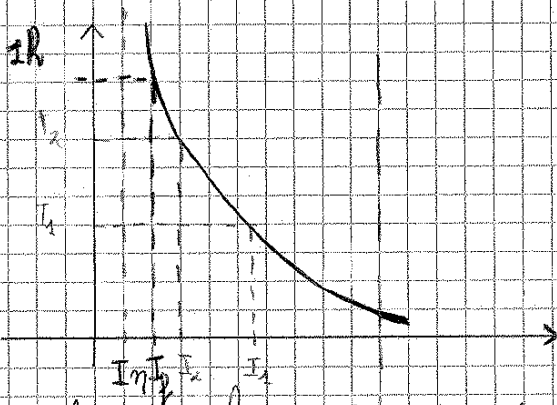
→ da sempre risulta difficile (ho tensione fuori coppia) quindi si fa re-immersione la corrente:
quindi il fusibile può essere in grado di ottenere una volta negativa di tensione e voltaggio della

resistenza dell'aria

POTENZA NOMINALE: es. 5A è la corrente max che può portare senza problemi:
non interviene meccanicamente fus a 6 A

→ interviene per infinite correnti.

si valuta l'azione di un fusibile in relazione alla sua corrente nominale secondo la curva I-t.



questa è la curva di intervento, quindi la
curva è l'insieme (I,t) di intervento ≠ corrente
nominale (che sta a sx della curva) × h
la corrente non è parte di intervento

$$I_1 > I_2 \rightarrow t_1 < t_2$$

$$I_f = 1,2 \div 1,6 I_n$$

• convenzionalmente si fissa 1h → stabilisce I_f corrente di sicuro funzionamento (è il valore
al di sopra del quale interviene)

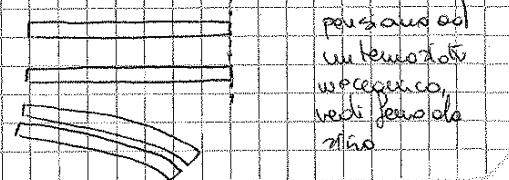
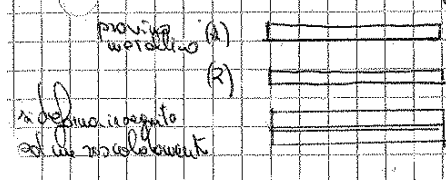
- Dispositivo a massima corrente = ALTRA NOMEA DEL FUSIBILE
- Sono mono uso, però non è proibito

INTERRUTTORI AUTOMATICI MAGNETOTERMICI

hanno a disposizione per il riarmo della corrente:

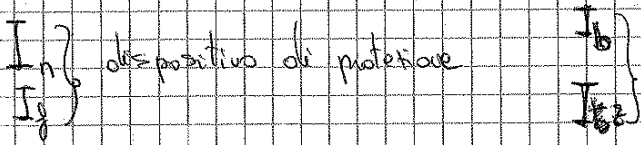
1) Dispositivo termico: o "saggiatori": è fatto da una lamina bi-metallica sfruttando l'effetto
termico dei metalli

$\alpha_1 \rightarrow$ temperatura a cui si riscalda entrambi $\rightarrow \alpha_2$ (a entrambi)



- Una sovvertitura è il caso di un reattivo più il suo modo di posa

Protezione contro il sovraccarico:

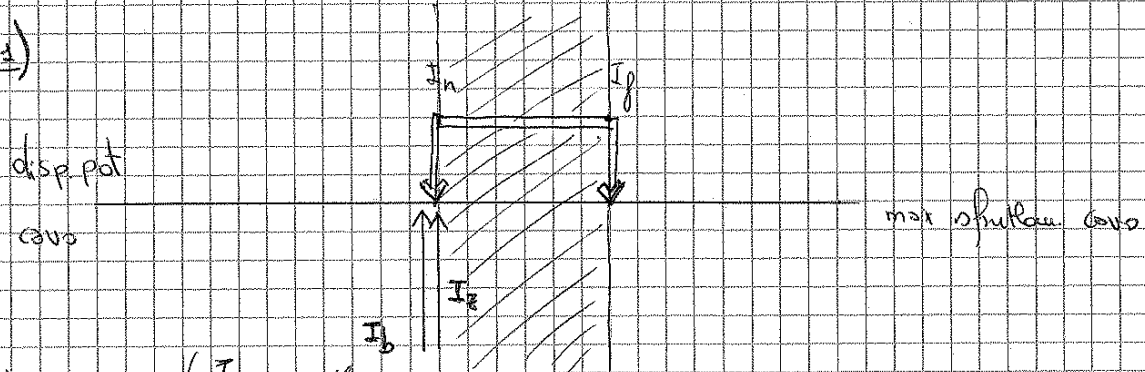


I_b = corrente di surriscaldamento
 I_{a2} = portata del cavo (massima corrente fluente) } $I_b \leq I_{a2}$

$I_n \leq I_{a2}$ perché non protezione da parte del dispositivo } $I_b \leq I_n \leq I_{a2}$

$I_b \leq I_n$
 ↓
 minima corrente senza avere problemi

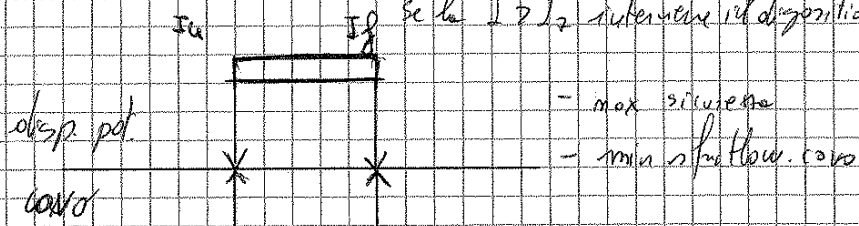
(caso 1)



- per correnti maggiori di I_n scelta
- " " minore di " nessuno garantita

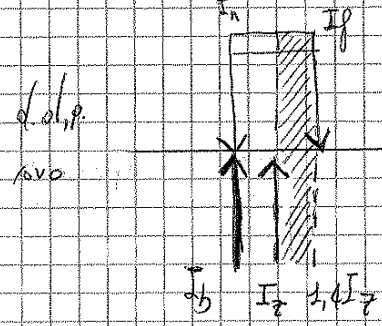
(caso 2)

massima sicurezza xk la $I_n < I_{a2}$ cavo non soffre } sovraccarico
 se la $I_n > I_{a2}$ interviene il dispositivo

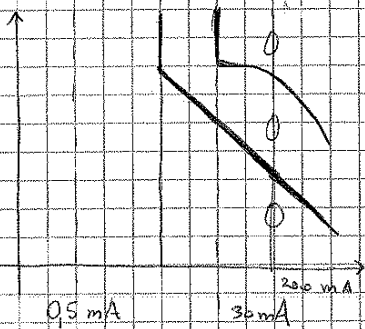


combinazione prevista dalla norma di sicurezza

$$I_g \leq 1,45 I_{a2}$$



Lezione 1/11/2012

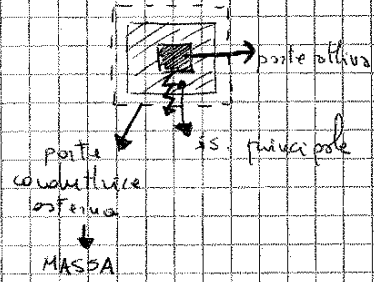


1) FOLGORAZIONE x CONTATTO DIRETTO: esempio della folgorazione con 220 V

2) FOLGORAZIONE x " INDIRETTO:
 se c'è una massa (parte metallica): esta installata che con fa parte del circuito elettrico (vedi circuito) = contatto diretto (toccare con un metallo o con un conduttore e cadere toccando con un dito)

massa = parte parte del sistema elettrico; può andare in tensione

isolamento principale



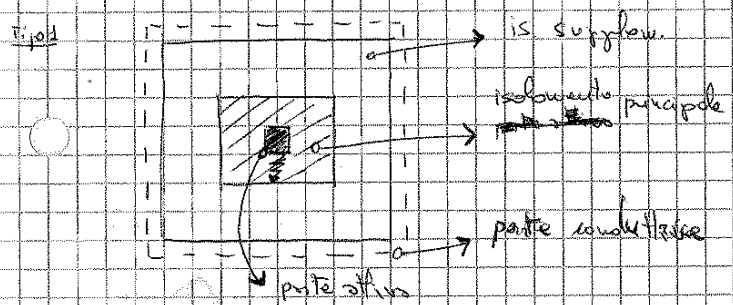
• se c'è un guasto all'isol. principale la parte conduttrice va in tensione

• collegamento a terra delle masse è uno dei metodi di messa a terra in cui c'è un oggetto apparenza deve avere un interruttore (interruttore)

non sia negli apparecchi sia nei componenti

ISTRUZIONE DI CLASSE PRIMA (I)

con apparecchio o componente con messa a terra



• APPARECCHIO A DOPPIO ISOLAMENTO:

Tipo 2: l'isolamento è dato dalla fusione dell'is. suff. + principale = Riferito



CLASSE II (intrinsecamente protetto contro i contatti involontari) non hanno massa

il costruttore usa i simboli



= classe seconda; se non c'è quel simbolo è di classe I (esistono classe 3°, 0°, ... ma non a riguardo)

• non abbiamo la messa a terra quindi la sua presa avrà due poli

• tipicamente gli apparecchi di illuminazione sono di classe II
 • CAVI di CLASSE SECONDA non esistono: ma esistono le condutture di classe seconda (conduttura = cavo + la sua modalità di posa). Conduttura con isol. equivalente alla classe seconda

corso 1

- pericoloso

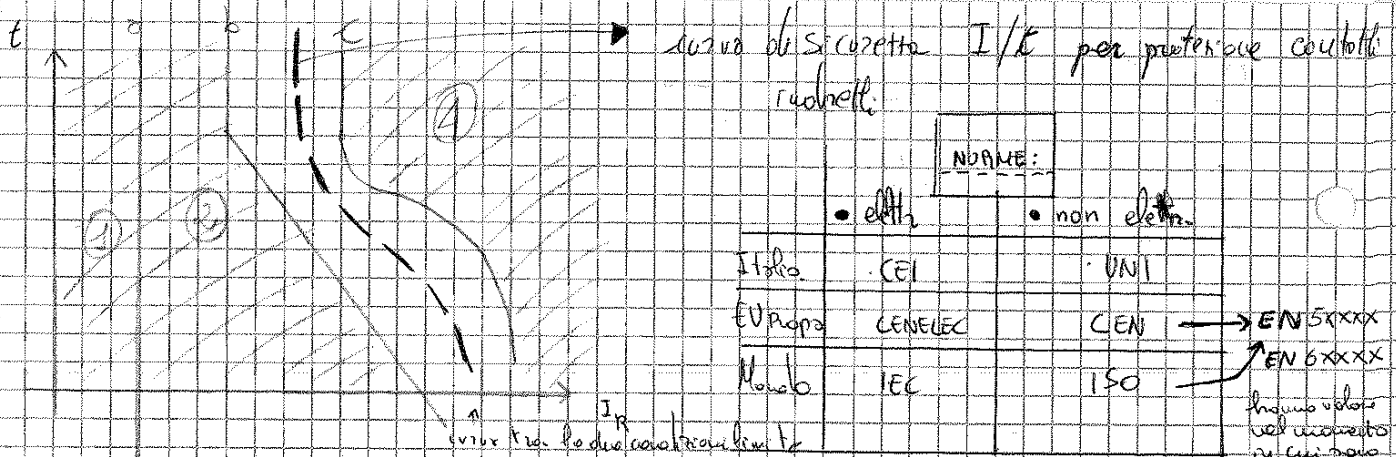
corso 2

1

corso 3

+ pericoloso

• luoghi conduttori isolati: luogo ove gli oggetti sono isolati e non permettono la dissipazione all'incasso



NORME:

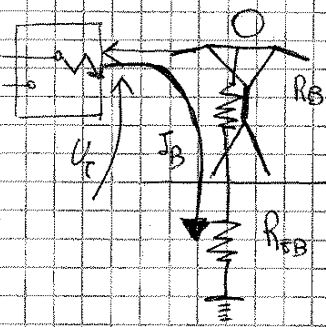
	• elett.	• non elett.
Italia	CEI	UNI
Europa	CENELEC	CEN → EN 5XXXX EN 6XXXX
Mondo	IEC	ISO

Alcuni valori nel documento in cui sono presenti dal CEN

Non ci sono effetti patologici fino alla telonizzazione

Scelte dati nazionali in unione e del paese la rispettiva normativa

CURVE DI SICUREZZA TENSIONE / TEMPO



• la tensione la possiamo calcolare con la legge di Ohm

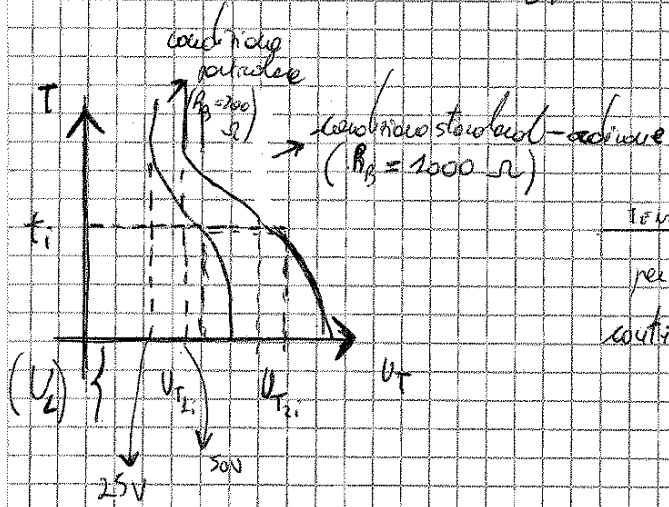
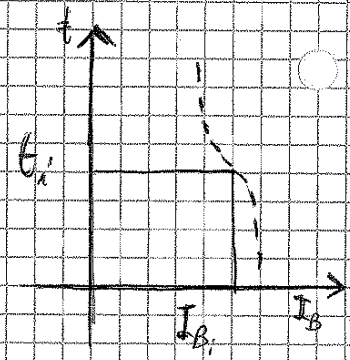
$$U_T = I_B (R_B + R_{FB})$$

→ $\frac{2000 \Omega}{100 \mu s}$

la norma dice R_B

• curva di sicurezza I_B / t

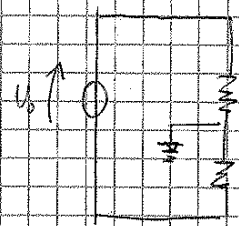
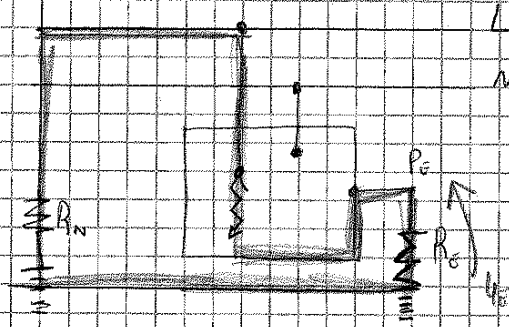
il posto di guasto quadrato dove lo fermare il contatto e trovare la relativa R_B



TENSIONI LIMITE: U_L tensione che può essere portata per un tempo indefinito
contiene: 25V

• Protezione per interruzione o autolimitazione nel sistema: (Monte di guasto: circolo in una spirale)

- 1) generatore
- 2) la corrente non fa salti nel circuito

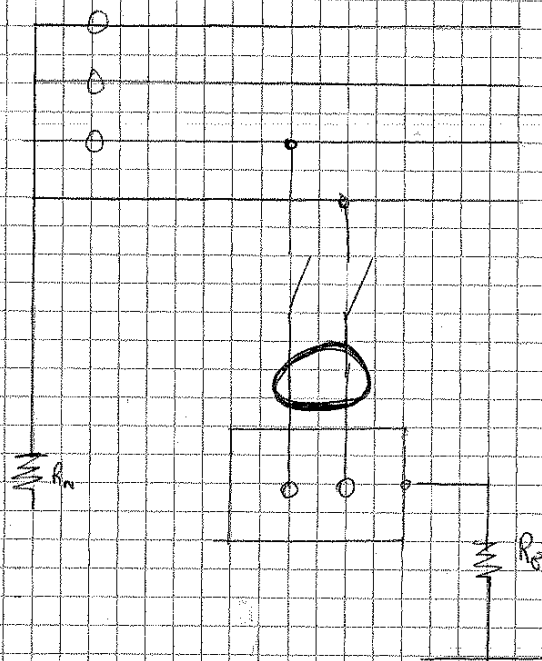
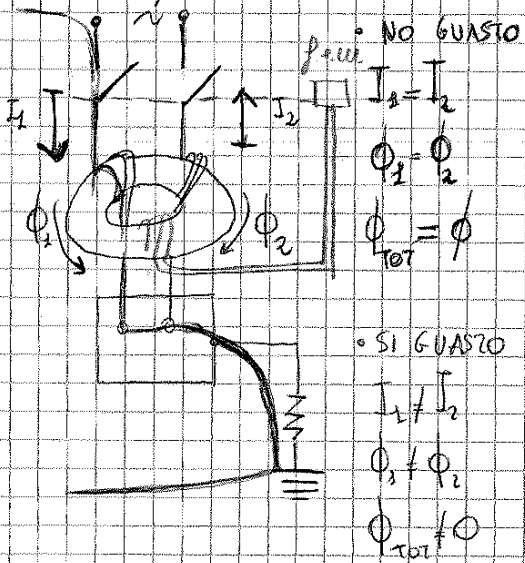


corrente di guasto è $I_g = \frac{U_0}{R_N + R_G}$

applica Ohm

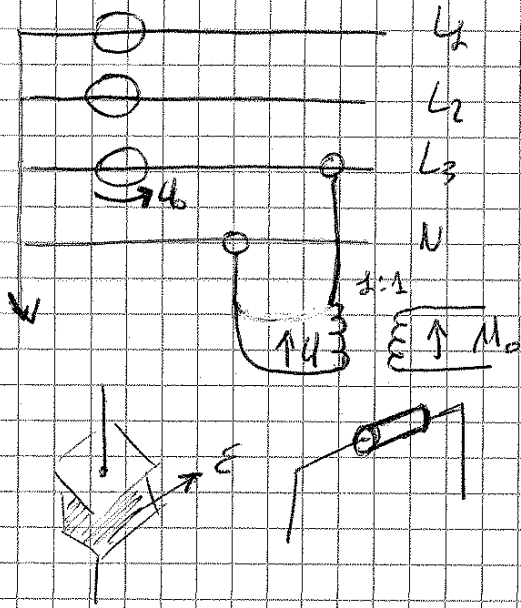
CAPIRE PRES!

Interruttore Differenziale: rilevava il flusso di corrente verso terra e si occupa del guasto a terra (obbligatoriamente con un circuito che entra e esente che esce, se il circuito è verso zero uguale → se il suo valore viene superato dall'interruttore esente di protezione in un tempo t_{acc})



Trasformatore con avvolgimenti separati:

n° spine primarie ognuna a $\frac{1}{n}$ tensione



• isole da terra

• prende un generatore

• rete → problema energia

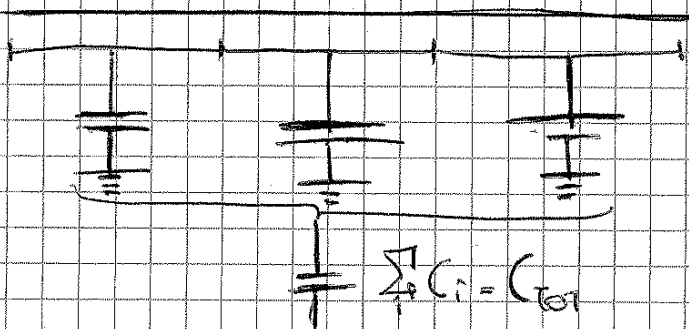
• con il generatore di isolamento

creo separazione ed il filo del circuito collegato a terra

→ primario → terminale collegati a terra

→ secondario → terminale non collegati

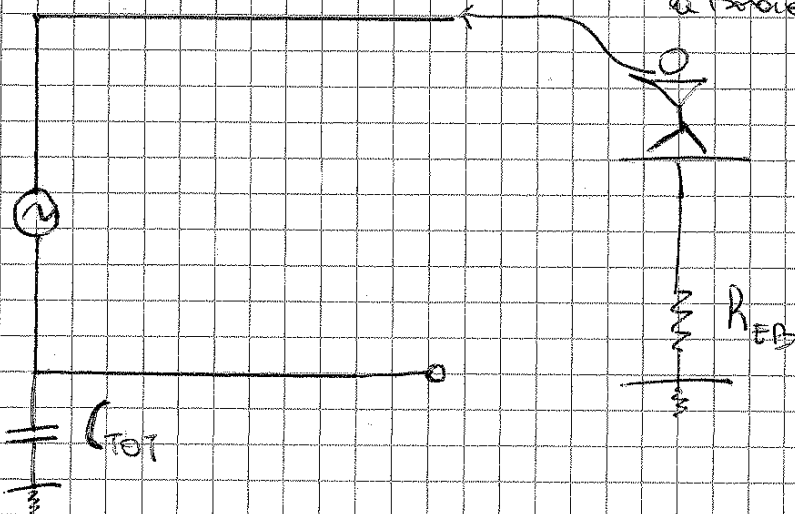
Un oggetto metallico ha capacità di tipo elettrostatico in quanto esiste, in un caso, una distanza tra gli elettrodi, maggiore sarà la capacità (sto che tutti gli oggetti metallici hanno una capacità e una resistenza verso terra).



ogni particolare ha una capacità verso terra

Capacità totale

Ma anche che c'è isolamento molto difficile a isolare elettricamente



posso usare gruppo elettrogeno / generatore

Se ho una trasformazione di isolamento con un questo, è in grado di verificare l'intero circuito protetto.

- Se faccio un circuito abbastanza poco esteso posso fare la separazione elettrica con un'alimentazione elettrica oppure con un trasformatore di isolamento

Per i contatti diretti c'è una protezione in più (protezione contatti diretti unipolare) che è una protezione addizionale → SEPARAZ. FISICA.

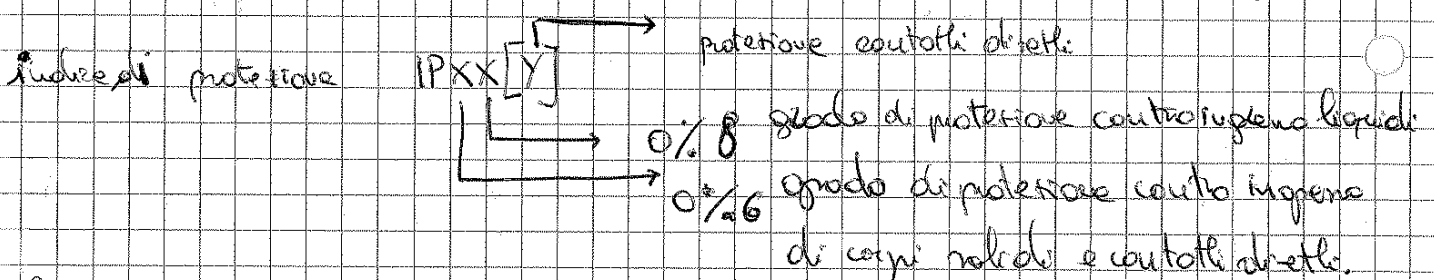
Contatti Diretti: contatti con tensione nel servizio ordinario (parte che normalmente è in tensione → manetto attivo).

Isolamento: dispositivo di materiale isolante che impedisce l'accesso alle parti attive e che può essere rimosso solo tramite distruttore

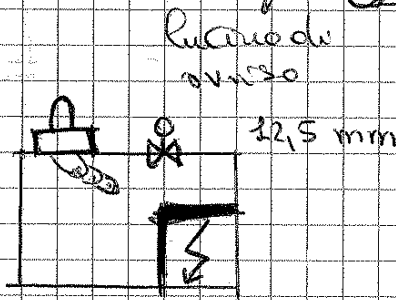
Involucro: Dispositivo di materiale isolante o conduttore che impedisce l'accesso alle parti attive e che può essere rimosso solo tramite un attrezzo.

Caso pratico: isolamento → si applica ai cavi (isolante lo toglia distruggendolo, l'involucro lo posso rimovere lo o sgancandolo) (smontare o rimovibile) → montaggio

Ventilazione: per l'energia elettrica prodotta che non viene che va dissipata



La protezione è contro i contatti diretti accidentali? Non c'è nessuna protezione contro le volatilità. Involucro testato a prova di dita → tenuto sullo standard del dito di prova (apparecchio metallico standard)



IP2X

nona contatto da due mani

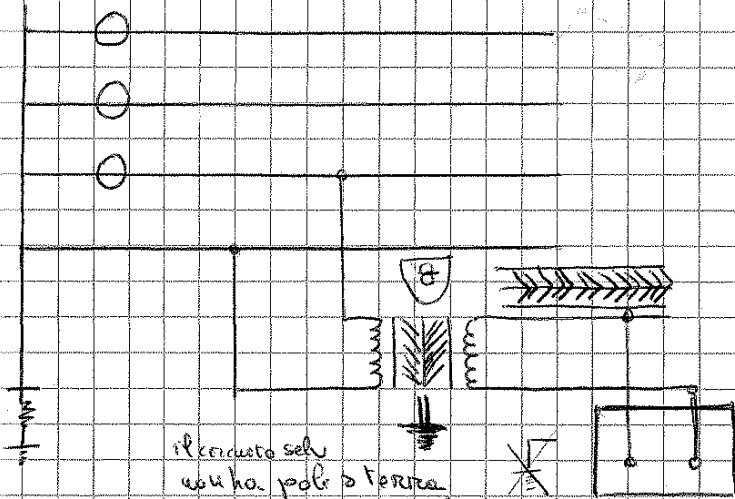
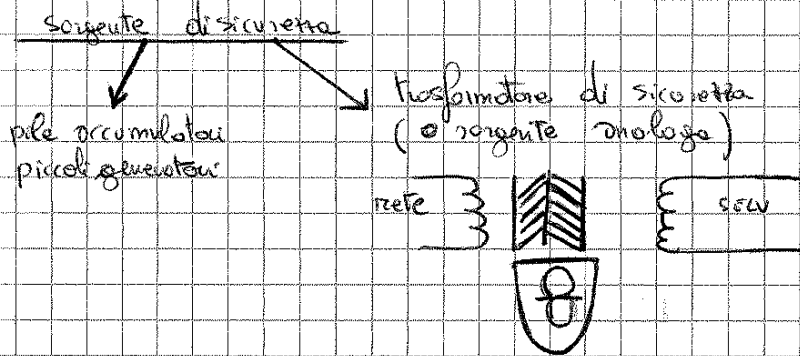
protezione sulla mano su circuito ordinario

LEZIONE 12/2/2022

Il concetto di Bassissima tensione si riferisce all'utilizzo di componenti solitamente bene che di per se non possono far male. Inoltre dobbiamo garantire che essi siano per un qualsiasi motivo: quindi abbiamo parlare di Bassissima tensione di sicurezza SELV (bassissima tensione di sicurezza - Safety extra low voltage)

- a → sorgente di sicurezza
- b → circuito SELV sia separato da altri circuiti
- c → il circuito SELV e gli apparecchi alimentati NON vanno collegati a terra.

I circuiti SELV vanno separati dal restante circuito perché se c'è un guasto nell'altro circuito non deve avere interferenze con il circuito SELV (E' obbliga prima l'utente che si dice che un solo guasto non può mettere a rischio le altre cose circostanti).



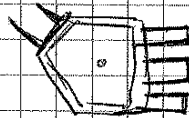
e le apparecchiature collegate ad un circuito SELV non vanno collegate a terra

PELV (bassissima tensione di protezione): è meno sicuro del SELV (in Italia non è praticamente usato).
 Si dice PELV se sono nodi a 50V o 25V ma non c

la spina con due poli



e



+ robusta

manca di manna a terra
usa lo materiale dell'isolamento

e smontabile



2 poli

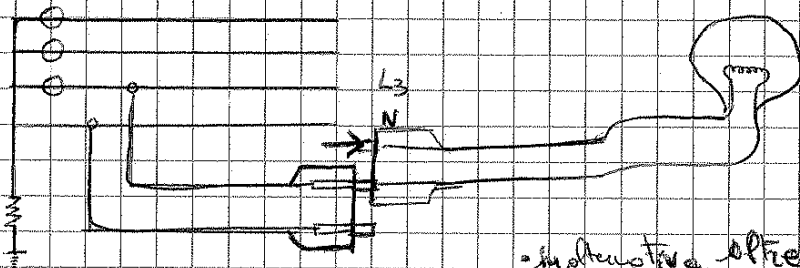
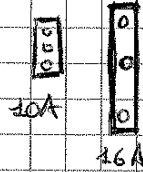
(esempio presa del pc)

prese a spina adesso diventano numero in Italia

tipo "Shuko" o "teobisco" (CEI 23-5)
migliore a quelle del PC (2 poli),
2 terminazioni laterali che fanno il collegamento
to di terra



tipo italiano (CEI 23-16)



• in alternativa al PE
però non lo fanno
perché sono a
potenza (vedi terra
consuma)

• FARFALLA: opposto che
rende la presa/pulsante
IP4X invece usa un
file di prova → remove non
for estrazione di un solo
braccio

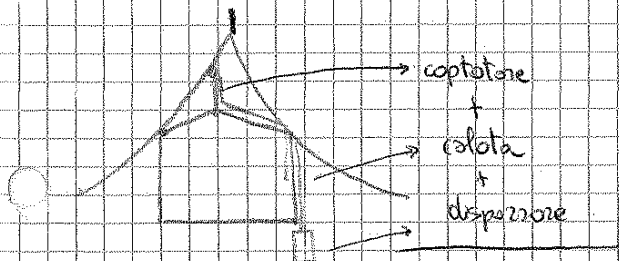
penicillina: fondamentale xk ^{così} ^{si} ^{chi} ^{spun}
subiti del cavo non si riflettono
ni non si (esempio togliere
la spina come la "finta di terra" haha! lol)

Tensioni pericolose x la zona condizionale non sono volti + picade

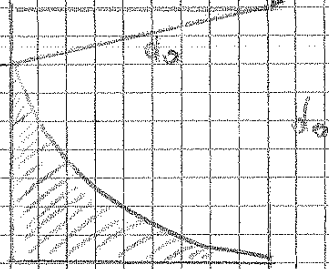
Condizioni elettriche molto precise in bagno x la presenza d'acqua, ma il rischio maggiore
è quando si è nella doccia / bagno invernali + bagnati. S: però di alcune prescrizioni che
vengono applicate al locale da bagno ≠ WC. Descritta: percorsi iniziali 1) abbiamo
PEB? 2) segnala curva di sicurezza? : Segue la curva di sicurezza x il bagno vuol dire
che l'utente opportunamente viene abbassato teoricamente (foto da proiettore) ed essendo questo
a tutto il condizionale / stabile → poco pratico

vuole la distinzione tra locale
condizionale e locale particolare

Lettive 19 / 1 / 2022



LPS esterno (lightning protection system)



metodo della "sfera rotolante"

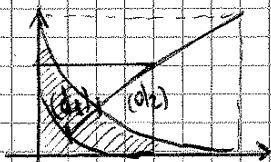
prendiamo una sfera di raggio pari a d_0 ; la poniamo a contatto con l'asta e la facciamo rotolare attorno

La zona che non viene "segnata" dalla sfera è quella protetta

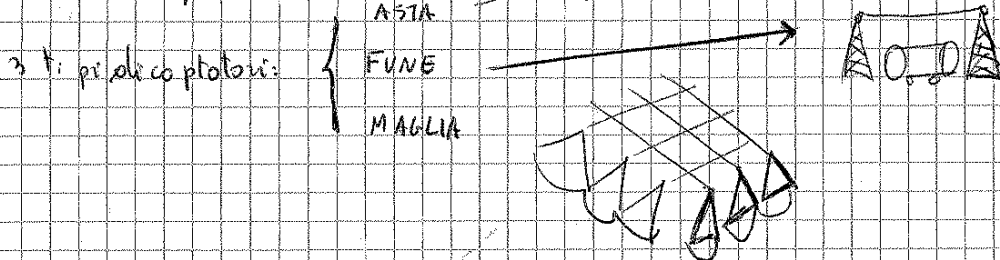
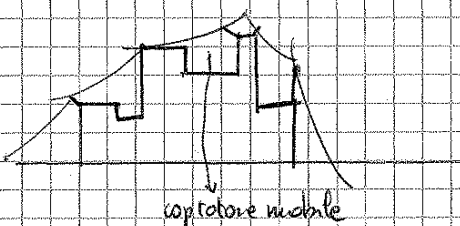
Se un coppotone non viene toccato dalla sfera rotolante è un coppotone inutile.

• Fulmini positivi / Fulmini negativi: ognuno ha la propria corrente media (colloca un distributore statistica). Quindi ne dipende anche la capacità dell'impianto (livello di protezione)

Un impianto più recente avrà raggio della sfera più piccolo.

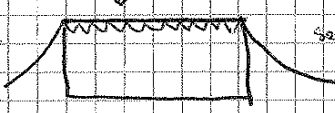
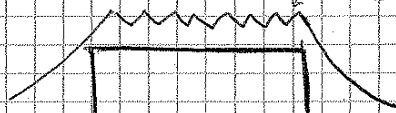


• più il fulmine è piccolo di corrente, più si scarica più vicino al punto la potenziale minore: quindi è più difficile proteggerli dai fulmini piccoli (pericolosi con la rete).



l'impianto distorsionato è obbligatorio

quando devo proteggere una sostanza infiammabile o esplosiva



se non c'è sostanza infiammabile o esplosiva posso aggiungere la maglia sul tetto, ma il lato di maglia deve rispettare la norma (x o senza zone picche)

1° è una categoria di LPS, naturali: elementi che sono già disposti naturalmente avendo una sezione metallica sufficiente. sono elementi sempre appartenenti alla struttura in quanto tale.

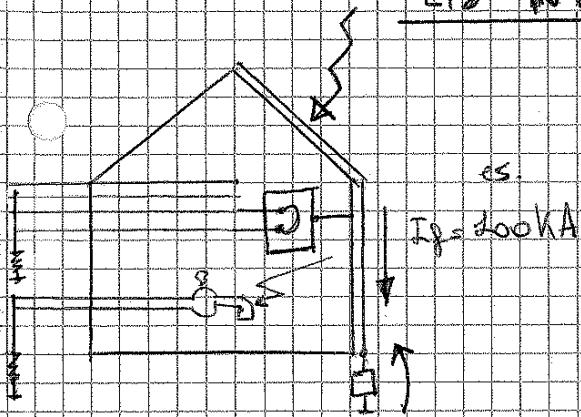
(CHIESA) → composite. → coperchio = arco

• de lousiere hanno spessore dipendente da una norma.

• Esempio (2): edificio con tetto metallico → fuge da coperchio metallico nel caso in cui venga colpito da un fulmine c'è la possibilità che si crei un buco (NOT SPOT)

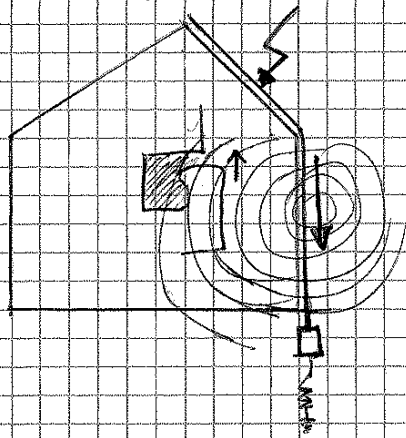
• Se possiamo utilizzare i ferri d'armatura come CAIAE potrebbe non elettricamente continue eventualmente si possono legare con il fil di ferro (o regolo d'aria), con morsetti, oppure possono isolarsi tra loro

LPS INTERNO



• la tubazione dell'acqua mantiene un potenziale basso

Ipotesi di un circuito che non entra ma genera un campo magnetico: LEMP: Light



• LPS interno e insieme di provvedimenti elettromagnetici per evitare scosse pendolare

• È costituito da isolamenti, ostacoli o comunemente collegamenti equipotenziali
 il collegamento è una volta o più fra diretto (collegam. tubo-LPS, così non avviene la ricerca tra i 2) oppure SPD (Surge protective Device): dispositivo di protezione contro le sovratensioni: in italiano sono chiamati ^{di sovratensione} sbrinatori o sbricatori: normalmente è un circuito aperto ma quando arriva la sovratensione diventa un corto circuito

• Quando si fa l'impianto di protezione contro i fulmini?

Da primo elemento è la natura di un edificio alto oppure basso. In più devo vedere dove (regionalmente) sto lavorando → c'è più rischio di fulmini a Bolzano che a Messina

$$R = F \times P \times M$$

Rischio di fulmine o elemento a rischio → probabilità di accadimento → magnitudo danno

→ criteri di rischio (anglos) → $R = N \cdot P \cdot L$