

elementi di un circuito

elementi passivi: resistore, condensatore, induttore  
elementi attivi: più di due morsetti, transistor  
ecc.; deve collegarli ad una  
fonte di alimentazione ecc.

1° elemento primo fondamentale: memristor

resistore con memoria

$$[ \gamma = R ]$$

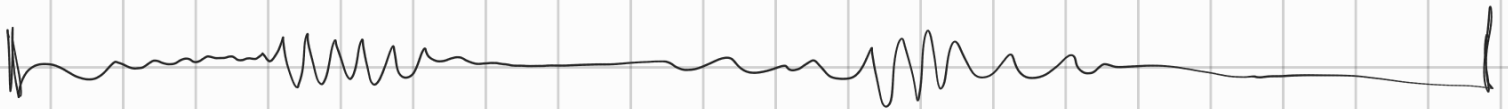
$$V = R(\varphi) i$$

può avere valori di resistenza  
in base allo stato  
precedente del circuito.

↓ lo si può implementare  
indirettamente ma

nel 2007 è stato dimostrato che è possibile  
realizzarlo in nanotecnologia.

// in un neurone si trovano anche 2 memristor



Analisi di reti resistive

- elementi descritti da relaz. algebriche  
lineari tra Tensione e corrente

$$V = R \cdot i$$

- Il sistema risultante è un sistema algebrico  
lineare.

## Analisi di circuiti elementari di reti resistive

→ Serie e parallelo di Bipl.

→ . . . . .

→ . . . . .

## Teoremi su reti resistive lineari

- Principio di sovrapposizione degli effetti

- Teorema di Thevenin, Teo. di Norton (principio di

- Teo. di Tellegen e conservazione della potenza e energia

• qualunque circuito è riducibile con tecniche delle maglie e nodi e tagli

## P<sub>2</sub> Analisi di reti con Memoria in regime sinusoidale

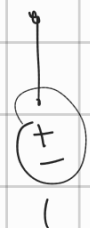
es.  $V(t) = L \frac{di}{dt}$  (reti in corrente alternata)

elemento con memoria

non ho più sistemi algebrici ma

Sistemi integro-differenziali

generatore di fem.



$$v_g(t) = V_m \cos(\omega t)$$

Ci sono generatori di ! tensione di questo tipo  
con fase transitoria (?)

il generatore fa in modo che le correnti del  
circuitino siano delle pure.

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi_i)$$

Metodo dei fasori: in un dominio trasformato  
( $\omega$ ), le reti vibrano ed erano descritte  
da sistemi algebrici, senza memoria,  
usando i metodi della prima parte.

• Bilanci energetici  
potenza in regime sinusoidale

Analisi circuiti del primo ordine nel dominio del  
tempo.

P3

Analisi di reti con memoria al metodo  
simbolico di Laplace.

Generatori (tensioni e.c.) non necessariamente  
sinusoidali ma trasformabili secondo  
Laplace.

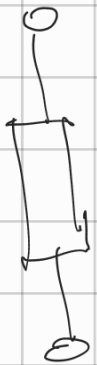
Il circuito trasformato è sempre  
senza memoria

qui però siamo nel dominio di  $S = \sigma + j\omega$   
e non  $j\omega$

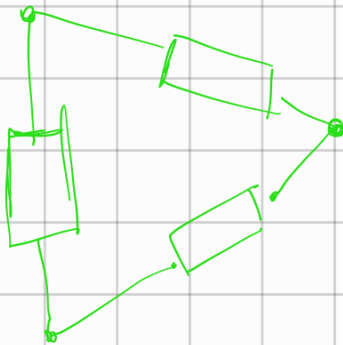
metodo dei fasori è un caso particolare  
di Laplace ( $\sigma = 0$ )



Bipolo: elemento a due morsetti.



interconnettiamo questi elementi



Più avanti elementi  
con  $N$  poli

Circuiti a  
 $\gamma$  Costanti concentrate

Circuiti più piccoli  
della lunghezza d'onda  
più piccole

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$D_{MAX} \leq \frac{1}{20} \lambda$$

dimensione massima  
di un circuito

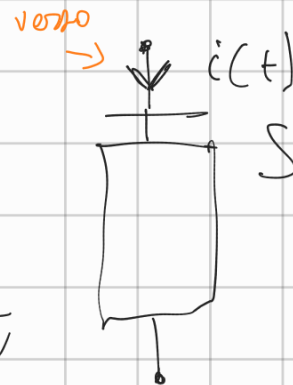
Mai usano frequenze basse, non ci curiamo delle dimensioni del circuito.

- Ci interessiamo alla Tensione e corrente ai morsetti occ.

Definisco la corrente elettrica.

Scegliamo il verso di riferimento per la corrente

VERSO DI RIFERIMENTO  
usa una freccia



L'intensità di corrente a  $t$   
è solo  $i(t)$

$$i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q(t)}{\Delta t}$$

dove  $\Delta q(t)$  è la

carica che attraversa S in  $\Delta t$  concordando con il verso indicato

- $i(t)$  è una grandezza scalare e algebrica (ha un segno, +, - o nullo)

algebrica  $\langle = \rangle$  CON SEGNO

- Se la corrente è dovuta per esempio al moto di cariche positive, il segno di  $i(t)$

e' positivo

$$i(t=1 \text{ sec}) = +3 \text{ Ampere}$$

Allora il verso del moto della carica  
e' verso l'alto con la pila



$$i(t=1) = +3 \text{ A}$$

Verso corrente  
carica

$$i(t=2) = -4 \text{ A}$$

verso della carica  
e' discorde con la  
pila

verso della carica  
discorde

NON può essere corrente se non ha  
stabilito un verso.

- Il verso di riferimento  $i(t)$  e' fissato  
ad arbitrio.

Verso di riferimento di  $i(t)$  e segno di  
 $i(t)$  permettono di determinare il verso  
effettivo di moto della carica

Vel(t)

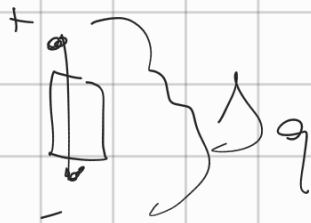
A horizontal line with an arrow at the right end, indicating a positive direction for velocity.

Def. di Tensione (diff di Pot)

Scegliamo verso di riferimento per la tensione indicandolo con + un morsetto, e - l'altro.

Scegliamo un percorso orientato che collega il + verso il -

Sia  $\Delta q$  una carica el. infinitesima che si muove lungo il percorso orientato.



$$V(t) = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta L}{\Delta q}$$

$\Delta L$  lavoro compiuto dalla forza di campo elettrico su  $\Delta q$  lungo il percorso orientato

$V(t)$  grandezza scalare e algebrica

es.  $V(t = 1 \text{ sec}) = +4 \text{ Volt}$

Ovvero il morsetto + è a pot. più alta del -

Verso  $V(t)$  è fissato in anticipo.

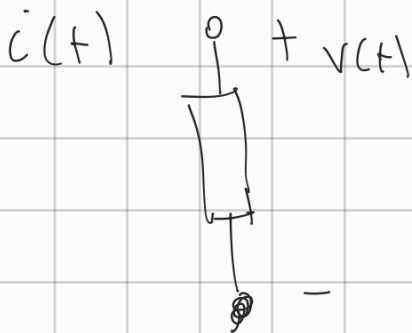
Verso di riferimento si fa capire quale morsetto è a potenziale più alto.

Verni convenzioni per tensione e corrente.

Definire prima un verso di riferimento per corrente e Tensione.

### CONVENZIONE degli UTILIZZATORI

fissato il verso di  $v(t)$ , il verso di  $i(t)$  è tale che la corrente entra dal più col esce dal meno.



importante anche se faccio il prodotto,  $V \cdot I$

$P(t) = V(t) \cdot i(t)$  è la Watt potenza assorbita dal bipolo a  $t$

Se è negativa è potenza erogata, se + è assorbita

$dW(t) = p(t) dt = v(t) i(t) dt$  Joule  
energia assorbita in intervallo di tempo finito

Se ho un intervallo di tempo

energia elettrica ASSORBITA dal bipolo nell

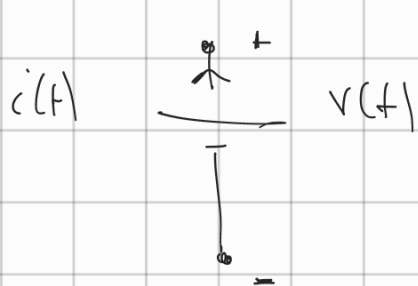
Internello

$$\int_{t_a}^{t_b} p(t) dt = \int_{t_a}^{t_b} dW(t) = \int_{t_a}^{t_b} v(t) i(t) dt \text{ Joule}$$

ASSOMBITA può UTILIZZARLO

## CONVENZIONE dei GENERATORI

Fisso un verso per  $v(t)$ , il verso della corrente si rif. va nel meno verso il più,



del dipolo

Potenza ENERGIATA  $\checkmark$  nell'istante  $t$   
 $p(t) = v(t) \cdot i(t) \text{ Watt}$

Energia elettrica erogata in  $dt$

$$dW(t) = p(t) dt = v(t) i(t) dt \text{ joule}$$

Energia erogata dal dipolo nell'intervallo di tempo  $[t_a, t_b]$

$$\int_{t_a}^{t_b} p(t) dt = \int_{t_a}^{t_b} v(t) i(t) dt$$

Defin. cost. Definizione di un dipolo

$\hookrightarrow$  Bipolo = legame che il dipolo stabilisce tra tensione e corrente

Legge che caratterizza completamente il  
comportamento elettrico del bipolo all'  
interno di un circuito.  
ci basta sapere il legame tra  $V$  e  $i$

Dobbiamo scegliere un verso di riferimento

$V(t) = R i(t)$  legge di ohm per utilizzatori

$V(t) = -R i(t)$  per convenzione dei generatori  
il segno della velos. costitutiva dipende  
dalla convenzione

Classifichiamo i Bipoli, attivi e passivi

Passivi: oggetti che al loro interno non  
hanno una sorgente di energia,  
non sono fonte di energia  
Se non quella che hanno assorbita più

Def. Bipolo passivo se

$$* W(t) = \int_{-\infty}^t p(t') dt' = \int_{-\infty}^t v(t') i(t') dt' \geq 0$$

energia assorbita complessiva dal bipo

Bipolo passivo se l'energia che  
fornisce non supera l'energia che ha  
assorbito nel tempo

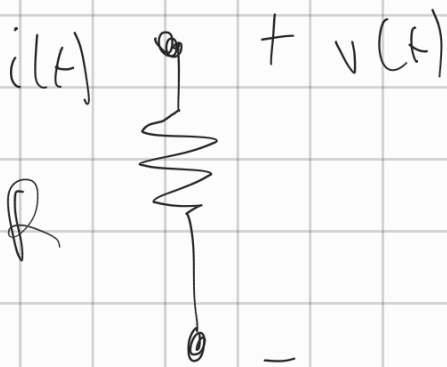
LUI può assorbire energia e fornire energia  
ma quella fornita è  $\leq$  di quella assorbibile

Un condensatore  $C$  assorbe energia e  
la fornisce

Se non vale la relazione  $*$  per un solo  
 $t$ , per un solo esperimento, il Bipolo si  
dice attivo

• Un Bipolo attivo ha al suo interno una  
sorgente di energia

Resistore ideale



Relaz. costitutiva

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

con  $R$  resistenza in  $\Omega$ m

oppure  $i(t) = G v(t)$  con  $\frac{1}{R} = G$

$G$  conduttanza in  $\Omega\text{m}^{-1}$

quale è  
facile da calcolare  
attraverso il resistore

Ideale perché non ci sono elementi parassiti ecc  
 $\hookrightarrow$  vale la legge di Ohm

Potenza el. assorbita da un resistore

$$p(t) = v(t) i(t) = R i^2 = G v^2(t) \text{ Watt}$$

Energia elettrica assorbita in  $dt$

$$dW(t) = v(t) i(t) dt = R i^2(t) dt = G v^2(t) dt \text{ Joule}$$

Passività

$$\begin{aligned} W(t) &= \int_{-\infty}^t p(t') dt' = \int_{-\infty}^t v(t') i(t') dt' \\ &= \int_{-\infty}^t R i^2(t') dt' = \int_{-\infty}^t G v^2(t') dt' \geq 0 \end{aligned}$$

• Un resistore ideale è passivo se

$$R \geq 0 \quad \text{e} \quad G \geq 0$$

un resistore è negativo se fornisce energia,  $R < 0$

$R$  neg si trova con un INIC

• Un resistore è senza memoria

Cioè la legge istantanea tra  $v(t)$  e  $i(t)$

• Caso particolare  
veloc. costantive

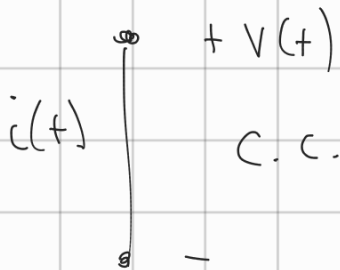
$$R = 0$$

C.C. conto  
circuito

$$V(t) = 0$$

$$\forall i(t)$$

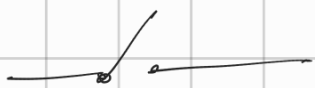
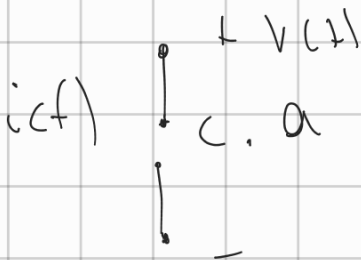
qualunque sia  
la corrente



Caso inverso, resistenza  
impedisce il

collegamento  
parassitario di corrente

$$i(t) = 0 \quad \forall V(t) \quad G = 0 \text{ ohm}$$



interruzione ideale = è un

C.C. negli interalli si trova in  
cui è chiuso e C.C. in cui  
è aperto

• C.C. e C.A. e interruzione ideali sono  
elementi inerti, non  
partecipano agli scambi energetici, ruolo

$$\circ i = 0 \quad \circ v = 0 \quad \Rightarrow p(t) = v(t)i(t) = 0$$

non si assorbe niente

Resistore al punto di vista energetico

$R > 0$ . l'energia elettrica assorbita  
che  $R$  in  $dt$  coincide con l'energia  
dissipata su  $R$  sotto forma di effetto Joule

Si ha  $dW = R i^2(t) dt = G v^2(t) dt = dQ \geq 0$

dove  $dQ$  è il calore sviluppato.

- avrebbe convertito elettricità e la trasformo istantaneamente in calore, che viene dissipata per convezione con l'aria

Non è possibile la transf. inversa  
dal calore non posso riproducere corrente

$$dW = dQ \quad \text{trasformazione irreversibile}$$

Se scaldo il resistore, è impossibile che  
restituisca in corrente.



un'antenna irradia, e  
mobile con un resistore

↓  
IRREVERSIBILE

Resistore  $\rightarrow$  Couplet. IRREVERSIBILE

Se abbiamo Condensatore  $\rightarrow$  induttore

$$dW = dE_C \geq 0$$

perfettamente  
irreversibile

possiamo violare completamente  
l'energia assoluta induttore.