La corrente alternata

Rappresentazioni dei segnali

-

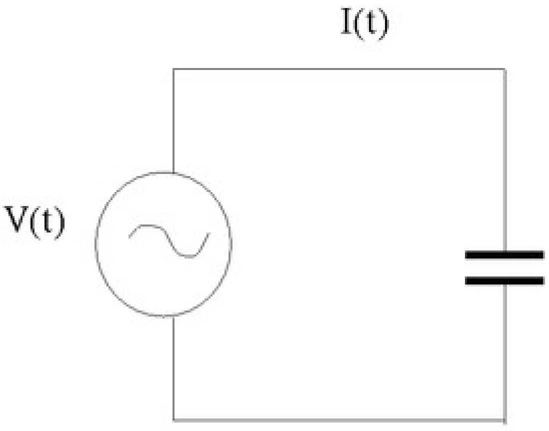
Vettoriale

Complessa

Esponenziale

Segnali sinusoidali

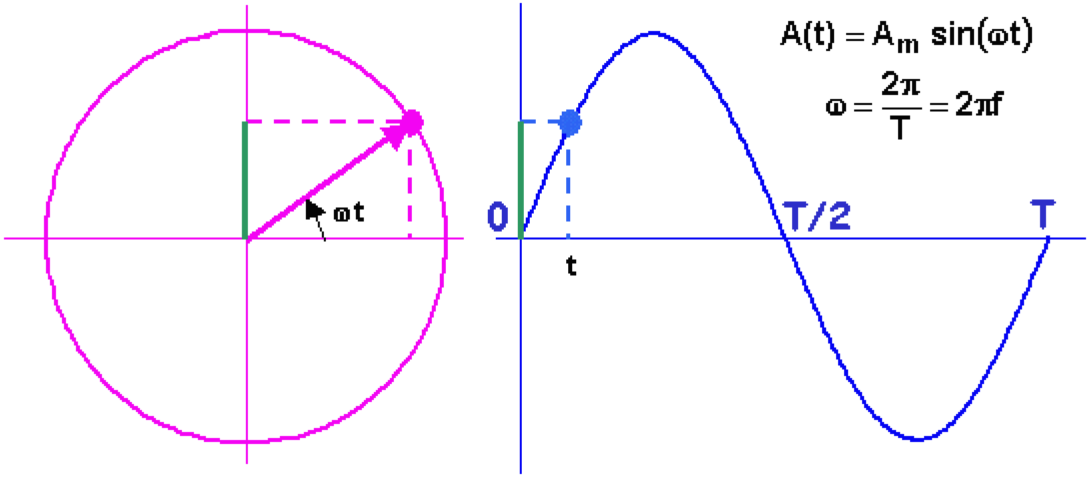
- Importanti perché:
  - La tensione disponibile nella rete di distribuzione elettrica ha forma sinusoidale
  - Qualunque forma d'onda può essere scomposta in una somma di sinusoidi



Rappresentazione vettoriale

$$v(t)=V_p sen(\omega t+\varphi)$$

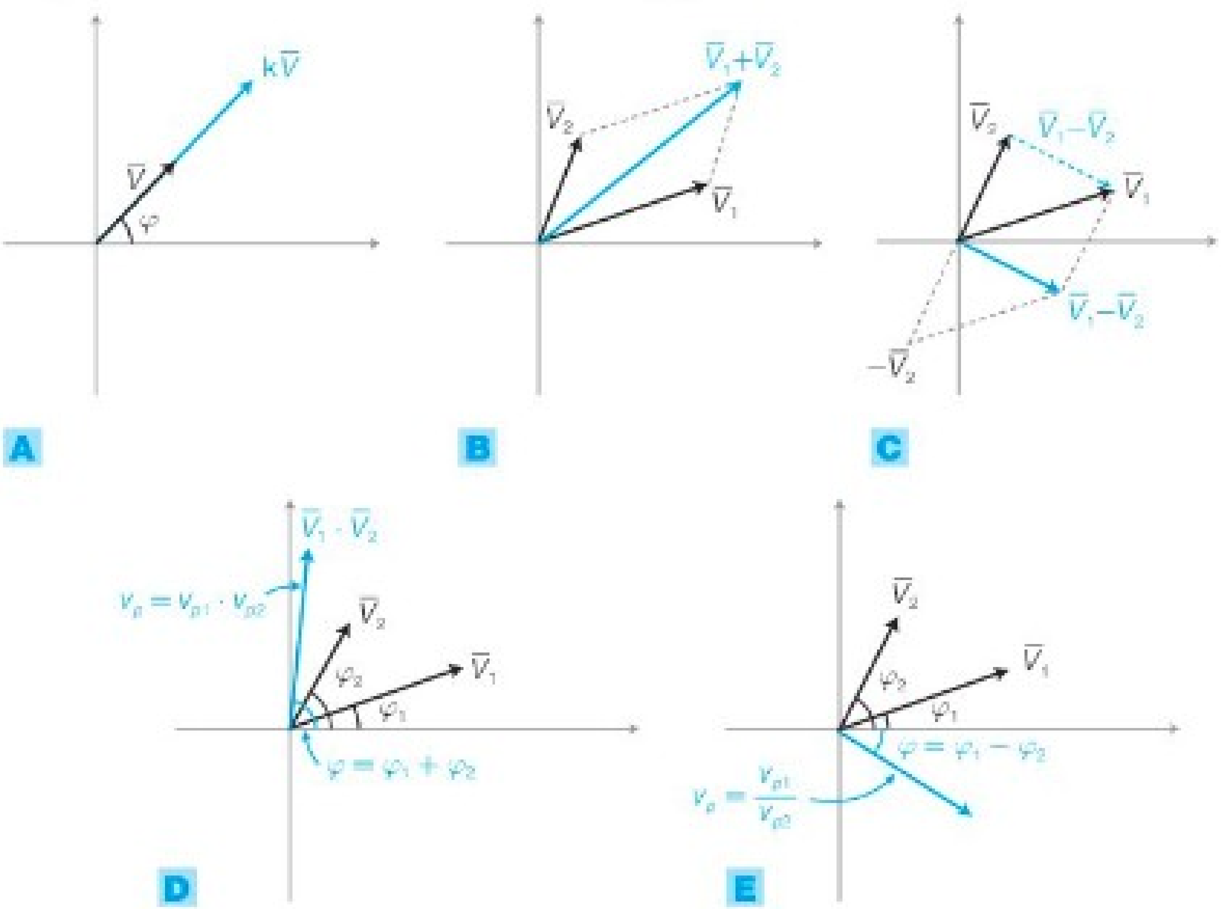
- La lunghezza del vettore corrisponde al valore di picco Vp
- L’angolo tra il vettore e l’asse orizzontale è detto *fase iniziale*
- L’angolo compreso tra due vettori rappresenta lo sfasamento



Operazioni tra grandezze sinusoidali

- Moltiplicazione per una costante (fase invariata)
- Somma e differenza (regola parallelogramma)
- Prodotto (somma delle fasi)
- Rapporto (differenze delle fasi)

Operazioni tra grandezze sinusoidali



Rappresentazione complessa (simbolica)

- V=a+jb
  - Dove a è la parte reale
  - Dove b è la parte immaginaria
  - Dove j*j=-1

Da cartesiane a polari

Cartesiane → Polari

Modulo: $$V_p = |\overline{V}| = \sqrt{a^2 + b^2} \qquad (\mathbf{2.2})$$

Argomento: $$\begin{cases} \varphi = \angle\overline{V} = \mathrm{arctg}\dfrac{b}{a} & (1° \text{ quadrante: } a > 0,\, b > 0) \\ \varphi = \angle\overline{V} = \mathrm{arctg}\dfrac{b}{a} + \pi & (2° \text{ e } 3° \text{ quadrante: } a < 0) \\ \varphi = \angle\overline{V} = \mathrm{arctg}\dfrac{b}{a} + 2\pi & (4° \text{ quadrante: } a > 0,\, b < 0) \end{cases} \qquad (\mathbf{2.3})$$

Da polari a cartesiane

Polari → Cartesiane

Parte reale: $a = \left|\overline{V}\right| \cos\varphi$ (2.4)

Parte immaginaria: $b = \left|\overline{V}\right| \operatorname{sen}\varphi$ (2.5)

Rappresentazione complessa

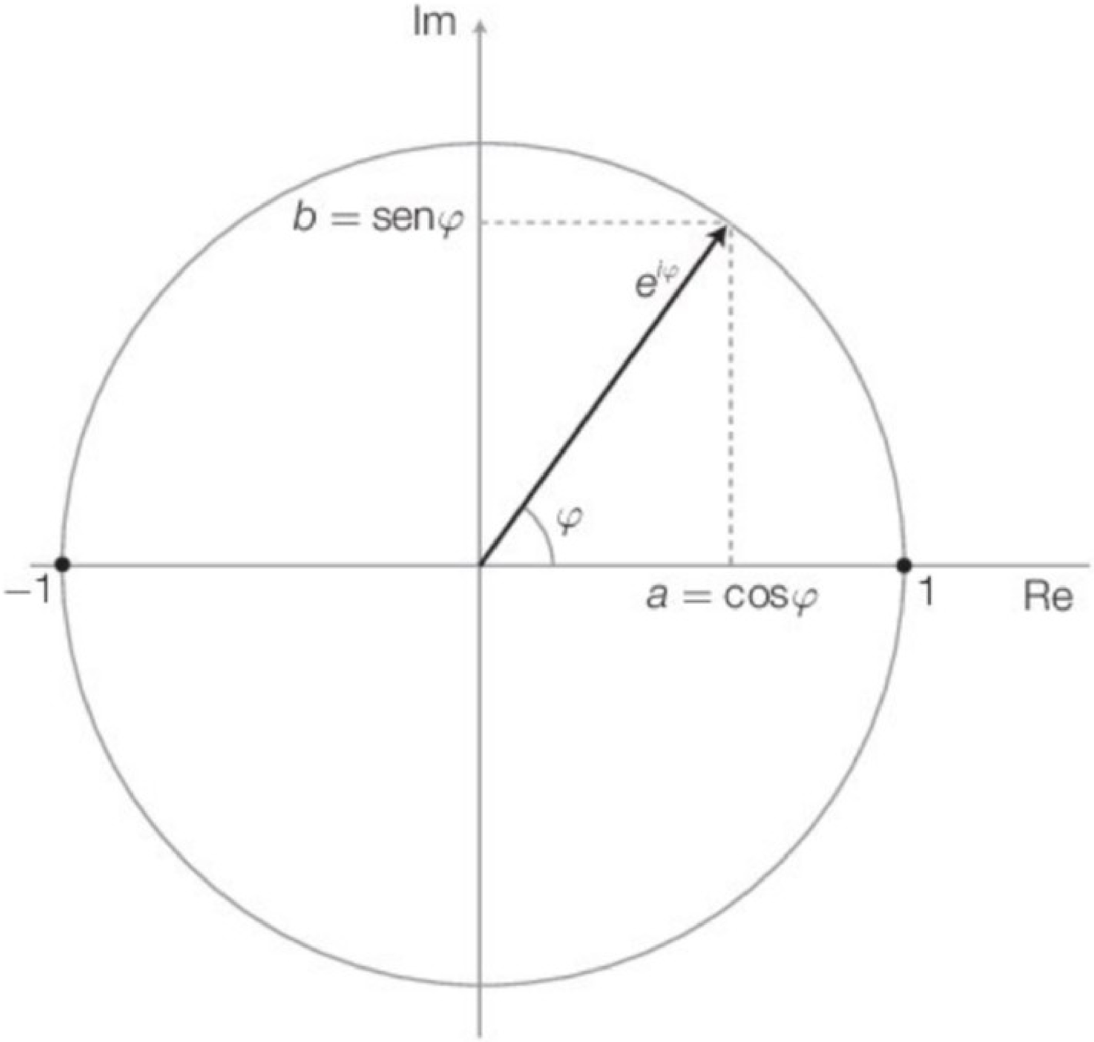
$$e^{j\varphi} = \cos\varphi + j sen\,\varphi$$

Parte reale (a)

Parte immaginaria (b)

$$\cos\varphi = \frac{e^{j\varphi} + e^{-j\varphi}}{2} \qquad \mathrm{sen}\varphi = \frac{e^{j\varphi} - e^{-j\varphi}}{2j}$$

Rappresentazione complessa



L’impedenza

Componenti reattivi

- Induttore

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

$$v(t)=\omega Lisen(\omega t+\varphi+\pi/2)$$

$$V=j\omega LI$$

- Condensatore

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

$$I=j\omega CV$$

Impedenza

$$\bar{Z} = \bar{V} / \bar{I}$$

Componente	Impedenza	Impedenza per $\omega \to 0$ (continua)	Impedenza per $\omega \to \infty$ (alta frequenza)
R 	$\overline{Z} = R$	$\overline{Z} = R$	$\overline{Z} = R$
L 	$\overline{Z} = j\omega L$	$\overline{Z} \to 0$ (cortocircuito)	$\overline{Z} \to \infty$ (circuito aperto)
C 	$\overline{Z} = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C}$	$\overline{Z} \to \infty$ (circuito aperto)	$\lvert\overline{V}\rvert$ (cortocircuito)

Impedenza in serie e parallelo

- **impedenze in serie**: $$\overline{Z}_{eq} = \overline{Z}_1 + \overline{Z}_2 + \overline{Z}_3 \quad (2.18)$$
- **impedenze in parallelo**: $$\frac{1}{\overline{Z}_{eq}} = \frac{1}{\overline{Z}_1} + \frac{1}{\overline{Z}_2} + \frac{1}{\overline{Z}_3} \quad (2.19)$$

Risonanza serie

- Induttore e condensatore collegati in serie
- Se $W_s = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ allora il bipolo si comporta come un cortocircuito, in quanto le tensioni sono uguali ma opposte in fase
- Fattore di qualità Q per valutare il peso della resistenza R

$$Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

Risonanza parallelo

- Induttore e condensatore in parallelo
- Se $W_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ il bipolo si comporta come un circuito aperto, dato che le correnti sono uguali ma opposte in fase
- Fattore di qualità parallelo Q $Q = R\sqrt{\frac{L}{C}}$

Condensatori reali

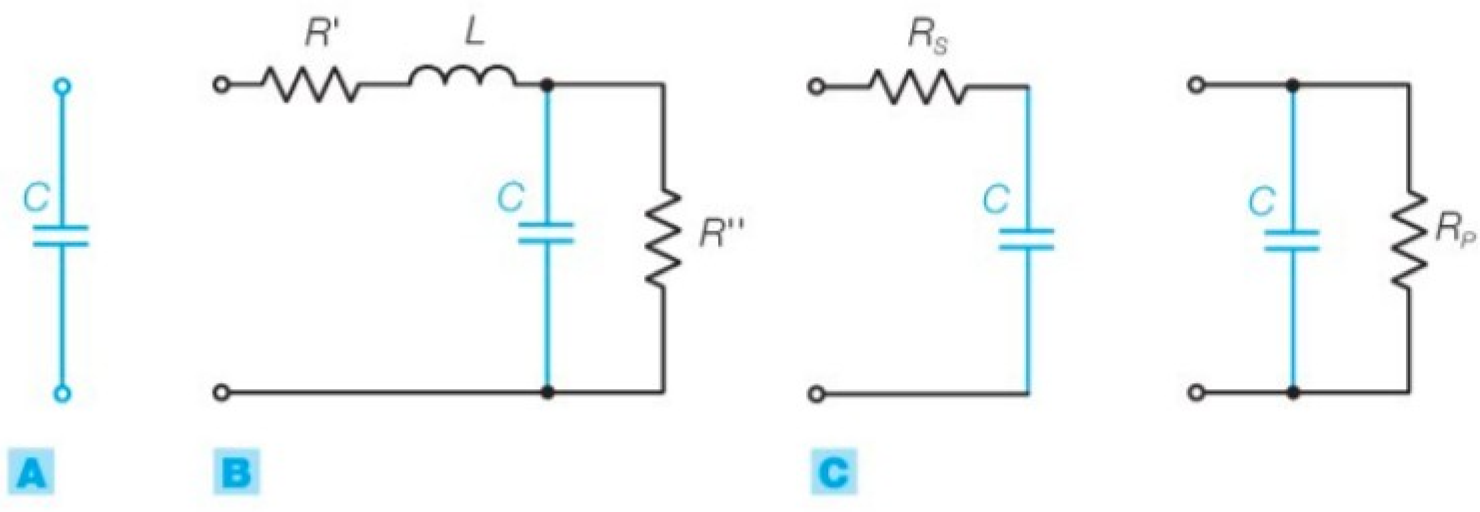
- R’ e L rappresentano la resistenza e l’induttanza dei reofori e delle armature
- R’’ tiene conto delle perdite nel dielettrico

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Se f<<f0, allora ho la figura C

$$\mathrm{tg}\delta = \frac{R_S}{X_C} = \omega C R_S = \frac{X_C}{R_P} = \frac{1}{\omega C R_P}$$

Fattore di perdita



Induttori reali

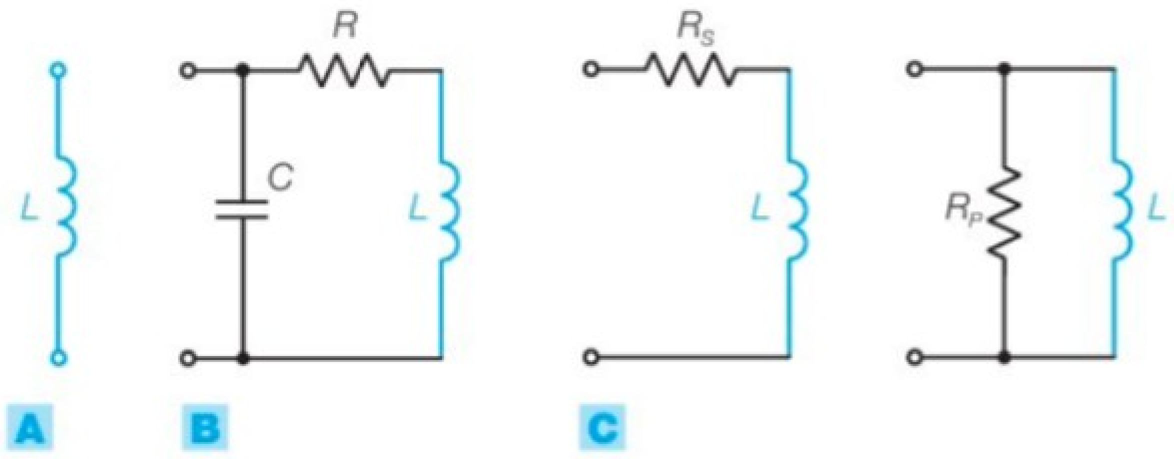
- R esprime le perdite ohmiche, magnetiche e dielettriche
- C tiene conto della capacità distribuita tra le spire

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Se f<<f0, allora ho la figura C

$$Q = \frac{X_L}{R_S} = \frac{\omega L}{R_S} = \frac{R_P}{X_L} = \frac{R_P}{\omega L}$$

Fattore di merito



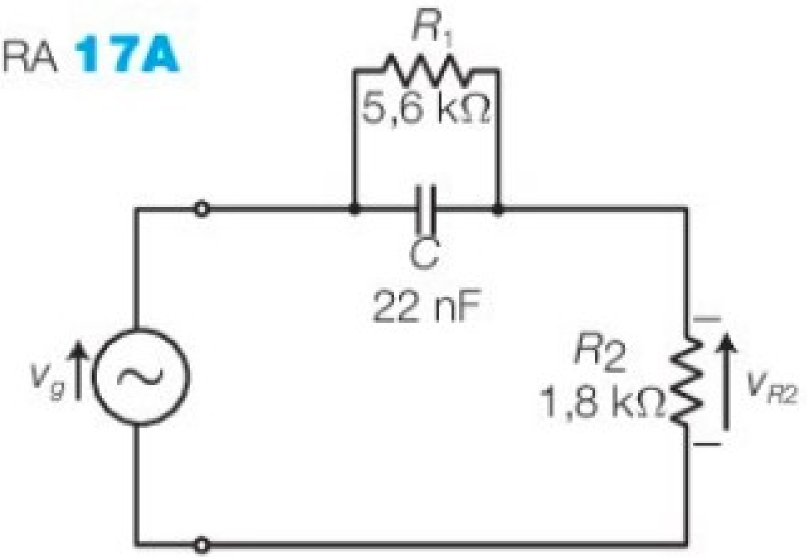
Metodo simbolico

1) Si associano alle tensioni ed alle correnti i corrispondenti numeri complessi
2) Stessi principi e teoremi del regime continuo
3) Ogni tensione o corrente nella rete risulterà sinusoidale, a causa della linearità, con frequenza di valore identico a quello dei generatori e ampiezza e fase ricavabili dai moduli e argomenti trovati

Esercizio

Calcolare il modulo e l'argomento della tensione v_{R_2} nel circuito di FIGURA **17A** e disegnare il diagramma vettoriale delle tensioni v_{R_2} e v_g, supponendo v_g di frequenza $f = 2$ kHz, di ampiezza $V_g = 2\ V_{eff}$ e di fase iniziale nulla ($\varphi = 0$).

FIGURA **17A**



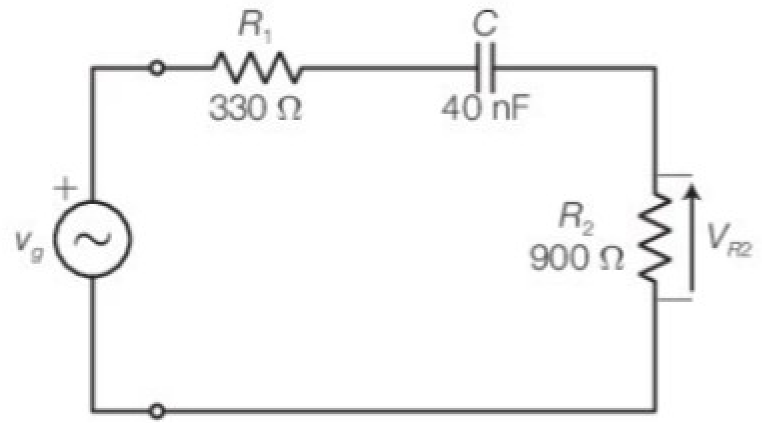
Esercizio

10 Disegnare il diagramma vettoriale delle tensioni V_{R2} e V_g, nel circuito di FIGURA **46**, supponendo V_g con frequenza $f = 1{,}2$ kHz, modulo $|V_g| = 2{,}5\ V_{eff}$ e di fase iniziale nulla. Calcolare, inoltre, il modulo e l'argomento della tensione V_{R2}.

$[|V_c| = 0{,}64 V_{eff};\ \angle V_c = -1{,}2\ \text{rad}]$

Vedi ESEMPIO **5**

FIGURA **46**



La potenza sinusoidale

La potenza

- Ogni bipolo è sottoposto a corrente *i(t)* e tensione *v(t)*
  - V=ZI
  - V e I sono sfasati di un argomento y
  - V è in anticipo se y>0, in ritardo se y<0

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

La potenza

$$P(t)=V_p sen(\omega t+\varphi) I_p sen(\omega t)=\frac{1}{2} V_p I_p \cos(\varphi(1-\cos 2\omega t))+\frac{1}{2} V_p I_p sen(\varphi) sen(2\omega t)$$

Potenza attiva

Potenza sempre positiva, assorbita dal bipolo, viene trasformata in calore o lavoro utile

Potenza reattiva

Ha valore medio nullo e rappresenta la potenza alternativamente immagazzinata e ceduta dal bipolo

La potenza attiva

Fattore di potenza

$$P = V_{eff} I_{eff} \cos(\varphi) \, [Watt]$$

$$V_{eff} = Vp/2 \; e \; I_{eff} = Ip/2$$

Argomento di Z

Potenza media dissipata in calore su un bipolo in regime sinusoidale

La potenza reattiva

$$Q = V_{eff} I_{eff} sen(\varphi)[VAR]$$

Potenza media alternativamente immagazzinata e ceduta dal bipolo

La potenza apparente

$$S = V_{eff} I_{eff} [VA]$$

Corrisponde all’ampiezza dell’oscillazione della potenza istantanea e la cui conoscenza può essere utile per il dimensionamento di conduttori e generatori

Il rifasamento degli impianti industriali

Conseguenza dello sfasamento

- La componente di una componente reattiva produce uno sfasamento tra tensione e corrente
  - Questo fa sì che la potenza realmente sfruttata dal carico (*potenza attiva*) sia inferiore si un fattore cos(phi) (*fattore di potenza*) a causa della *potenza reattiva*

Conseguenza dello sfasamento

- Questo scambio di potenza reattiva provoca una corrente sulla linea di collegamento tra generatore e carico e la relativa dissipazione per effetto Joule
  - Bisognerebbe sovradimensionare i cavi di trasporto e le macchine generatrici

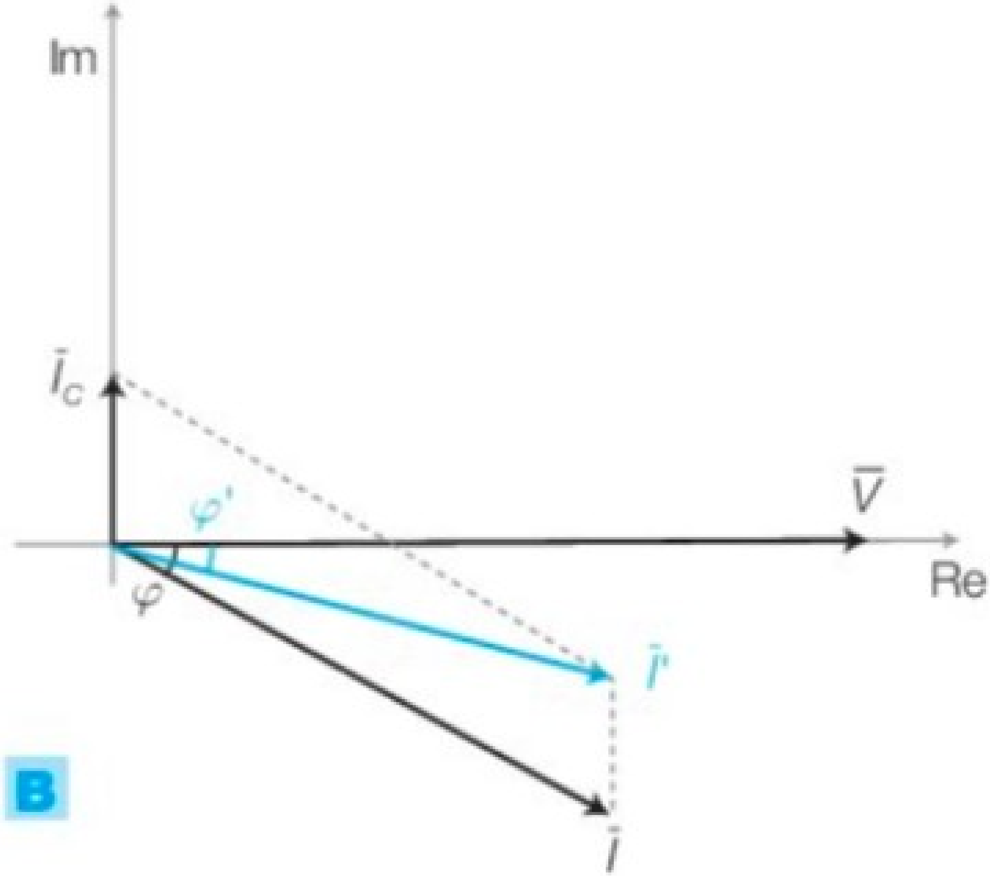
Rifasamento

- Per ridurre i fenomeni negativi, si inserisce, in parallelo al carico, una batteria di *condensatori di rifasamento*
  - Questi compensano, parzialmente, la reattanza induttiva del carico e aumentano quindi il *fattore di potenza*

Vecchio sfasamento   Nuovo sfasamento

$$C_{rifas} = \frac{P\left(tg\left(\varphi\right) - tg\left(\varphi'\right)\right)}{\omega V^2}$$

Rifasamento



Normativa sul rifasamento

- Per carichi con P>15kW, l'utente deve avere un fattore di potenza >=0.9
  - Se compreso tra 0.7 e 0.9, può pagare una penale o rifasare
  - Se sotto a 0.7 deve per forza rifasare

Vantaggi del rifasamento

- Diminuisce la potenza apparente dell’utenza e quindi si riduce la corrente nella linea
- Diminuiscono le perdite di potenza in linea e quindi aumenta il rendimento della linea
- Diminuendo la corrente si può progettare la linea con una sezione inferiore
- Diminuiscono le cadute di tensione sulla linea
- L’utenza rifasata richiede minore potenza e quindi l’ente che eroga può soddisfare più richieste

Il sistema trifase