



ELETTROTECNICA

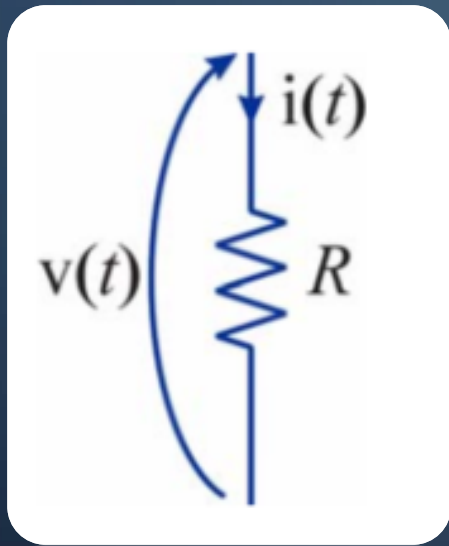
POTENZA ATTIVA, REATTIVA E APPARENTE

RIFASAMENTO

FONTI

- <https://slideplayer.it/slide/17642711/>
- http://www.die.ing.unibo.it/pers/mastri/didattica/ce_d3_15/01-regime-sinusoidale.pdf
- Pezzi. Elettrotecnica generale 2a edizione. Zanichelli

POTENZA ATTIVA (SULLE RESISTENZE)



Anche in regime sinusoidale se una resistenza è attraversata da una corrente si riscalda, questo significa che l'energia elettrica viene trasformata in calore

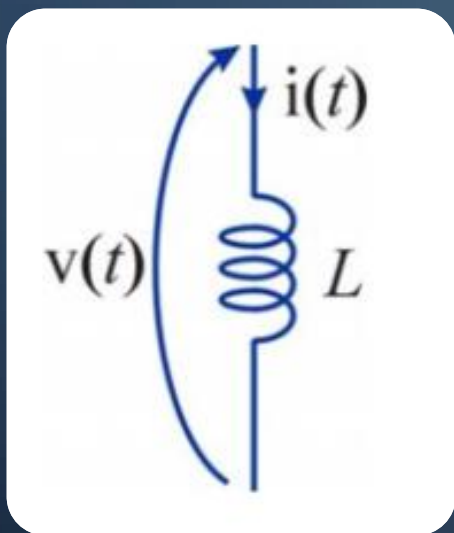
Se $i(t) = I_M \sin(\omega t + \varphi_I)$ la potenza media convertita è

$$P = R * I_{eff}^2 \quad [\text{W}]$$

dove $I_{eff} = \frac{I_M}{\sqrt{2}}$

POTENZA REATTIVA (SUGLI INDUTTORI)

Se un induttore è fatto di ottimo conduttore la potenza dissipata è trascurabile. Si osserva inoltre che quando si toglie la tensione che alimenta un circuito induttivo la corrente non svanisce immediatamente.



L'analisi quantitativa (che non viene riportata) dimostra che nell'induttore si ha un immagazzinamento di potenza che in regime sinusoidale “rimbalza” tra generatore e induttore e che quindi non può essere sfruttato.

Questa potenza immagazzinata prende il nome di potenza reattiva e quantitativamente vale

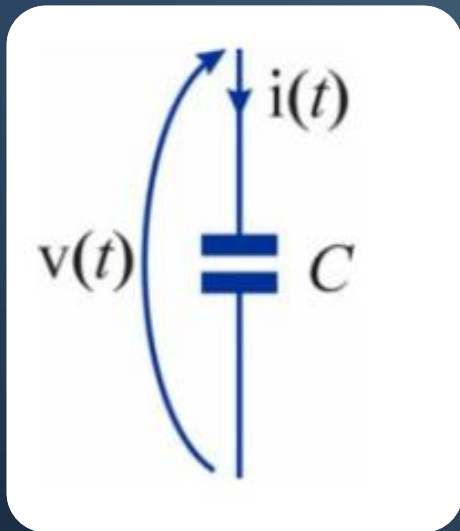
$$Q_L = X_L * I_{eff}^2 \quad [\text{VAR}]$$

L'unità di misura della potenza reattiva è il [VAR] (volt-ampere reattivo)

POTENZA REATTIVA (SUI CONDENSATORI)

Anche sui condensatori vi è energia immagazzinata (potenza reattiva) che vale

$$Q_C = X_C * I_{eff}^2 \quad [\text{VAR}]$$

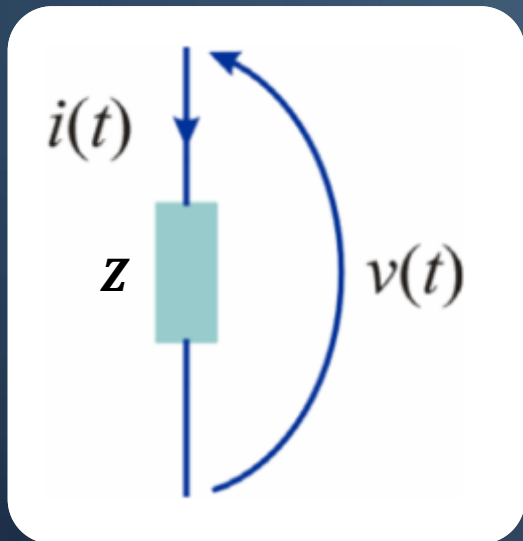


tuttavia essa è di tipo diverso rispetto a quella immagazzinata negli induttori e le due si compensano.

Convenzionalmente si attribuisce:

- segno + alla potenza reattiva immagazzinata dagli induttori
- segno - alla potenza reattiva immagazzinata dai condensatori

POTENZA ATTIVA E REATTIVA SU UN BIPOLO GENERICO



Preso un bipolo generico in esso vi può essere dissipata potenza attiva e contemporaneamente vi può essere potenza reattiva immagazzinata

Se l'impedenza del bipolo è $Z = R + jX$ si ha

$$P = R * I_{eff}^2 \quad [W]$$

$$Q = X * I_{eff}^2 \quad [VAR]$$

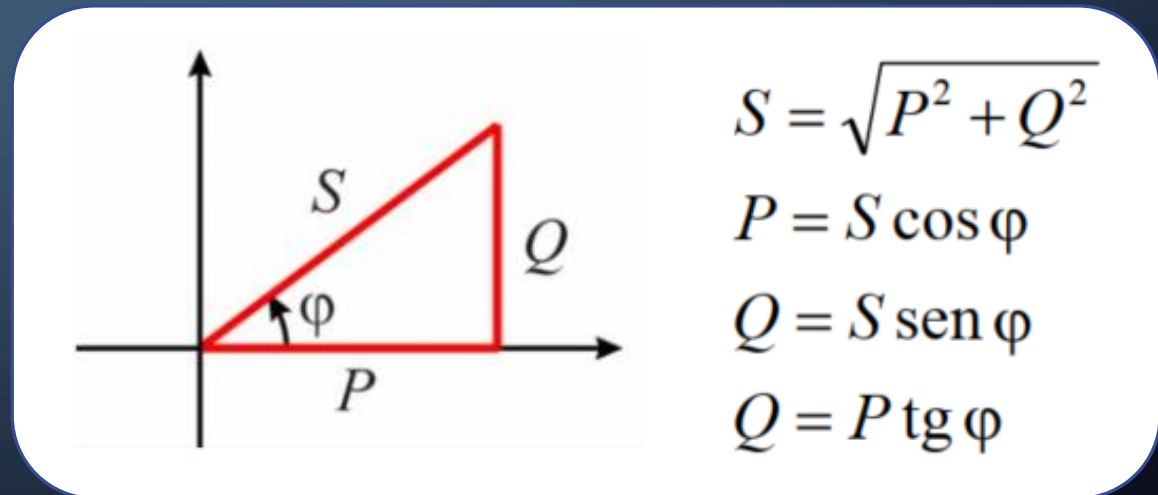
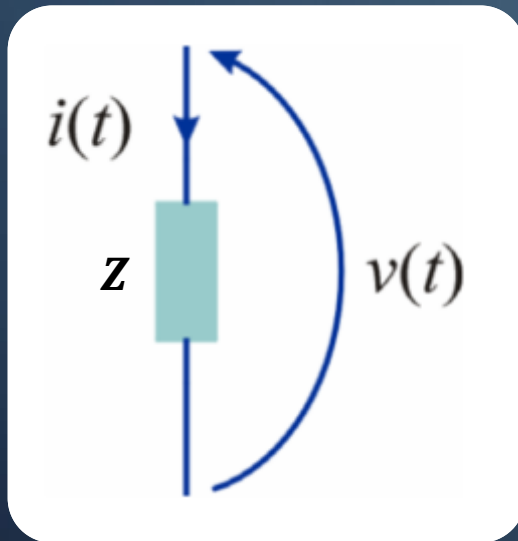
POTENZA ATTIVA, REATTIVA E APPARENTE

La potenza apparente è definita dalla relazione

$$S = V_{eff} * I_{eff} \quad [\text{VA}]$$

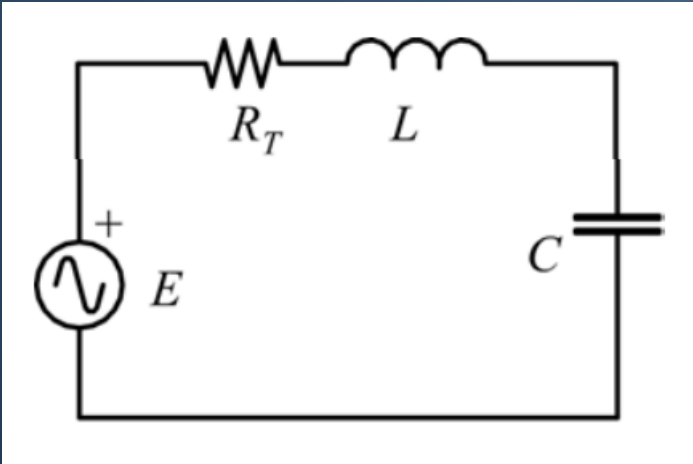
L'unità di misura della potenza apparente è il volt-ampere.

Se P e Q sono rispettivamente la potenza attiva e reattiva su un bipolo, la rappresentazione grafica della loro relazione con la potenza apparente è:



dove φ prende il nome di angolo di sfasamento ed è la fase di Z

ESEMPIO:



Calcolare la potenza apparente sapendo che

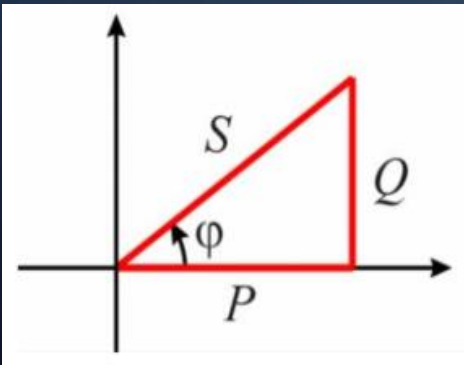
$$P_A = 10 \text{ [W]}$$

$$Q_L = 15 \text{ [VAR]}$$

$$Q_C = 5 \text{ [VAR]}$$

soluzione:

$$S = \sqrt{P_A^2 + (Q_L - Q_C)^2} = \sqrt{10^2 + (15 - 5)^2} \\ = 14.14 \text{ [VA]}$$



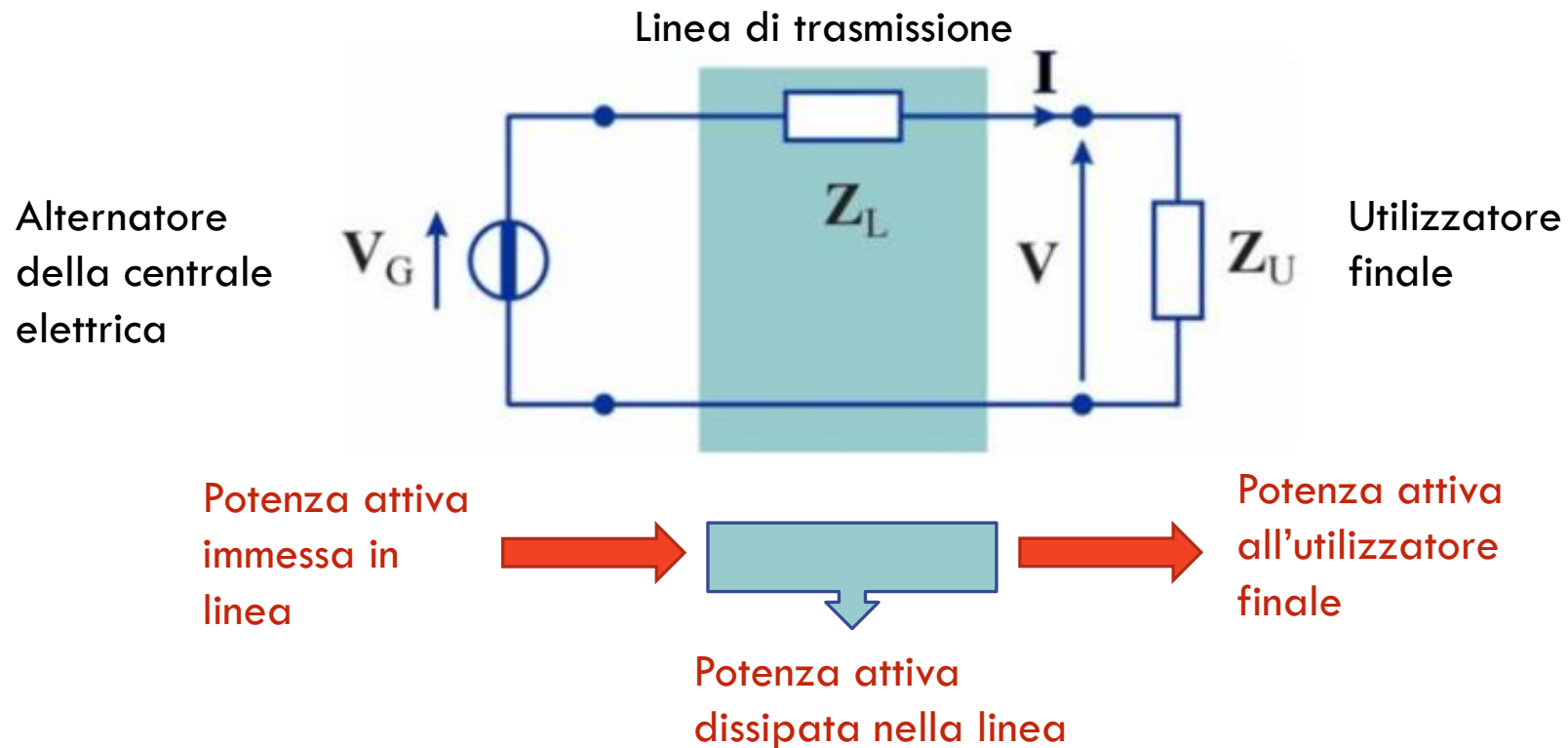
$$\varphi = \text{arctg} \left(\frac{P_A}{Q_L - Q_C} \right) = \frac{\pi}{4}$$

N.B. Se non si conoscono R , L e C non è possibile determinare il modulo di Z , ma solo la sua fase

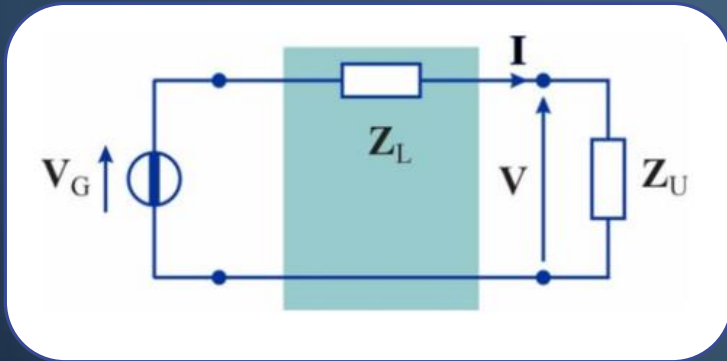
DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA (1/2)

Per comprendere il problema del rifasamento è necessario fare preventivamente un ragionamento sul sistema di distribuzione dell'energia elettrica.

Uno schema semplificato è quello di figura:

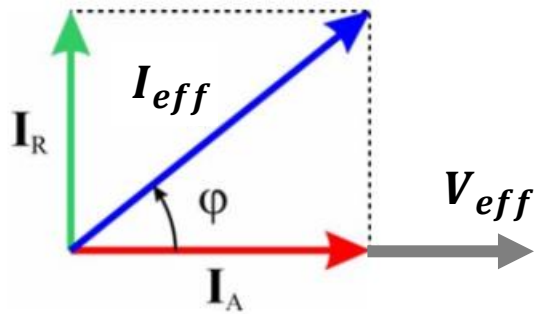
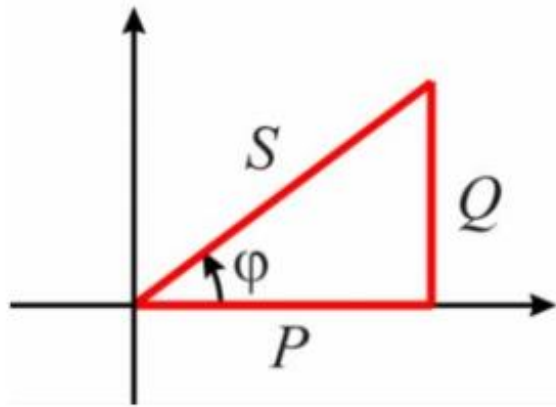


DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA (2/2)



- L'utilizzatore finale paga solo la potenza attiva che consuma
- Il produttore paga la potenza attiva che immette in linea
- Per massimizzare i guadagni è necessario che la potenza persa in linea sia più piccola possibile
- Queste perdite dovute ad effetto Joule valgono
$$P_L = \text{Re}\{Z_L\} * I_{eff}^2 = R_L * I_{eff}^2$$
- Non potendo agire significativamente su R_L , quindi sui cavi, per ridurre le perdite è necessario tenere più bassa possibile la corrente in linea

FATTORE DI POTENZA



Poiché è necessario fissare la tensione al carico (per gli utenti italiani tipicamente 230 V o 400 V efficaci), a parità di potenza attiva P sul carico, il modulo della corrente I_{eff} vale

$$I_{eff} = \frac{P}{V_{eff} \cos(\varphi)}$$

e quindi dipende dal valore di $\cos(\varphi)$ che prende il nome di fattore di potenza.

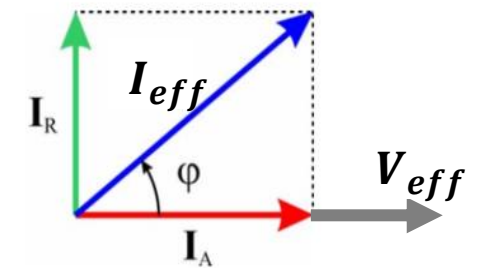
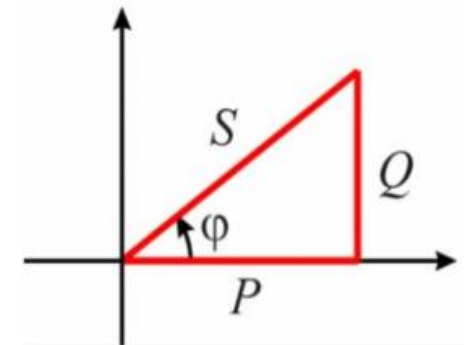
Maggiore è il fattore di potenza (il valore massimo è 1), minore è la corrente I_{eff} trasmessa in linea per garantire la potenza attiva richiesta

RIFASAMENTO (1 / 3)

$\cos(\varphi)$ basso (quindi φ elevato) è svantaggioso per il fornitore dell'energia elettrica e se il valore medio mensile del fattore di potenza risulta inferiore a certi limiti vengono applicate delle maggiorazioni sul costo dell'energia.

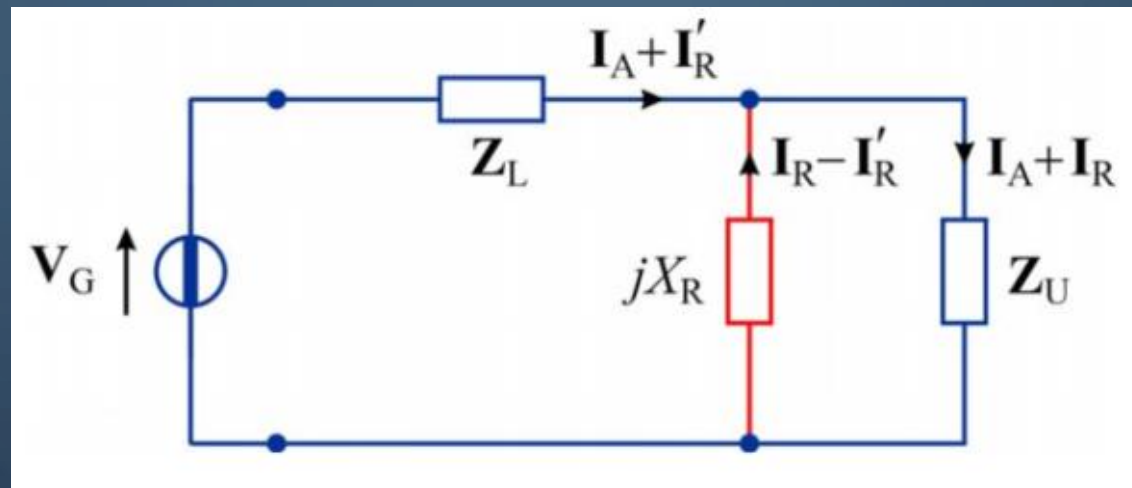
Le norme attuali, per impianti a bassa tensione con potenza impegnata maggiore o uguale a 15 kW, prevedono:

- per $\cos(\varphi) \geq 0.9$ nessuna penale
- per $0.7 \leq \cos(\varphi) < 0.9$ pagamento di una penale
- per $\cos(\varphi) < 0.7$ l'obbligo dell'utente di rifasare, ovvero provvedere ad aumentare il fattore di potenza



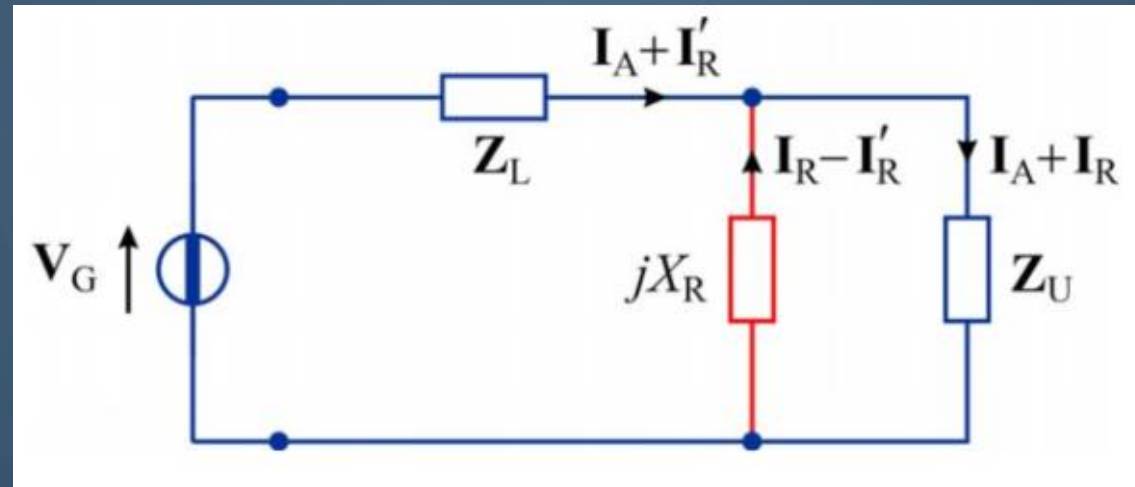
RIFASAMENTO (2/3)

Il rifasamento avviene collegando in parallelo al carico un bipolo puramente reattivo con reattanza di segno opposto a quella dell'utilizzatore stesso



Se il carico è ohmico-induttivo ($X_U > 0$ e quindi $\varphi > 0$), che è il caso più comune (la corrente elettrica è utilizzata per alimentare motori), la reattanza X_R deve essere negativa (è necessario quindi inserire un condensatore)

RIFASAMENTO (3/3)



Se la reattanza X_R è dimensionata in modo corretto, gli scambi di potenza reattiva avvengono soprattutto tra il carico Z_U e jX_R

In questo modo la corrente reattiva I'_R che scorre lungo la linea si riduce.

Si tratta ora di capire come dimensionare correttamente il rifasamento.

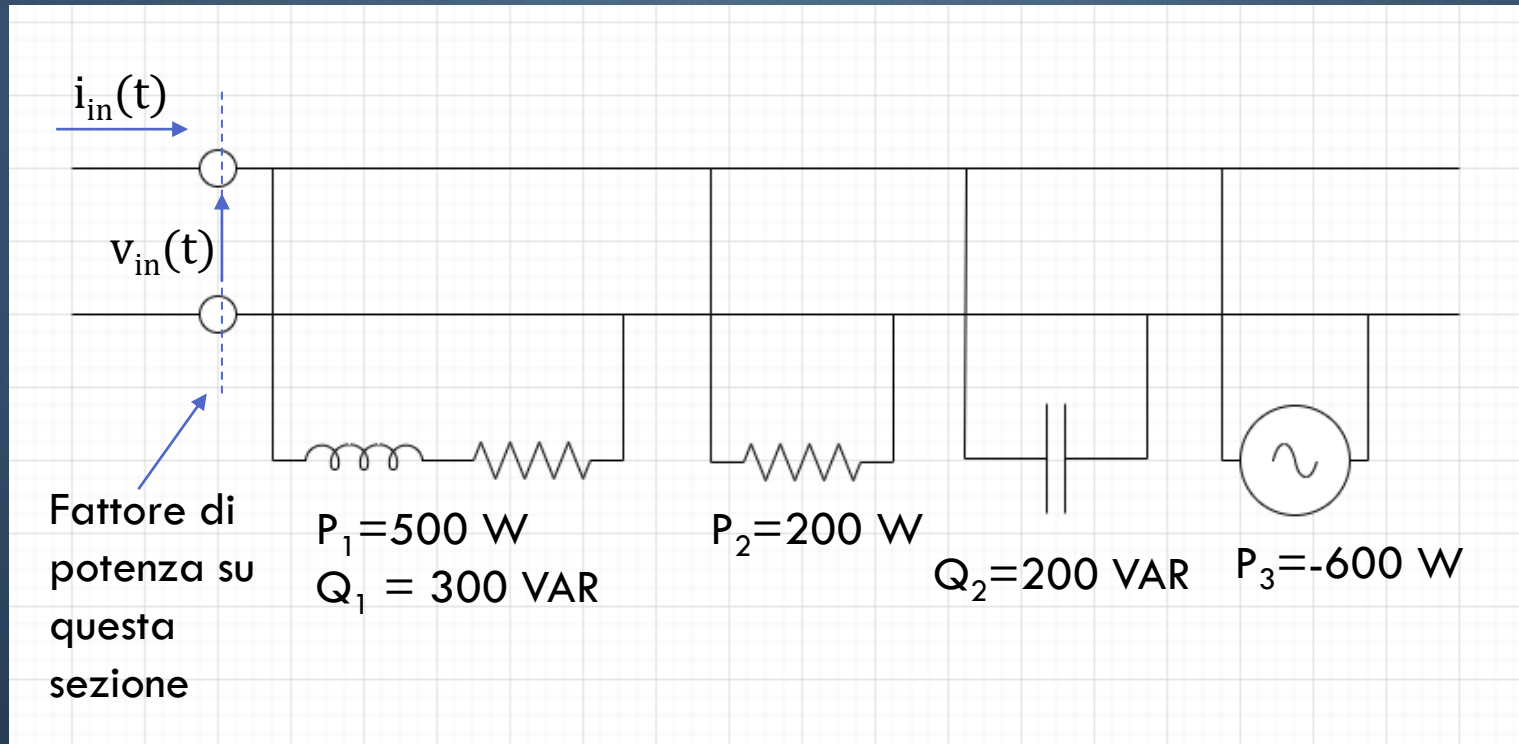
TEOREMA DI BOUCHEROT

In un circuito composto da più bipoli i quali impegnano le potenze attive P_1, P_2, \dots, P_N e reattive Q_1, Q_2, \dots, Q_N , la potenza attiva totale è data dalla somma algebrica delle singole potenze ($P_{TOT} = P_1 + P_2 + \dots + P_N$) e la potenza reattiva totale è data dalla somma algebrica delle singole potenze reattive ($Q_{TOT} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N$).

La potenza apparente totale si calcolerà con la formula

$$S_{TOT} = \sqrt{P_{TOT}^2 + Q_{TOT}^2}$$

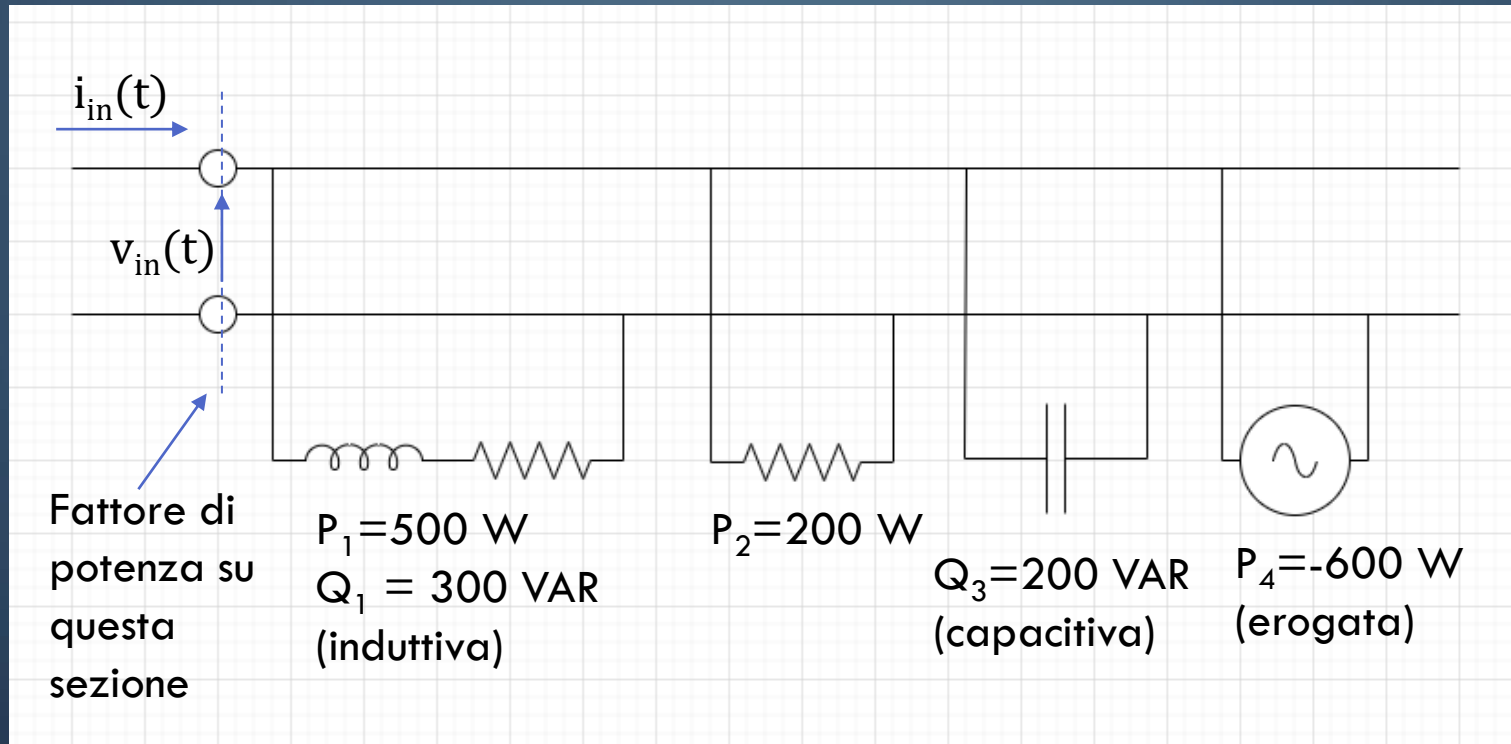
ESEMPIO (1/4)



Si calcoli il fattore di potenza all'ingresso di un circuito costituito da un carico ohmico-induttivo (500 W, 300 VAR), da un gruppo di resistenze (200 W), da un condensatore (100 VAR) e da un generatore che eroga solamente potenza attiva (600 W).

Successivamente rifasare completamente il carico.

ESEMPIO (2/4)

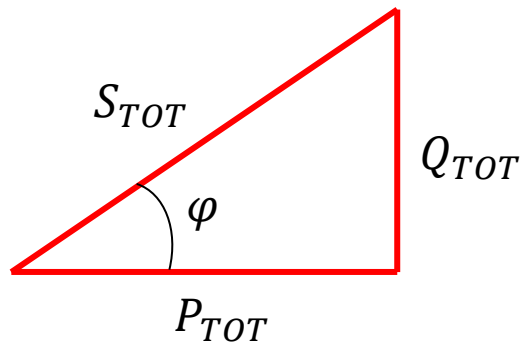


Per il teorema di Boucherot:

$$P_{TOT} = P_1 + P_2 - P_4 = 500 + 200 - 600 = 100 \text{ W}$$

$$Q_{TOT} = Q_1 - Q_3 = 200 \text{ VAR}$$

ESEMPIO (3/4)



$$P_{TOT} = 100 \text{ W}$$

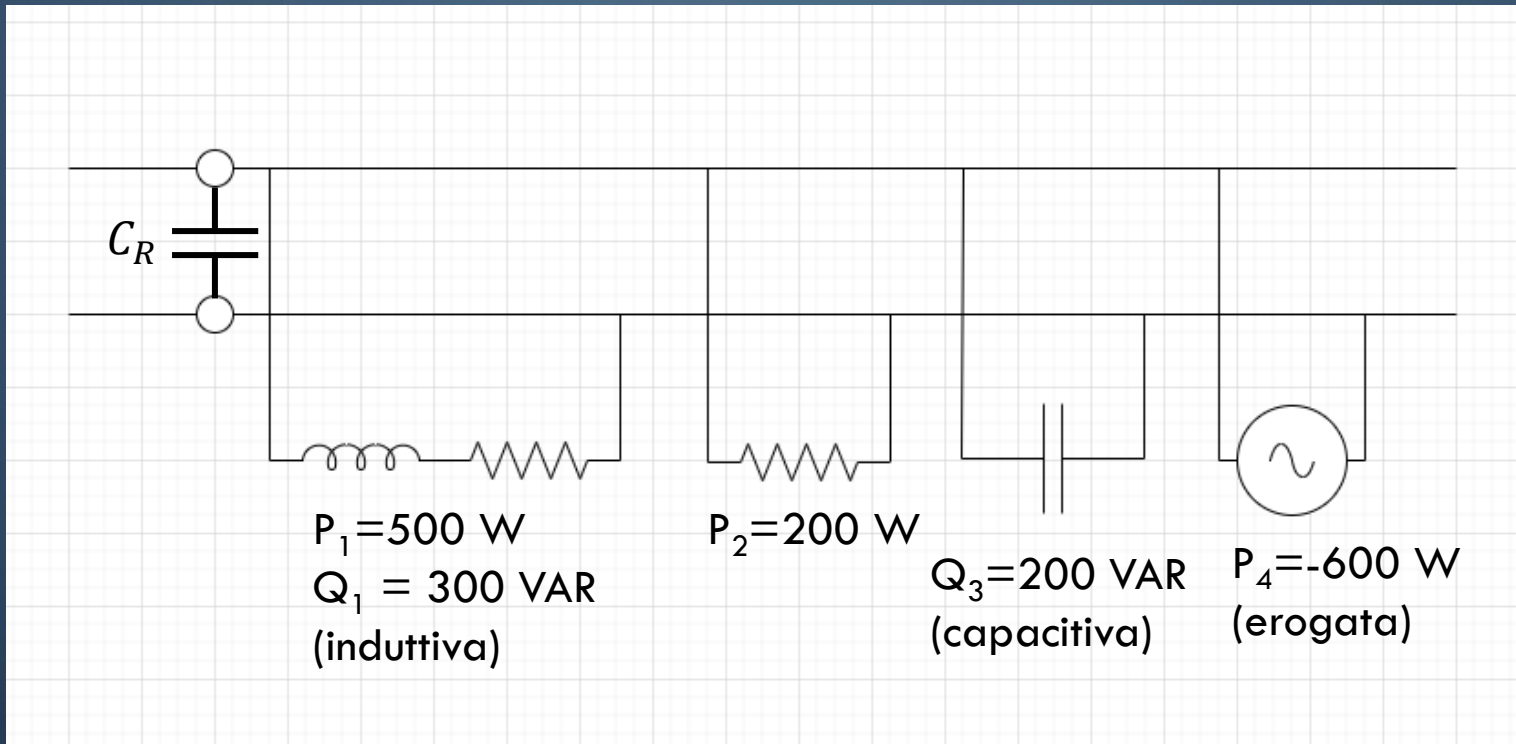
$$Q_{TOT} = 200 \text{ VAR}$$

$$\varphi = \text{arctg} \left(\frac{Q_{TOT}}{P_{TOT}} \right) = \text{arctg} \left(\frac{200}{100} \right) = 63.43^\circ$$

Il fattore di potenza è $\cos(\varphi)$

$$\cos(\varphi) = \cos(63.43) = 0.45$$

ESEMPIO (4/4)



Per rifasare completamente è necessario inserire un condensatore C_R che fornisca una potenza reattiva di 200 VAR (capacitivi). Se $f = 50 \text{ Hz}$ e la tensione efficace di ingresso è $V_{eff} = 230 \text{ V}$, allora

$$C_R = \frac{Q}{V_{eff}^2 \omega} = \frac{200}{230^2 * 2 * \pi * 50} = 12.03 \mu\text{F}$$