

LE POTENZE NEL SISTEMA TRIFASE

Per il teorema di Boucherot relativo alle potenze e valido in qualunque sistema (monofase, polifase) si richiama la parte generale in

Distinguiamo il caso di carico squilibrato e quello di carico equilibrato.

- **A) Carico trifase squilibrato**

Si calcolano le potenze di ogni singola impedenza di carico e poi

1) si sommano numericamente le singole potenze attive per ottenere la potenza attiva totale P_T del carico;

2) si sommano algebricamente le singole potenze reattive per ottenere la potenza reattiva totale Q_T del carico (col segno + i carichi R-L; col segno - i carichi R-C);

3) si sommano vettorialmente le singole potenze apparenti per ottenere la potenza apparente totale S_T del carico. E' possibile però determinarla più semplicemente col teorema di Pitagora.

Si può verificare che in presenza di carichi squilibrati la potenza istantanea complessiva non è costante, ma pulsa tra un minimo e un massimo due volte per ogni periodo della corrente. La potenza attiva del sistema è la potenza media in un periodo intero ed è la somma delle potenze reali delle singole fasi (v. il modulo di "[Misura delle potenze](#)").

- **Calcolo del fattore di potenza convenzionale:**

$$\cos \Phi_T = \frac{P_T}{S_T}$$

in cui Φ_T rappresenta l'angolo di cui occorrerebbe ruotare rigidamente la terna delle correnti rispetto a quella delle tensioni per ottenere la potenza attiva massima.

- **B) Carico trifase equilibrato**

In particolare, quando **il carico trifase è equilibrato**, si possono fare le seguenti osservazioni:

- a) collegamento a STELLA equilibrata:**

la potenza attiva in una fase vale

$$P_f = U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi \quad [\text{W}]$$

e quindi, per il teorema di Boucherot, la potenza attiva totale sarà la somma di queste tre potenze:

$$P = 3 \cdot P_f = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi \quad [\text{W}] \quad (1)$$

Essendo inoltre, per il collegamento a stella

$$I_L = I_f \quad \text{e} \quad U_f = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

la (1) diventa

$$P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi = 3 \cdot \frac{U_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad [\text{W}] \quad (2)$$

b) collegamento a TRIANGOLO equilibrato:

ricordando che con questo collegamento del carico si ha

$$U_L = U_f \quad \text{e} \quad I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

la potenza attiva totale diventa

$$P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot U_L \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad [\text{W}] \quad (3)$$

Come conclusione si può affermare che, per carichi trifase equilibrati, la potenza attiva totale si calcola indifferentemente con le due espressioni equivalenti:

$$P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad [\text{W}] \quad (4)$$

La scelta va fatta in base alle preferenze, o ai dati noti del problema.

Di solito, essendo noti i valori di linea delle tensioni e delle correnti, è più usuale la relazione

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad [\text{W}] \quad (5)$$

valida per carico a stella o a triangolo, purché il carico sia equilibrato. Ovviamente tensione e corrente sono quelle di linea e $\cos \varphi$ è il f.d.p. del carico.

Le osservazioni precedenti valgono analogamente per le potenze reattiva e apparente:

$$Q = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi \quad [\text{var}] \quad (6)$$

$$S = 3 \cdot U_f \cdot I_f = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \quad [\text{VA}] \quad (7)$$

Per la potenza apparente, con Boucherot, si può passare attraverso il teorema di Pitagora

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$$

• **Calcolo del fattore di potenza dell'impianto:**

$$\cos \varphi_T = \frac{P_T}{S_T}$$

Si osservi che, applicando qui la definizione data prima per carichi squilibrati, ruotando la terna delle correnti rispetto a quella delle tensioni dell'angolo φ , le correnti andrebbero in fase con le tensioni e la potenza attiva coinciderebbe con la potenza apparente, assumendone il valore massimo.

A differenza di quanto accade per i carichi squilibrati, quando il sistema è simmetrico e il carico è equilibrato la potenza istantanea complessiva si mantiene assolutamente costante nel tempo, senza alcuna pulsazione (la potenza istantanea coincide quindi con la potenza media P del sistema, essendo nulla la potenza fluttuante) (v. il modulo di "[Misura delle potenze](#)").

2a_IL RIFASAMENTO

Per migliorare il fattore di potenza di un impianto, posto ad esempio all'arrivo di una linea di alimentazione e per portarlo ad un valore $\cos\varphi'=0,9$ imposto dall'ente distributore o a un valore più elevato, fino al rifasamento totale, occorre inserire in parallelo al carico una batteria di condensatori, che compensi parzialmente o totalmente quella di segno opposto del carico.

Si osserva che, come non si deve scendere al di sotto del valore 0,9 imposto, non si può nemmeno rifasare in anticipo, onde evitare ad esempio problemi legati alla sopraelevazione della tensione di rete.

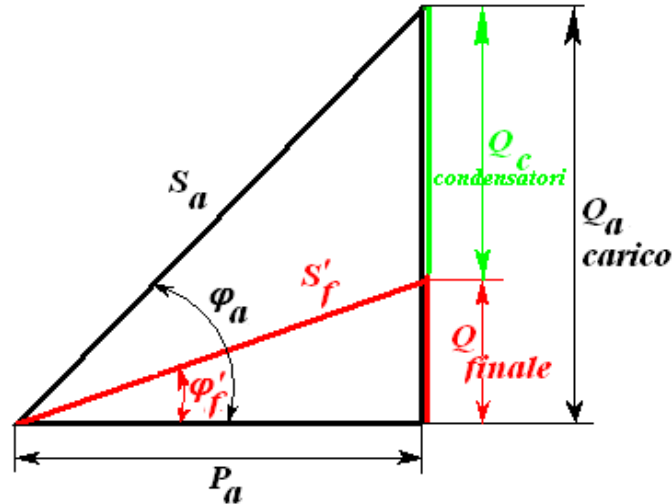


Figura 7) Diagrammi delle potenze dell'impianto utilizzatore prima e dopo il rifasamento.

Per ridurre lo sfasamento complessivo dell'utenza e quindi per aumentare il fattore di potenza complessivo occorre inserire all'arrivo, in parallelo sul carico, una batteria di condensatori di potenza Q_c .

Dalla fig.7 si ottengono le seguenti relazioni:

$$Q_c = Q_{a_carico} - Q_{finale} = P_a \cdot \tan \varphi_a - P_a \cdot \tan \varphi'_{finale} = P_a \cdot (\tan \varphi_a - \tan \varphi'_{finale}) \quad (8)$$

La potenza reattiva che interessa una batteria di condensatori (con condensatori collegati a stella o a triangolo, ma tali da costituire un carico trifase equilibrato) si può anche determinare dalla relazione (9), essendo la reattanza capacitiva

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$Q_c = 3 \frac{U_{fase}^2}{X_c} = 3 \cdot U_{fase}^2 \cdot \omega \cdot C \quad (9)$$

Dall'uguaglianza fra la (8) e la (9) si ottengono, a seconda del collegamento:

1. collegamento a triangolo ($U_{fase}=U_{linea}=U_a$):

$$Q_c = P_a \cdot (\tan \varphi_a - \tan \varphi'_{finale}) = 3 \cdot U_a^2 \cdot \omega \cdot C_{\Delta}$$

da cui

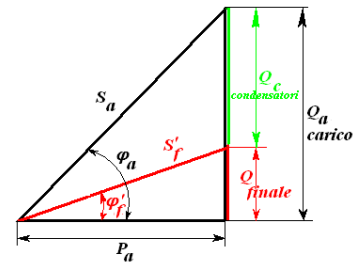
$$C_{\Delta[F]} = \frac{P_a (\tan \varphi_a - \tan \varphi'_{finale})}{3 \cdot \omega \cdot U_a^2}$$

2. collegamento a stella ($U_{fase} = U_a / 1,732$):

$$Q_c = P_a \cdot (\tan \varphi_a - \tan \varphi'_{finale}) = 3 \cdot \left(\frac{U_a}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot \omega \cdot C_Y$$

da cui

$$C_{Y[F]} = \frac{P_a (\tan \varphi_a - \tan \varphi'_{finale})}{\omega \cdot U_a^2}$$



In particolare si può notare che con il collegamento a triangolo la capacità di ogni fase è ridotta a 1/3 del valore a stella, e ciò può costituire un vantaggio relativamente al costo della batteria. Il costo però è anche condizionato dai problemi di isolamento, per cui con medie e alte tensioni si opta per il collegamento a stella, essendo la tensione di fase ridotta di 1,732 volte rispetto a quella di linea che agisce con collegamento a triangolo.

In bassa tensione si opta invece per il collegamento a triangolo.

- Vantaggi del rifasamento:

L'aumento del f.d.p. in seguito al rifasamento porta alle considerazioni seguenti:

- diminuisce la potenza apparente dell'utenza (carico + batteria) e quindi
- diminuisce la corrente della linea (solo quando i condensatori sono posti all'arrivo, in parallelo al carico e non in partenza della linea);
- diminuiscono le perdite di potenza in linea;
- diminuendo la corrente si può progettare la linea con una sezione minore;
- diminuiscono le cadute di tensione sulla linea;
- aumenta il rendimento della linea.

Se l'utenza, rifasando, richiede minore potenza apparente, l'ente che eroga l'energia può soddisfare più utenze, rispetto a quando non si rifasa.

Se un utente preleva dalla rete una potenza P e $\cos\varphi=1$, mentre un secondo utente preleva la stessa P , ma con $\cos\varphi=0,5$, la società che distribuisce l'energia deve fornire a quest'ultimo una corrente in ogni istante doppia rispetto a quella fornita al primo cliente, con maggiori perdite joule in linea e nelle macchine generatrici.

Si ricorda ancora che la potenza attiva dell'utenza non viene modificata dalla presenza dei condensatori, ritenendo costante la tensione prima e dopo il rifasamento.

Come collocazione ideale i condensatori dovrebbero essere posti dove è ubicato ogni singolo carico. In pratica però, a volte, si devono fare altre scelte per motivi di organizzazione, di costo, di gestione degli impianti e la condizione suddetta non viene sempre realizzata.

Si può anche controllare in tempo reale il fattore di potenza dell'utenza e provvedere di conseguenza al rifasamento, in base alle mutate condizioni, mediante inseritori automatici di condensatori.