

Rifasare per un uso efficiente dell'impianto utilizzatore

Antonello Greco

Rifasare vuol dire ridurre lo sfasamento fra la tensione e la corrente introdotto da un carico induttivo (figura 1); significa aumentare il valore del fattore di potenza ($\cos\varphi$) del carico allo scopo di ridurre, a parità di potenza attiva, la corrente circolante, con la conseguente diminuzione delle perdite per effetto Joule nei conduttori e della caduta di tensione.

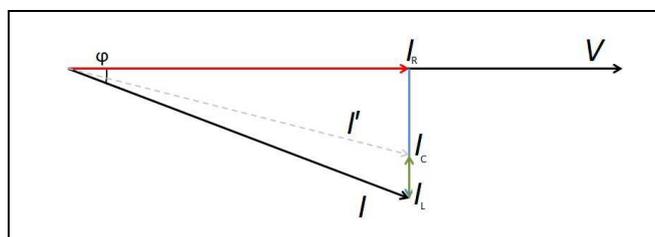


Figura 1: Diagramma vettoriale della tensione e della corrente di un carico induttivo (la corrente I' è la corrente risultante dopo l'installazione dell'impianto di rifasamento)

Il problema ha origine con l'alimentazione delle macchine elettriche (motori e trasformatori) che per il loro funzionamento assorbono, oltre alla potenza attiva, anche potenza reattiva.

Il fenomeno è descritto graficamente dal triangolo delle potenze (figura 2), dove troviamo indicate le tre potenze: attiva P , reattiva Q e apparente S , con il relativo angolo di sfasamento $\cos\varphi$.

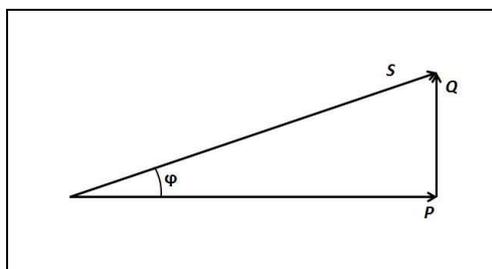


Figura 2: Triangolo delle potenze

Rifasare per un uso efficiente dell'impianto utilizzatore

Per limitare l'effetto dell'aumento della corrente prodotta dal basso fattore di potenza nei conduttori, con ripercussioni anche sul dimensionamento delle linee di distribuzione e di trasmissione del sistema elettrico, sono previsti corrispettivi per il prelievo dell'energia reattiva a carico dei clienti, noti anche come *penali per basso fattore di potenza*.

Secondo quanto prescritto nel provvedimento del Comitato Interministeriale dei Prezzi del 29 agosto 1961: "Unificazione delle tariffe per l'energia elettrica in tutto il territorio nazionale", il fattore di potenza del prelievo non deve essere inferiore al valore di 0,9 nel caso d'illuminazione privata.

Qualora non si verifichi questa condizione, l'impresa fornitrice può richiedere, "che l'utente modifichi il proprio impianto in modo da riportare ad un valore non inferiore a 0,9 il fattore medio mensile del prelievo".

Dal punto di vista tariffario, il meccanismo "penalizzante" consisteva nell'aumentare dell'1% il prezzo dell'energia prelevata (in kWh) per ogni centesimo di valore del fattore di potenza inferiore a 0,9.

Anche per le forniture per forza motrice e per usi industriali, commerciali e agricoli diversi dall'illuminazione è previsto che "il valore del fattore di potenza istantaneo, in corrispondenza del massimo carico" non sia inferiore al valore di "0,8 e quello medio mensile non deve essere inferiore a 0,6"; per le forniture con potenza impegnata superiore ai 10 kW è prevista la maggiorazione del prezzo del kWh dell'1% per ogni centesimo di valore di fattore di potenza medio inferiore a 0,8.

Il sistema di calcolo del corrispettivo per basso fattore di potenza è stato modificato con il provvedimento del Comitato Interministeriale dei Prezzi n. 12/1984, che ha introdotto corrispettivi specifici per i prelievi di energia reattiva compresa tra il 50 e il 75% dell'energia attiva e per i prelievi di energia reattiva eccedente il 75% dell'energia attiva.

I corrispettivi sono aggiornati dall'Autorità per l'energia elettrica il gas e il servizio idrico (AEEGSI) e contenuti nel Testo integrato delle disposizioni dell'Autorità per l'erogazione dei servizi di trasmissione e distribuzione

Rifasare per un uso efficiente dell'impianto utilizzatore

dell'energia elettrica (Allegato A - Delibera ARG/elt 199/11). Il valore aggiornato è riportato in figura 3.

Tipologia di contratto di cui al comma 2.2	Energia reattiva compresa tra il 50 e il 75% dell'energia attiva	Energia reattiva eccedente il 75% dell'energia attiva
	centesimi di euro/kvarh	centesimi di euro/kvarh
lettera a) UtENZE domestiche in bassa tensione	3,23	4,21
lettera b) UtENZE in bassa tensione di illuminazione pubblica	3,23	4,21
lettera c) UtENZE in bassa tensione per alimentazione infrastrutture di ricarica pubblica di veicoli elettrici	3,23	4,21
lettera d) Altre utENZE in bassa tensione	3,23	4,21
lettera e) UtENZE in media tensione di illuminazione pubblica	1,51	1,89
lettera g) Altre utENZE in media tensione	1,51	1,89
lettera h) UtENZE in alta tensione	0,86	1,10
lettera i) UtENZE in altissima tensione, con tensione inferiore a 380 kV	0,86	1,10
lettera j) UtENZE in altissima tensione, con tensione uguale o superiore a 380 kV	0,86	1,10

Figura 3: Corrispettivi per prelievi di energia reattiva

Fattore di potenza: è un parametro funzione del rapporto tra l'energia reattiva e l'energia attiva immesse o prelevate in un punto di immissione o di prelievo.

Rifasare, pertanto, significa non solo dimensionare al meglio gli impianti elettrici, ma anche risparmiare sugli importi addebitati nella fattura elettrica per i prelievi di energia reattiva.

Quale rifasamento?

In un circuito monofase a corrente alternata, il valore della potenza assorbita da un carico è proporzionale al valore efficace della tensione, della corrente e del fattore di potenza $\cos\varphi$, secondo la relazione:

$$P = V \cdot I \cdot \cos\varphi$$

La potenza reattiva, invece, è determinata con la relazione:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\varphi$$

Ricordo che nei sistemi trifase occorre moltiplicare il valore della tensione per $\sqrt{3}$.

Rifasare per un uso efficiente dell'impianto utilizzatore

Applicando al triangolo delle potenze il teorema di Pitagora si determina la potenza apparente S :

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

Come accennato, nelle macchine elettriche solo la potenza attiva P è in grado di trasformarsi in lavoro utile, mentre la potenza reattiva Q è prodotta dallo scambio di energia tra il campo elettrico o quello magnetico ed il resto del circuito.

Per rifasare senza alterare l'assorbimento della potenza attiva, occorre immettere potenza reattiva al fine di riportare il valore del fattore di potenza ad un valore superiore a 0,9. Questo è possibile installando una o più batterie di condensatori.

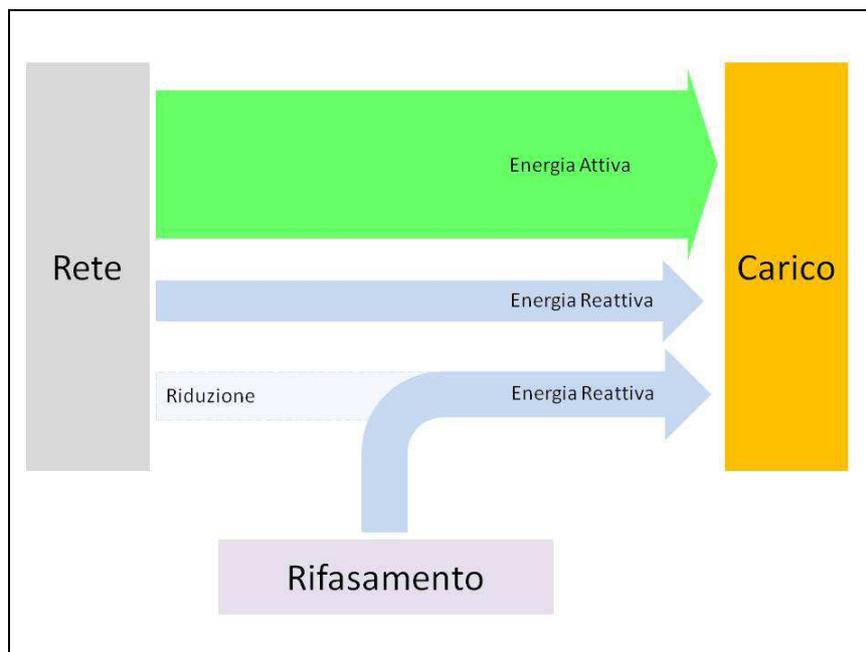


Figura 4: Contributo del rifasamento alla riduzione dell'energia reattiva prelevata dalla rete

Rifasare per un uso efficiente dell'impianto utilizzatore

L'installazione dei condensatori allo scopo di rifasare un impianto elettrico può avvenire con il metodo distributivo (cioè vicino ai carichi da rifasare), per gruppi, centralizzato (cioè con l'installazione di batterie di condensatori a monte di tutti i carichi) oppure misto (centralizzato e distributivo).

Il fattore di potenza in bolletta

Per determinare il $\cos\varphi$ per ciascuna fascia oraria è possibile utilizzare i valori dell'energia attiva e dell'energia reattiva rilevati dai consumi indicati in bolletta:

$$\cos\varphi = \frac{E_A}{\sqrt{E_A^2 + E_R^2}}$$

Un impianto di rifasamento è definito di tipo automatico se è in grado di inserire/disinserire i condensatori al variare del fattore di potenza del carico.

La potenza necessaria per rifasare un impianto/carico può essere determinata con la formula:

$$Q = P \cdot (tg\varphi - tg\varphi')$$

dove φ' è il valore dell'angolo corrispondente al fattore di potenza che si vuole ottenere. Nella tabella di figura 7 è riportato il valore del coefficiente $(tg\varphi - tg\varphi')$ da moltiplicare al valore della potenza P partendo dai valori del $\cos\varphi$ iniziale (cioè prima del rifasamento) e finale atteso.

Nei punti di prelievo dotati di misuratore atto a rilevare l'energia elettrica per fasce orarie, l'energia reattiva prelevata nella fascia F3 e le relative componenti tariffarie sono poste pari a zero.

In un circuito monofase (e nei circuiti trifase con collegamento dei condensatori a stella) il valore della capacità del condensatore può essere ricavato con la formula:

Rifasare per un uso efficiente dell'impianto utilizzatore

$$C = \frac{Q_c}{n \cdot n \cdot 2f \cdot V^2}$$

dove:

n è il numero di condensatori che si desidera installare

f è la frequenza della rete (50 Hz)

V^2 è la tensione dell'impianto

Il collegamento a triangolo consente di utilizzare condensatori di capacità inferiore, ma devono essere isolati per la tensione concatenata, mentre quelli a stella sono isolati per la tensione di fase.

Armoniche

Scegliendo il tipo di rifasamento occorre tenere conto di alcuni fattori. Negli impianti alimentanti con carichi non lineari (come saldatrici, inverter, lampade a scarica), ad esempio, è possibile riscontrare disturbi nella forma d'onda che possono compromettere l'efficienza del sistema di rifasamento. Si tratta del fenomeno dovuto all'andamento non sinusoidale della tensione (e/o della corrente), distorta, cioè, dalla presenza di grandezze sinusoidali di frequenza multipla alla fondamentale, ovvero dalle armoniche.

Per valutarne l'effetto, le Norme hanno introdotto il fattore di distorsione armonica totale *THD* (Total Harmonic Distortion factor):

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2}$$

dove:

u_h è l'ampiezza relativa (tensione armonica rapportata alla tensione fondamentale u_1)

h è l'ordine dell'armonica.

Rifasare per un uso efficiente dell'impianto utilizzatore

Nelle Norme CEI 0-16:2014-09 e CEI 0-21:2014-09, i termini u_h e h sono sostituiti da u_b e b .

Tensione armonica: tensione sinusoidale la cui frequenza è un multiplo intero della frequenza fondamentale della tensione di alimentazione.

In questi impianti la presenza dei condensatori di rifasamento può provocare effetti di risonanza (serie o parallelo), che possono amplificare il livello delle armoniche e causare il danneggiamento del dielettrico dei condensatori.

Non è l'unico effetto negativo che producono le armoniche sui componenti elettrici. Altri effetti possono verificarsi sulle macchine elettriche, sulle apparecchiature di protezione, sugli strumenti di misura. Nel conduttore di neutro di un sistema trifase le componenti armoniche di ordine dispari multiplo di 3 determinano la circolazione di corrente nel neutro, che può provocare il danneggiamento del conduttore stesso (sovraccarico).

Per risolvere questi problemi è necessario installare filtri attivi.

Impianti fotovoltaici

Anche la presenza di un impianto fotovoltaico deve essere analizzata nella scelta del rifasamento.

Come noto, uno degli scopi dell'installazione di un impianto fotovoltaico è produrre la potenza attiva necessaria a diminuire quella prelevata dalla rete; la potenza reattiva, invece, rimane invariata, perché è determinata dai carichi.

La figura 5 descrive la variazione del fattore di potenza al diminuire della potenza prelevata dalla rete.

Rifasare per un uso efficiente dell'impianto utilizzatore

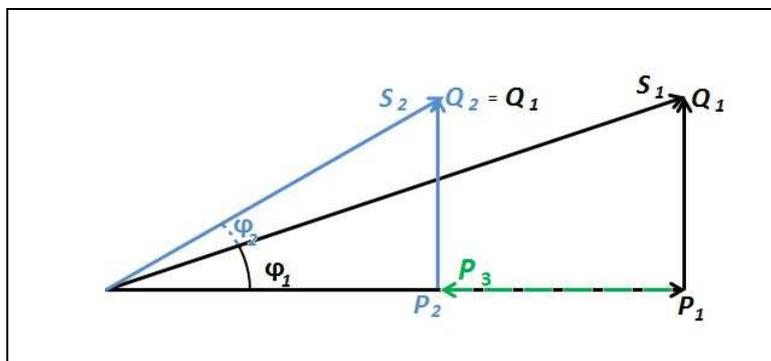


Figura 5: Aumento del fattore di potenza determinato dalla diminuzione della potenza prelevata dalla rete.

P_3 è la potenza prodotta dall'impianto fotovoltaico

Inoltre, come abbiamo accennato prima, l'utilizzo degli inverter per convertire l'energia prodotta dai moduli fotovoltaici può sollecitare le batterie di condensatori a causa della presenza di armoniche.

Immissione di potenza reattiva

Terminiamo questo articolo con una curiosità relativa all'immissione di potenza reattiva in rete che coinvolge i produttori di energia elettrica.

Come noto, le Norme CEI 0-16:2014-09: "Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica" e CEI 0-21:2014-09: "Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica", fissano, tra l'altro, i requisiti che devono avere i generatori per l'immissione di potenza reattiva (limiti di capability).

La Norma CEI 0-21, ad esempio, consente il funzionamento in parallelo alla rete BT del Distributore agli impianti di produzione, trifase e/o monofase, realizzati con una o più delle seguenti tipologie:

- macchina rotante asincrona non autoeccitata fino a 6 kW, macchina rotante sincrona fino a 6 kW, purché funzionino con fattore di

Rifasare per un uso efficiente dell'impianto utilizzatore

- potenza istantaneo non inferiore a $\cos\varphi = 0,9$ in assorbimento di reattivo;
- b) macchina rotante sincrona di potenza superiore a 6 kW, purché in grado di funzionare con fattore di potenza istantaneo regolabile compreso tra $\cos\varphi = 0,98$, in assorbimento di reattivo, e $\cos\varphi = 0,9$, in erogazione di reattivo;
 - c) macchina rotante asincrona non autoeccitata di potenza superiore a 6 kW, purché in grado di funzionare con fattore di potenza istantaneo compreso tra $\cos\varphi = 0,95$, in assorbimento di reattivo, e $\cos\varphi = 0,95$, in erogazione di reattivo;
 - d) inverter in impianti di potenza complessiva fino a 3 kW, purché in grado di funzionare con fattore di potenza istantaneo compreso tra $\cos\varphi = 0,98$, in assorbimento di reattivo, e $\cos\varphi = 0,98$, in erogazione di reattivo;
 - e) inverter in impianti di potenza complessiva superiore a 3 kW e fino a 6 kW, purché in grado di funzionare con fattore di potenza istantaneo regolabile compreso tra $\cos\varphi = 0,95$, in assorbimento di reattivo, e $\cos\varphi = 0,95$, in erogazione di reattivo;
 - f) inverter in impianto di potenza complessiva superiore a 6 kW, purché in grado di funzionare con fattore di potenza istantaneo regolabile compreso tra $\cos\varphi = 0,90$, in assorbimento di reattivo, e $\cos\varphi = 0,90$, in erogazione di reattivo.

Ma questa ... è un'altra storia!

Rifasare per un uso efficiente dell'impianto utilizzatore

φ	$\cos\varphi$	$\text{sen}\varphi$	φ	$\cos\varphi$	$\text{sen}\varphi$
10°	0,98	0,17	100°	- 0,17	0,98
20°	0,94	0,34	110°	- 0,34	0,94
30°	0,87	0,50	120°	- 0,50	0,87
40°	0,77	0,64	130°	- 0,64	0,77
50°	0,64	0,77	140°	- 0,77	0,64
60°	0,50	0,87	150°	- 0,87	0,50
70°	0,34	0,94	160°	- 0,94	0,34
80°	0,17	0,98	170°	- 0,98	0,17
90°	0,00	1,00	180°	- 1,00	0,00

Figura 6: Tabella con i valori del coseno e del seno al variare dell'angolo di sfasamento φ

Rapporto Q/P (tg φ)	Fattore di potenza iniziale	Fattore di potenza desiderato										
		0,900	0,910	0,920	0,930	0,940	0,950	0,960	0,970	0,980	0,990	1,000
2,29	0,40	1,807	1,836	1,865	1,896	1,928	1,963	2,000	2,041	2,088	2,149	2,291
2,16	0,42	1,676	1,705	1,735	1,766	1,798	1,832	1,869	1,910	1,958	2,018	2,161
2,04	0,44	1,557	1,585	1,615	1,646	1,678	1,712	1,749	1,790	1,838	1,898	2,041
1,93	0,46	1,446	1,475	1,504	1,535	1,567	1,602	1,639	1,680	1,727	1,788	1,930
1,83	0,48	1,343	1,372	1,402	1,432	1,465	1,499	1,536	1,577	1,625	1,685	1,828
1,73	0,50	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,590	1,732
1,64	0,52	1,158	1,187	1,217	1,247	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
1,56	0,54	1,074	1,103	1,133	1,163	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,559
1,48	0,56	0,995	1,024	1,053	1,084	1,116	1,151	1,188	1,229	1,276	1,337	1,479
1,40	0,58	0,920	0,949	0,979	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,405
1,33	0,60	0,849	0,878	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333
1,27	0,62	0,781	0,810	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265
1,20	0,64	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
1,14	0,66	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935	0,996	1,138
1,08	0,68	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875	0,936	1,078
1,02	0,70	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020
0,96	0,72	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964
0,91	0,74	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909
0,86	0,76	0,371	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855
0,80	0,78	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,802
0,75	0,80	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750
0,70	0,82	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698
0,65	0,84	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
0,59	0,86	0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593
0,54	0,88	0,055	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540
0,48	0,90	-	0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484

Figura 7: Calcolo della potenza necessaria per rifasare un impianto