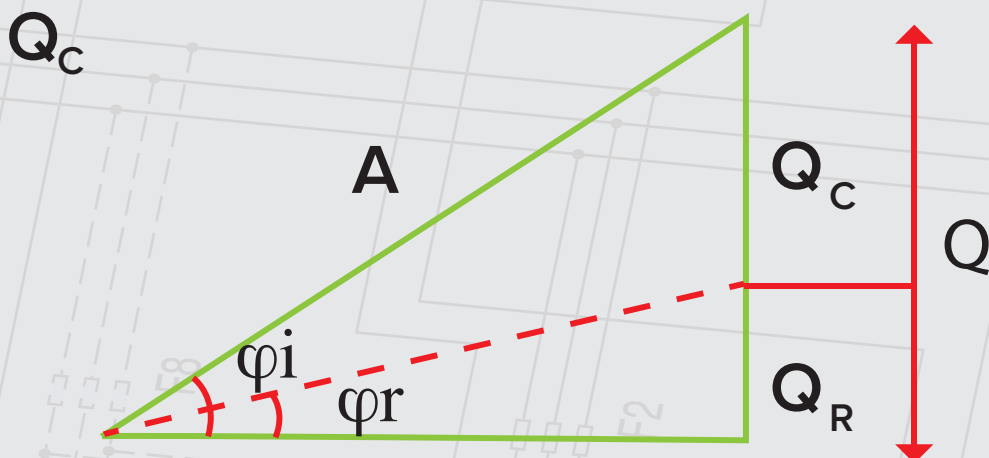
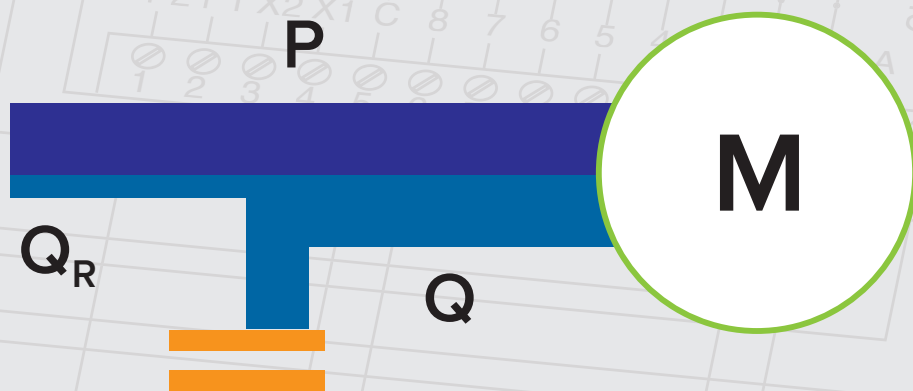


RIFASAMENTO ELETTRICO INDUSTRIALE

Efficientamento energetico e riduzione CO₂





SOMMARIO

CAPITOLO 1 INTRODUZIONE	6
CAPITOLO 2 VANTAGGI DEL RIFASAMENTO	7
CAPITOLO 3 RIFERIMENTI LEGISLATIVI	9
CAPITOLO 4 CASO PRATICO: MIGLIOR UTILIZZO DEL TRASFORMATORE	11
CAPITOLO 5 CASO PRATICO: IMPIANTO INDUSTRIALE CON CORRENTI DISTORTE	12

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

La presente Guida Tecnica è frutto dell'esperienza dei costruttori leader nella progettazione e costruzione di condensatori e sistemi di rifasamento, associati a Federazione ANIE, che hanno condensato nel documento il loro know-how.

Nella Guida si evidenziano i molti vantaggi derivanti dal rifasamento di un impianto elettrico e i riferimenti legislativi (delibere ARERA) che di fatto obbligano gli utenti connessi alla rete elettrica nazionale a regolare il prelievo di energia reattiva.

Si sottolinea che il rifasamento, riducendo la quantità di corrente che scorre nelle reti di trasmissione e distribuzione e di conseguenza le perdite, implica anche un risparmio di energia elettrica e quindi una

riduzione nelle emissioni di CO₂. Su questo tema, solo a titolo di esempio, si riporta un estratto di uno studio effettuato in Germania, dal quale si può evincere l'effetto del rifasamento sulle riduzioni di CO₂; si sottolinea che l'impatto in altri paesi come l'Italia potrebbe essere differente, considerando che l'estensione della rete e il mix energetico di produzione sono diversi.

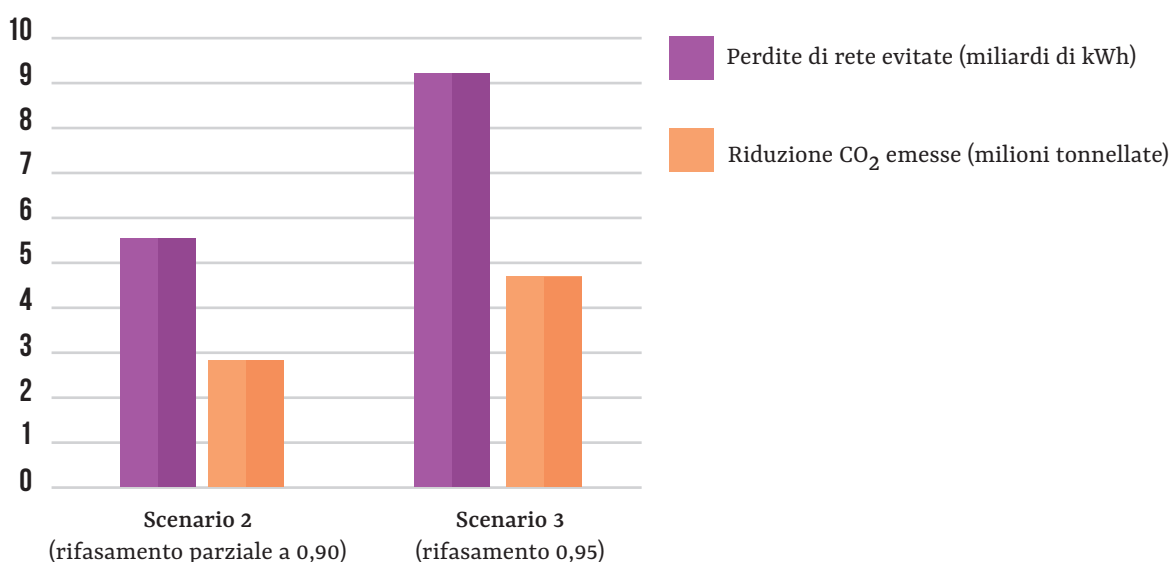
Scenario 1: senza rifasamento	Scenario 2: rifasamento parziale a cosφ 0,90	Scenario 3: rifasamento completo fino a cosφ 0,95
Il confronto tra Scenario 2 e Scenario 1 mostra che: <ul style="list-style-type: none">• Il sistema di rifasamento consente di ridurre le perdite annuali di 5,5 miliardi di kWh• Questa diminuzione delle perdite equivale ad una riduzione delle emissioni di 2,86 milioni di tonnellate di CO₂		
	Il confronto tra Scenario 3 e Scenario 2 mostra che: <ul style="list-style-type: none">• Rifasando fino al target di cosφ 0,95 si ottiene un'ulteriore riduzione di perdite di 3,5 miliardi di kWh• Questa ulteriore diminuzione delle perdite corrisponde ad una riduzione delle emissioni di 1,83 milioni di tonnellate di CO₂	

¹ Fonte ZVEI

A tal proposito, si evidenzia come la Comunità Europea, attraverso il pacchetto “Clean energy for all Europeans”, abbia imposto ai paesi membri la riduzione di almeno il 40% delle emissioni di CO₂ entro il 2030.

I vantaggi del rifasamento hanno impatto non solo sull’utenza finale, ma anche per la rete di trasmissione e distribuzione di energia elettrica, che grazie a questa accortezza dissipa una quantità inferiore di energia per effetto Joule.

Infine in questo documento sono riportati due casi pratici nei quali sono mostrati, anche numericamente, i vantaggi di rifasare nel caso di un impianto industriale con correnti distorte e come il rifasamento abbia implicazioni positive anche per un migliore utilizzo del trasformatore.



CAPITOLO 2

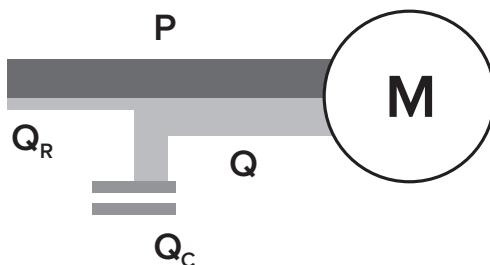
VANTAGGI DEL RIFASAMENTO

L'installazione delle apparecchiature di rifasamento porta di conseguenza una riduzione di consumo energetico e un incremento dell'efficienza di utilizzazione dell'impianto elettrico.

Tutto ciò si può riassumere in una riduzione dei costi per il consumo di energia elettrica e, non certo secondari, in quelli di gestione dell'impianto elettrico. Per meglio interpretare quanto asserito, come punto di partenza, si deve considerare la situazione derivante da una tipica installazione come di seguito riportata. Rifasare significa dunque ridurre la Potenza Reattiva (Q) assorbita dal carico (M). Tuttavia ogni Utenza è definita

dalle proprie caratteristiche fisico-elettriche che non si possono cambiare essendo una conseguenza delle proprie caratteristiche costruttive. Allora, per ridurre la Potenza Reattiva (Q) assorbita dal carico (M) l'unica soluzione è quella di mettere in parallelo un altro carico (Q_c) che sia in opposizione di fase, ottenendo la Potenza Reattiva in Rete (Q_r). Il concetto può essere anche ben interpretato dal Triangolo delle Potenze di seguito riportato.

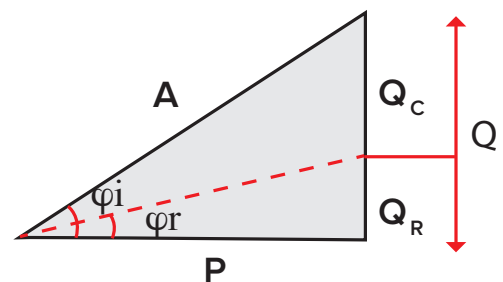
Figura: 1



Dove:

- M = Utenza generica, nel caso un Motore
- P = Potenza Attiva (kW)
- Q = Potenza Reattiva dell'Utenza (kvar)
- Q_c = Potenza Reattiva del Rifasamento (kvar)
- Q_r = Potenza Reattiva in Rete (kvar)

Figura: 2



Dove, in aggiunta ai simboli precedenti:

- A = Potenza Apparente (kVA)
- ϕ_i = angolo Iniziale
- ϕ_r = angolo Risultante a monte del Rifasamento

[Vantaggio 1]

Riduzione del Costo Energetico.

E' noto che l'Ente fornitore d'Energia Elettrica misura i consumi di Energia Attiva ($kWh = P \cdot t$) ed Energia Reattiva ($kvarh = Q_r \cdot t$) e da ciò viene verificato se $\cos\varphi \geq 0,95$ (vedi altra parte della nota informativa), contrariamente si applica una penale mensile. Ciascun utente è in grado di effettuare un'analisi della propria fattura dai dati in essa contenuti, nel caso non fosse indicato il $\cos\varphi$ medio mensile lo si può ricavare da:

$$\cos\varphi \text{ medio mensile} = \frac{kWh}{\sqrt{kWh^2 + kvarh^2}}$$

e quindi verificare la riduzione dei costi mensili derivanti dall'installazione del Rifasamento.

Incremento dell'efficienza dell'impianto elettrico.

Molti sono i vantaggi di efficientamento dell'impianto elettrico, di seguito riassumiamo i più importanti. Dalla Fig.1 sopra riportata è immediato rendersi conto che mentre la Potenza Attiva (P), necessaria alla realizzazione del Lavoro (meccanico, idraulico, ...), per cui è preposta l'Utenza M, non cambia restando quindi inalterati il funzionamento e lo scopo, si ha una notevole riduzione della Potenza Reattiva ($Q_r = Q - Q_c$) dal punto d'installazione del Rifasamento verso la parte dell'impianto che lo precede o che lo alimenta. Valutando le conseguenze di questa situazione, la prima domanda che ci si pone è: DOVE RIFASARE?

Nel caso di impianti di distribuzione elettrica estesi e con grandi Utenze installate in diversi punti, la risposta è immediata: vicino alle stesse Utenze perché oltre a portare benefici a tutto l'impianto che lo precede, si ha una **[Vantaggio 2] "sopraelevazione di tensione"** ΔU che può essere calcolata da:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{Q}{P_{cc}}$$

Dove:

U = è la Tensione di Rete Elettrica

Q = è la Potenza dell'Apparecchiatura di Rifasamento (kvar)

P_{cc} = è la Potenza di Corto Circuito nel punto d'installazione

In pratica $\Delta U/U$ è di poche unità % e corrisponde alle cadute di tensione induttive provocate dai carichi, ma in taluni casi risultano fondamentali per non fare intervenire le protezioni per minima tensione.

Nella maggioranza degli impianti di distribuzione elettrica le Utenze sono più o meno distribuite e quindi l'Apparecchiatura di rifasamento è installata subito a valle del trasformatore di potenza A (kVA) e la sopraelevazione di tensione ΔU è data dalla formula approssimata:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{K \cdot Q}{100 \cdot P}$$

Dove:

K = Tensione di Corto Circuito del trasformatore in %

È immediato notare che si può utilizzare il Trasformatore in condizioni di tensione leggermente inferiore alla nominale.

Inoltre, come è noto, ogni carico è caratterizzato da

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi$$

è quindi evidente che, a parità di P e V, all'aumentare del $\cos\varphi$ si ha una riduzione del valore della corrente (I).

Infatti:

$\cos\varphi$		I
0,7	→	143%
0,9	→	111%
1	→	100%

Poiché una caratteristica di scelta del Trasformatore è la sua potenza, al calare della corrente si può

[Vantaggio 3] ridurre la potenza del Trasformatore da installare e/o [Vantaggio 4] la dimensione dei cavi di alimentazione.

Viceversa, se il Trasformatore è già installato, l'incremento del $\cos\phi$ consente una **[Vantaggio 5] maggiore Potenza Attiva (P) erogata dal Trasformatore**. A riferimento si può considerare la seguente tabella:

Trasformatore da 100 kVA	
Cosφ	Potenza attiva erogata (kW)
0,5	50
0,6	60
0,7	70
0,8	80
0,9	90
1	100

Ricordiamo che è buona pratica prevedere un rifasamento anche per le perdite a vuoto del trasformatore. Un altro aspetto da tenere in evidenza è la **[Vantaggio 6] riduzione delle Perdite per Effetto Joule**. Infatti, la Potenza (P) dissipata è data da:
 $P = 3 \cdot R \cdot I^2$

Dove:

R = resistenza del conduttore attraversato dalla rispettiva corrente I.

È immediato intuire che l'impianto di Rifasamento ha un impatto benefico sia per la **[Vantaggio 7] riduzione sul processo d'invecchiamento** dovuto ad una riduzione della temperatura dei componenti elettrici che per la riduzione sui costi energetici. A titolo d'esempio si può fare riferimento alla seguente tabella, valida per cavo in CU, 3x25mm², lunghezza 100m che trasporta 40kW.

Fattore di potenza	Perdite (kW)	Perdite (kWh/anno)
0,5	3.2	28032
0,6	2.3	20148
0,7	1.6	14016
0,8	1.3	11388
0,9	1	8760

La riduzione della corrente negli impianti elettrici giova a vantaggio anche della regolazione delle protezioni. Infatti, per rendersi conto di ciò basti pensare alle situazioni d'avviamento delle Utenze che possono provocare indesiderati fuori servizi delle macchine di produzione dovuti a fenomeni transitori. L'installazione delle Apparecchiature di Rifasamento può evitare gli **[Vantaggio 8] Interventi indesiderati delle protezioni dei carichi**.

Si riassumono di seguito i vantaggi desumibili dall'installazione di un sistema di rifasamento:

Vantaggio 1	Riduzione dei costi energetici
Vantaggio 2	Riduzione della caduta di tensione in linea
Vantaggio 3	Riduzione della potenza del trasformatore da installare
Vantaggio 4	Riduzione della dimensione dei cavi di alimentazione
Vantaggio 5	Maggiore potenza attiva erogata dal trasformatore
Vantaggio 6	Riduzione delle perdite per effetto Joule
Vantaggio 7	Riduzione sul processo di invecchiamento
Vantaggio 8	Evitare interventi indesiderati delle protezioni dei carichi

CAPITOLO 3

RIFERIMENTI LEGISLATIVI

L'Autorità di Regolazione per l'Energia, le Reti e l'Ambiente (ARERA) è l'organismo istituzionale che definisce le regole per il prelievo di energia reattiva dalla rete da parte degli utenti di bassa, media, alta e altissima tensione.

In particolare, il rispetto degli obblighi tecnici introdotti dall'ARERA con la delibera 180/2013 è da considerarsi condizione necessaria affinché l'impianto possa essere considerato "a regola d'arte", anche se fosse già rispondente a tutte le norme di prodotto e di impianto.

Prelievo di energia reattiva da parte di utenti BT e MT

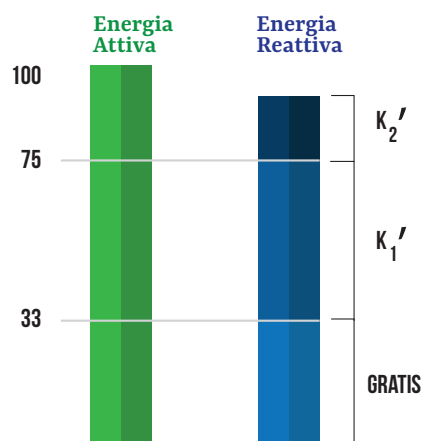
Innanzitutto bisogna precisare che, per quanto riguarda gli utenti di bassa tensione (ovvero con tensione nominale inferiore a 1000V), si considerano solo quelli con potenza impegnata >16,5kW: per utenti con potenza impegnata inferiore a tale valore il prelievo di energia reattiva dalla rete è libero; per quanto riguarda gli utenti connessi in media tensione (ovvero con tensione nominale compresa tra 1000V e 35kV), tutti sono soggetti alle regole descritte nel seguito.

Per il periodo regolatorio in corso (2016-2023), la regolamentazione da parte di ARERA è stata definita nella deliberazione 180/2013/R/EEL del 2 maggio 2013 e quindi applicata con la deliberazione 654/2015/R/EEL del 23 dicembre 2015 ("testo integrato delle disposizioni per l'erogazione dei servizi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica"). L'ARERA, considerando che i prelievi di energia reattiva hanno un impatto negativo sulla rete sia in termini di efficienza che in termini di stabilità, ha impostato la regolamentazione per orientare gli utenti verso un utilizzo "sobrio" dell'energia reattiva, e questo con delle indicazioni economiche e degli obblighi "tecnici".

Per quanto riguarda le considerazioni economiche, in

sostanza, bisogna analizzare ogni singolo periodo di fatturazione (ovvero ogni mese solare) e ciascuna delle fasce orarie F1 e F2; si prende a riferimento l'energia attiva (kWh) prelevata dalla rete: agli utenti è permesso prelevare liberamente una quantità di energia reattiva (kvarh) fino al 33% dell'energia attiva di riferimento.

Se l'energia reattiva prelevata dalla rete supera questa soglia del 33%, sono previste delle penali, ovvero ogni kvarh consumato oltre tale soglia viene contabilizzato in bolletta con un valore economico che è stabilito dall'ARERA anno per anno. Se addirittura il prelievo dalla rete di energia reattiva supera il 75% dell'energia attiva, ogni kvarh oltre quest'ultima soglia viene contabilizzato in bolletta con un valore economico più gravoso del precedente, e anch'esso stabilito dall'ARERA anno per anno.



Per la fascia oraria F3 non sono invece previste delle penali.

Per quanto riguarda invece gli obblighi tecnici, sono i tre riportati nel seguito:

- “Il livello minimo del fattore di potenza istantaneo in corrispondenza del massimo carico per prelievi nelle fasce orarie F1 ed F2 è pari a 0,9”. Poiché i consumi di energia attiva e reattiva sono misurati dal contatore di energia posto nel punto di allaccio alla rete, questa indicazione deve essere interpretata non tanto nell’accezione letterale del termine istantaneo, ma intendendo i prelievi nel quarto d’ora di massimo carico.
- “Il livello minimo del fattore di potenza medio mensile è 0,7”. Questa indicazione vale per ciascuna delle tre fasce orarie F1, F2, F3.
- “Non è consentita l’immissione in rete di energia reattiva”. Dunque non è consentito esercire l’impianto con fattore di potenza nel quadrante capacitivo. Questo perché si rischierebbero delle sovratensioni permanenti sulla rete che infastidirebbero il gestore.

Prelievo di energia reattiva da parte di utenti AT e AAT

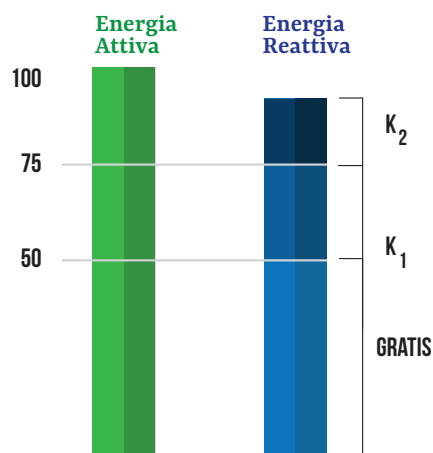
Sono considerati utenti di alta tensione quelli alimentati con tensione compresa tra 35kV e 150kV, sono utenti di altissima tensione quelli alimentati con tensione oltre tale valore. Per gli utenti di alta e altissima tensione, attualmente (2019) valgono le regole ereditate dal periodo regolatorio precedente, ovvero quelle riportate nella delibera 348/2007 del 29 dicembre 2007. Viste le peculiarità di questi utenti per quanto riguarda le applicazioni e gli impianti elettrici, l’ARERA infatti non ha ritenuto di applicare a questi utenti le regole della deliberazione 654/2015; è prevista però una deliberazione apposita.

Nel frattempo, valgono le regole del 2007 che sono le seguenti, esclusivamente economiche.

Anche per questi utenti, bisogna analizzare ogni singolo periodo di fatturazione (ovvero ogni mese solare) e ciascuna delle fasce orarie F1 e F2, si prende

a riferimento l’energia attiva (kWh) prelevata dalla rete: agli utenti è permesso prelevare liberamente una quantità di energia reattiva (kvarh) fino al 50% dell’energia attiva di riferimento.

Se l’energia reattiva prelevata dalla rete supera questa soglia del 50%, sono previste delle penali, ovvero ogni kvarh consumato oltre tale soglia viene contabilizzato in bolletta con un valore economico fisso, pari a 0,86 c€/kvarh. Se addirittura il prelievo dalla rete di energia reattiva supera il 75% dell’energia attiva, ogni kvarh oltre quest’ultima soglia viene contabilizzato in bolletta con un valore economico più gravoso del precedente, pari a 1,10c€/kvarh.



Per questi utenti non sono previsti obblighi tecnici, almeno fino alla pubblicazione della deliberazione a loro dedicata.

CAPITOLO 4

CASO PRATICO: MIGLIOR UTILIZZO DEL TRASFORMATORE

Un caso tipico che dimostra i vantaggi di un buon rifasamento dell'impianto è quello relativo allo sfruttamento "intelligente" della potenzialità del trasformatore MT/bt.

Questa macchina tra i suoi dati di targa è caratterizzata mediante una potenza apparente (kVA), che individua il limite massimo di potenza gestibile, alla tensione nominale: oltre tale potenza la macchina è in sovraccarico.

La potenza apparente è ottenuta dalla radice quadrata della somma dei quadrati della potenza attiva (kW) e della potenza reattiva (kvar): questo dice che per il trasformatore veicolare potenza attiva o potenza reattiva "è la stessa cosa", tuttavia per l'utente è molto più interessante e conveniente trasportare potenza attiva.

Facciamo un esempio.

Un trasformatore da 1000kVA alimenta un insieme di carichi di un'azienda metalmeccanica che hanno potenza totale 1500kW. Il coefficiente di utilizzo è 0,75; il coefficiente di contemporaneità è 0,6; il fattore di potenza totale è 0,7.

Il carico del trasformatore è dunque:

$$A = \frac{1500 \times 0,75 \times 0,6}{0,7} = 964 \text{ kVA}$$

Il trasformatore è quindi molto prossimo al suo carico nominale, e non è in grado di sostenere un aumento della potenza richiesta.

Supponiamo che si vogliano aggiungere carichi pari a 100kW, con lo stesso fattore di potenza medio; inoltre si vuole impostare un ciclo di lavoro più produttivo,

che porterà ad un nuovo coefficiente di utilizzo 0,8 e un nuovo coefficiente di contemporaneità 0,65.

Il carico del trasformatore diventa

$$A1 = \frac{1600 \times 0,8 \times 0,65}{0,7} = 1188 \text{ kVA}$$

E dunque il trasformatore va in sovraccarico, non può gestire la nuova situazione: deve essere sostituito con uno di taglia maggiore, con i costi e le problematiche del caso.

Sicuramente più vantaggioso pensare ad un intervento per migliorare il rifasamento dei carichi, visto che l'impianto è caratterizzato da un fattore di potenza sensibilmente basso, al limite del secondo obbligo tecnico imposto dall'ARERA. Se le utenze vengono rifasate a 0,95, installando un rifasatore da 600kvar, il carico del trasformatore si riduce

$$A2 = \frac{1600 \times 0,8 \times 0,65}{0,95} = 875 \text{ kVA}$$

Valore ben al di sotto di quello nominale del trasformatore.

Installando un rifasatore adeguato, è dunque possibile evitare la sostituzione del trasformatore, ottemperando inoltre alle direttive dell'ARERA.

CAPITOLO 5

CASO PRATICO: IMPIANTO INDUSTRIALE CON CORRENTI DISTORTE

La presenza significativa di armoniche in corrente e tensione è sempre più frequente fra gli utilizzatori finali. Per progettare, realizzare ed utilizzare un impianto elettrico conforme alle norme tecniche CEI, anche l'aspetto della qualità dell'energia deve essere considerato.

L'influenza delle armoniche nella qualità dell'energia è fondamentale. Guasti "inspiegabili" su lampade, rifasamenti, motori, trasformatori di potenza, giunzioni dei cavi, computer, macchine con forti automazioni, avviatori graduali a variazione di frequenza e molte altre apparecchiature elettroniche moderne, correnti sul neutro significative sono spesso ascrivibili alla presenza di armoniche ed alla loro possibile amplificazione da parte dei sistemi di rifasamento più tradizionali.

Facciamo un esempio.

Facciamo l'esempio² di un'azienda elettromeccanica di medie dimensioni che ha installato un bel numero di apparecchiature ad azionamenti a frequenza controllata. Le macchine a controllo numerico, i grossi motori e pompe di dimensioni rilevanti hanno infatti azionamenti a frequenza variabile e quindi distorcenti. L'azienda ha la consegna in MT (15kV), cabina dedicata con trasformatore in resina 250 kVA "basic design" con i seguenti dati principali:

Parametro	Valore di targa
V _{1n} (tensione nominale al primario)	15000 [V]
V _{2n} (tensione nominale al secondario)	400 [V]
Collegamento Primario / secondario - gruppo	D / y _n - 11
Perdite a vuoto P ₀	800 [W]
Corrente a vuoto I ₀ %	1,8%
Perdite a carico P _{cc} a 75°C	4400 [W]
Impedenza di cortocircuito percentuale	6%
Efficienza al 75% del carico nominale e cos(φ)=1	98%

In un intervento di verifica sull'impianto si è eseguita una misura con analizzatore/registratore di spettro in corrente con rifasatore spento, si è evidenziato il seguente spettro armonico in [A]:

HARMONICS																								
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
0,0	21,7	0,0	43,3	0,0	30,9	0,0	0,0	0,0	19,2	0,0	14,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

² Per un approfondimento su questo esempio, si riporta alla scheda specifica pubblica sul sito di Federazione ANIE – ANIE Energia.

Per migliorare il fattore di potenza in passato era stata installata un'apparecchiatura tradizionale da 160 kvar a 415V di tensione nominale. Questa apparecchiatura di rifasamento con soli condensatori era costituita da cinque gradini: 20+20+40+40+40 kvar.

Nell'azienda si otteneva un $\cos(\varphi) = 0.95$ medio, in linea anche con le ultime richieste dei distributori di energia. Si riscontravano però correnti di neutro non trascurabili, problemi di durata delle lampade di illuminazione e frequenti guasti o malfunzionamenti sulle apparecchiature a controllo numerico. L'azienda doveva risolvere il problema, ma non riusciva a comprendere quale fenomeno facesse scattare le protezioni delle apparecchiature a controllo numerico e lamentava una scarsa qualità dei prodotti di illuminazione.

Il problema in realtà erano le armoniche, in modo particolare l'effetto di amplificazione dovuto al rifasamento tradizionale installato da anni sull'impianto. In effetti i condensatori del rifasamento contribuivano ad amplificare le armoniche recentemente introdotte dalle macchine a controllo numerico, peggiorando la qualità dell'energia. Nel normale funzionamento, man mano che serviva più potenza rifasante, l'effetto di amplificazione si modificava portando la risonanza parallelo proprio a coincidere con la 5° armonica in corrente.

Aver capito il problema ha dato la possibilità all'azienda di risolvere il problema. Il rifasamento con soli condensatori è stato sostituito con uno più moderno adatto alla situazione circuitale. Il nuovo rifasatore è dotato di induttanze di blocco armonico e non va ad amplificare in modo significativo le armoniche presenti in impianto. In questo caso è stato scelto un rifasatore al 14% di detuned³.

**Problema risolto
e $\cos\varphi$ garantito.**

³ Si parla di sistema di rifasamento "detuned" quando ciascun cassetto di cui è composto è provvisto di reattanze collegate in serie ai condensatori. Tali reattanze hanno spesso nucleo in ferro, sono ingombranti, pesanti, economicamente significative e hanno lo scopo di limitare i problemi riguardanti le armoniche sui rifasamenti degli impianti elettrici. Esse hanno influenza sulla scelta dei condensatori del sistema di rifasamento, non è dunque scontato che sia possibile trasformare semplicemente un rifasatore a soli condensatori in un sistema di rifasamento "detuned".

Un sistema di rifasamento detuned, se correttamente scelto, non amplifica le armoniche presenti nell'impianto e favorisce dunque la qualità dell'energia. Di norma dunque un rifasatore detuned è economicamente più impegnativo di un rifasamento a soli condensatori, ma in taluni casi gli indubbi vantaggi tecnici giustificano il maggior investimento economico.





Viale V. Lancetti, 43 - 20158 Milano
Tel +39 023264.228 - Fax +39 023264.217
energia@anie.it