IL RIFASAMENTO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI

Sul costo dell'Energia elettrica incide notevolmente la penalità per basso Fattore di Potenza (cos φ), applicata nei contratti di fornitura: principalmente da questo, ma anche da altri importanti fattori, nasce la necessità di rifasare gli impianti. Il Rifasamento è una tecnica che, migliorando il Fattore di Potenza delle macchine elettriche, consente di utilizzare razionalmente l'energia, realizzando importanti risparmi economici e rilevanti miglioramenti tecnici.
I vantaggi economici sono tanto più consistenti quanto maggiore è il fabbisogno di energia elettrica.

IL BASSO FATTORE DI POTENZA

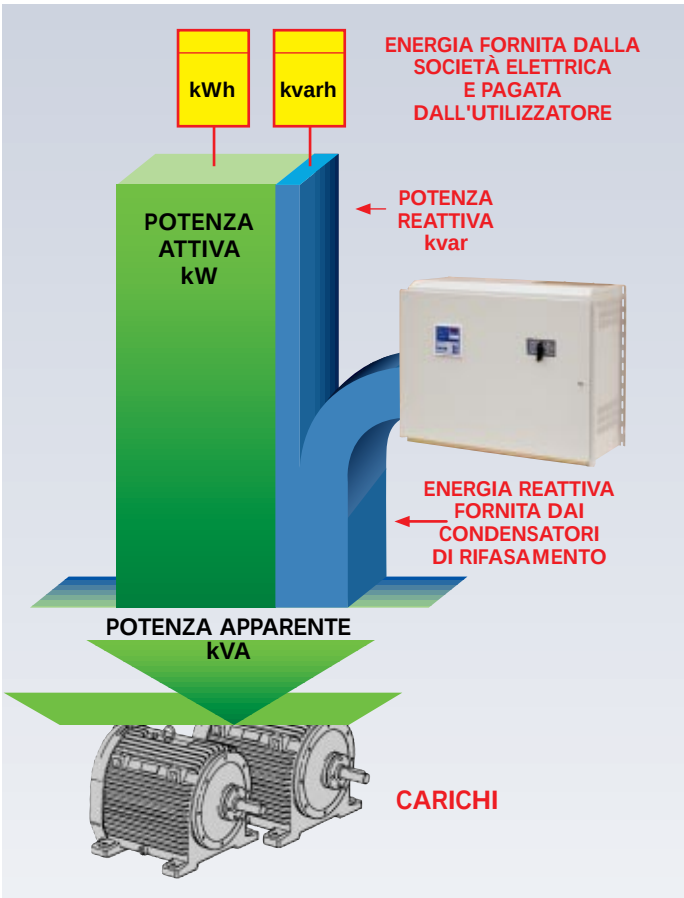
Il Fattore di Potenza coinvolge il rapporto tra due tipi di Potenza: la Potenza Attiva e la Potenza Reattiva.
La maggior parte dei carichi, negli attuali sistemi elettrici di distribuzione, sono *Induttivi:* ciò significa che, per funzionare, richiedono un campo elettromagnetico e l'assorbimento dalla Rete di due tipi di Potenza:

- **Potenza Attiva** che realizza il lavoro della macchina, il calore, la forza, il movimento, ecc.
- **Potenza Reattiva** che produce soltanto il campo elettromagnetico necessario alla macchina elettrica per funzionare.

La Potenza Attiva si misura in **kW** mentre la Potenza Reattiva si misura in **kvar** (kilovolt-ampère-reattivi).
La *Potenza Attiva* e la *Potenza Reattiva* assieme compongono la *Potenza Apparente*, che si misura in **kVA.**
Il Fattore di potenza, che si indica anche come **cos** φ, è il rapporto tra la Potenza Attiva e la Potenza Apparente riferita alla fondamentale; tale rapporto può variare tra 0 ed 1.

$$\cos\varphi = \frac{\textit{Potenza attiva (kW)}}{\textit{Potenza apparente (kVA)}}$$

La figura seguente mostra la suddivisione delle potenze.



Nel caso di carichi Induttivi si verifica uno spostamento di Fase tra la tensione e la corrente: precisamente la corrente è in ***ritardo*** sulla tensione, raggiungendo il suo massimo ed il suo zero *più tardi* rispetto alla tensione.

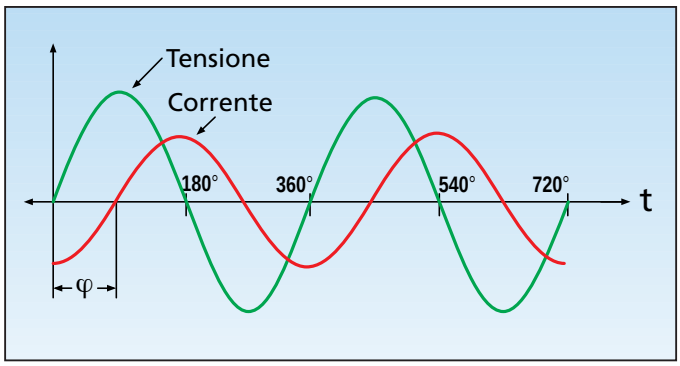


Fig. A - Carico Induttivo: corrente in ritardo

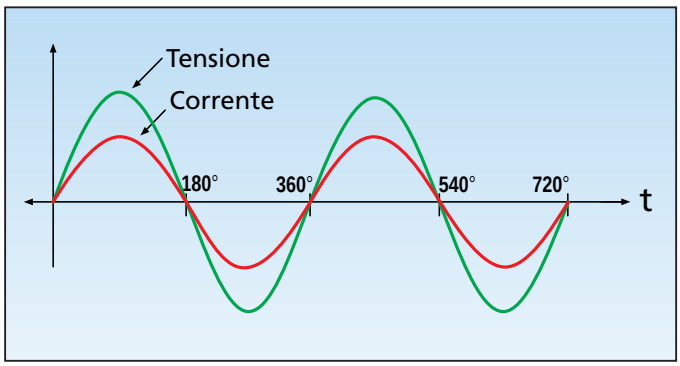


Fig. B - Carico Resistivo: corrente in fase

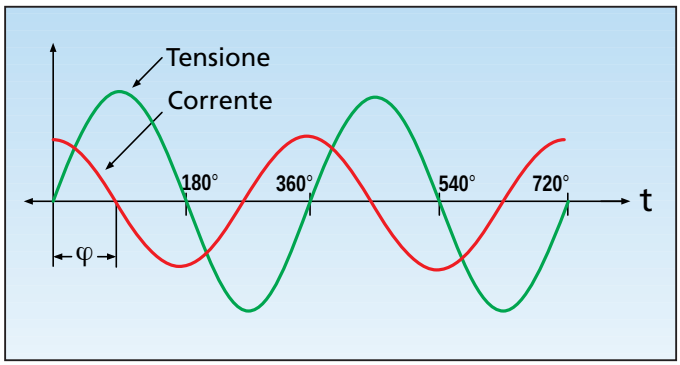


Fig. C - Carico Capacitivo: corrente in anticipo

Questo fenomeno è rappresentato in Fig. **A**, mentre la Fig. **B** mostra le sinusoidi di tensione e di corrente di un carico resistivo perfettamente ***in fase*** e la Fig. **C** un carico capacitivo con la sinusoide di corrente *in* ***anticipo*** rispetto a quella di tensione.

Se il Fattore di Potenza medio è inferiore a cos φ 0,90 induttivo e la potenza impegnata è superiore a 15 kW, la Società fornitrice di energia applicherà in Fattura **l'addebito per *basso Fattore di Potenza*.**

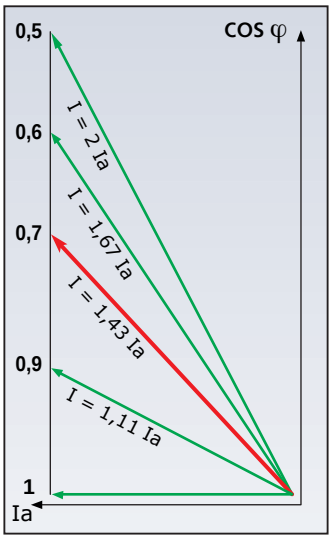
IL RIFASAMENTO DEGLI IMPIANTI

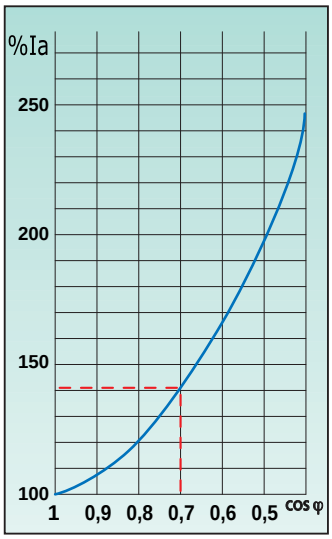
Il modo più semplice ed economico per risolvere il problema del basso Fattore di Potenza di un impianto è quello di collegare dei condensatori di rifasamento in parallelo ai carichi.
I condensatori funzionano come Generatori di Potenza Reattiva e forniscono alla macchina elettrica tutta l'energia reattiva necessaria per sostenere il campo elettromagnetico.

In pratica il condensatore ha la proprietà di assorbire una corrente che è *in anticipo di 90° rispetto alla tensione e* si comporta quindi come un vero generatore di energia reattiva che si trova in opposizione a quella del carico.

Questa potenza fornita dal condensatore non viene più prelevata dalla Rete, quindi si riduce sia l'intensità di corrente circolante che lo *sfasamento* tra tensione e corrente e viene eliminata la penalità sulla fatturazione dell'energia.

Dai diagrammi si vede come, ad esempio, un motore che sia utilizzato a cos φ 0,7 assorbe una *corrente* superiore del 43% rispetto allo stesso motore rifasato a cos φ 1.





Andamento della corrente circolante in un impianto al variare del cos φ (a parità di potenza attiva e quindi di corrente attiva I_a)

VANTAGGI DEL RIFASAMENTO

In un impianto correttamente rifasato l'Utente paga solo l'energia che effettivamente utilizza.
Ad es.: In un impianto con cos φ 0.70 induttivo, soltanto il 70% della potenza fornita dal Trasformatore in cabina viene utilizzata per produrre lavoro utile, mentre il resto serve per produrre l'energia reattiva richiesta dal carico ed in parte dispersa per effetto Joule sotto forma di calore.

Con il carico perfettamente rifasato e quindi con l'energia reattiva fornita dai condensatori, il trasformatore può fornire fino al 98% di potenza utile.
L'installazione di condensatori fornisce anche molti altri benefici:

- **Fatture di energia elettrica ridotte di importi anche notevoli, tanto che nella maggioranza dei casi il complesso automatico di rifasamento si ripaga in un anno di esercizio, o meno.**
- **Riduzione delle perdite di energia per riscaldamento dei cavi elettrici.**
- **Maggiore potenzialità dell'impianto.**
- **Più disponibilità di potenza e minore riscaldamento da parte del Trasformatore.**
- **Riduzione degli interventi intempestivi del Limitatore di corrente che interrompono il ciclo produttivo.**

COME RIFASARE UN IMPIANTO

I Condensatori possono essere installati in qualsiasi punto dell'impianto ove sia presente una macchina elettrica a basso fattore di potenza, ma questa soluzione non è quasi mai conveniente, anche se tecnicamente sarebbe la più corretta.
In un impianto elettrico infatti i carichi a basso cos φ possono essere anche centinaia ed ognuno richiederebbe l'installazione di un condensatore di potenza adeguata, con la relativa linea di collegamento, derivazioni, protezioni e organi di sezionamento.
Neppure è consentito dalle condizioni di fornitura e dalle norme di sicurezza l'installazione di condensatori fissi, permanentemente collegati in rete, tranne quelli posti sui trasformatori in Cabina, a monte dell'Interruttore Generale di B.T.
I condensatori possono essere collegati in rete solo in presenza di carichi da rifasare e questi non devono essere rifasati oltre cos φ 1, altrimenti si conseguirebbe una *sovracompensazione* che produrrebbe gravi squilibri nella rete, quali un pericoloso aumento della tensione di esercizio, aumento della corrente circolante, sovraccarico delle linee e degli organi di distribuzione.

Tutte queste problematiche sono risolte con il *RIFASAMENTO CENTRALIZZATO,* che consiste in una Batteria di condensatori unica per tutto l'impianto, normalmente posizionata a monte di tutti i carichi, a valle dell'Interruttore Generale di B.T.
Queste apparecchiature, gestite da sofisticati sistemi a microprocessore, gestiscono la potenza rifasante dei condensatori in numerosi gradini, seguendo l'andamento dei carichi per ottenere, in ogni condizione, una perfetta correzione del Fattore di Potenza.
Cessata l'attività dei carichi, le batterie di condensatori vengono tutte disinserite in attesa del nuovo ciclo di lavoro.

COME SI CALCOLA IL RIFASAMENTO DI UN IMPIANTO

Il cos φ medio dell'impianto da rifasare è un parametro fondamentale per calcolare la potenza dell'apparecchiatura automatica di rifasamento da installare.
Il metodo più semplice consiste nel leggere questo valore sulle Fatture di energia elettrica, facendo una media di almeno 4 - 5 mesi.
Se questo dato non è disponibile, sarà sufficiente applicare la seguente formula, che consente di trovare il cos φ conoscendo i consumi di Energia Attiva **(kWh)** e di Energia Reattiva **(kvarh)** dell'impianto per fornitura in B.T.
Questi valori sono sempre riportati sulle Fatture, ma è anche possibile effettuare la *lettura* dei contatori di energia attiva (E) e di energia reattiva (Qc) rilevando gli incrementi dopo un congruo periodo.

$$\cos\varphi = \frac{\text{energia attiva}}{\sqrt{(\text{energia attiva})^2 + (\text{energia reattiva})^2}}$$

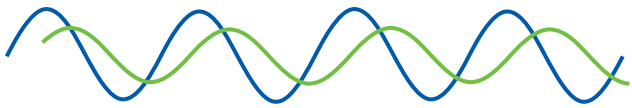
Esempio:
Energia Attiva =12500 kWh Energia Reattiva = 11024 kvar

$$\cos\varphi = \frac{12.500}{\sqrt{(12.500)^2 + (11.024)^2}} = 0{,}75$$

RIFASAMENTO IN PRESENZA DI ARMONICHE

Prima di scegliere l'apparecchiatura automatica di rifasamento è necessario cautelarsi nei confronti di un probabile sovraccarico delle batterie di condensatori dovuto alle armoniche.
Pertanto è indispensabile eseguire una verifica presso l'utilizzatore per assicurarsi della presenza o meno di carichi distorcenti quali convertitori U.P.S. forni ad arco, motori a velocità variabile, raddrizzatori, trasformatori saturati, ecc.
Un'apparecchiatura non adeguatamente dimensionata, installata in impianti con carichi di tale tipo, verrebbe danneggiata e rapidamente messa fuori servizio o completamente distrutta.

CALCOLO DELLA POTENZA REATTIVA NECESSARIA PER RIFASARE



Si tratta di fornire all'impianto una potenza reattiva tale da portare il cosφ al valore desiderato, senza però che in nessun momento l'energia assorbita dalla Rete sia capacitiva.

I dati necessari per un calcolo semplificato, sono i seguenti:

- Cosφ medio
- Potenza massima prelevata in kW.

Mentre il cosφ medio può essere trovato come spiegato in precedenza, la potenza massima prelevata può essere rilevata dall'indicatore presente sul contatore di energia Attiva "E" o dalla Fattura dell'energia. Consultando la Tabella riportata, si può facilmente calcolare la potenza dei condensatori o dell'Apparecchiatura Automatica necessari per rifasare l'impianto.

cosφ impianto da rifasare	cosφ da raggiungere				
	0,90	0,92	0,95	0,98	1,00
0,30	2,70	2,75	2,85	2,98	3,18
0,35	2,19	2,25	2,34	2,47	2,68
0,40	1,81	1,87	1,96	2,09	2,29
0,45	1,59	1,56	1,66	1,78	1,99
0,50	1,25	1,31	1,40	1,53	1,73
0,55	1,03	1,09	1,19	1,32	1,52
0,60	0,85	0,91	1,00	1,13	1,33
0,65	0,68	0,74	0,84	0,97	1,17
0,70	0,54	0,60	0,69	0,82	1,02
0,72	0,48	0,54	0,64	0,76	0,97
0,74	0,43	0,48	0,58	0,71	0,91
0,76	0,37	0,43	0,53	0,65	0,86
0,78	0,32	0,38	0,47	0,60	0,80
0,80	0,27	0,33	0,42	0,55	0,75
0,82	0,22	0,27	0,37	0,49	0,70
0,84	0,16	0,22	0,32	0,44	0,65
0,86	0,11	0,17	0,26	0,39	0,59
0,88	0,06	0,11	0,21	0,34	0,54
0,90		0,06	0,16	0,28	0,48
0,92			0,10	0,22	0,43
0,94			0,03	0,16	0,36

In corrispondenza dei valori del cosφ dell'Impianto da rifasare e del cosφ da raggiungere si trova un ***coefficiente*** che, moltiplicato per la potenza massima in kW dell'impianto, fornisce la potenza dei condensatori in kvar.

Facciamo l'esempio di un Utilizzatore che preleva una certa Potenza, calcolando la Potenza Reattiva necessaria per rifasare ed anche il risparmio che si ottiene con il rifasamento:

Potenza prelevata:	kW	85
Fattore di Potenza:	Cosφ	0,76
Energia Attiva consumata:	kWh	9.000
Energia Reattiva consumata:	kvarh	7.700
Penalità per basso Cosφ:	€	110,00

(kvarh prelevati tra il 50% ed il 75% ed oltre il 75% dei kWh)

Potenza necessaria per rifasare (kW 85x0,53):	kvar	45
Penalità stimata annua (110,00x12):	€	1.332,00
Costo dell'Apparecchiatura richiesta: (RA 2800-45-400V)	€	1.300,00

Il calcolo effettuato dimostra come il costo dell'Apparecchiatura viene ammortizzato in un anno.

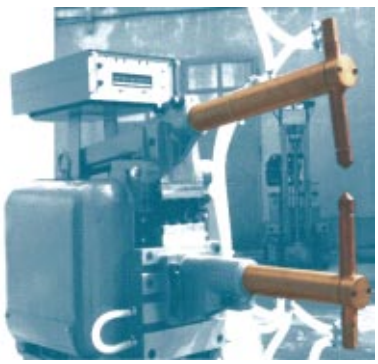
COME SI CALCOLA IL RIFASAMENTO DI UN MOTORE ASINCRONO

La potenza dei condensatori non deve superare la potenza reattiva a vuoto del motore, a causa del rischio di fenomeni di autoeccitazione e di risonanza tra il condensatore e l'induttanza della macchina. La potenza reattiva assorbita da un motore dipende da vari fattori, come il carico della macchina, la potenza, la frequenza, la velocità di rotazione, la tensione, ecc.
Generalmente, per evitare di avere un fattore di potenza in anticipo, si determina la corrente reattiva del condensatore pari al **90% della corrente a vuoto del motore**.
Se questo dato non fosse disponibile si potrà rifasare correttamente con un condensatore di potenza pari al **25% della potenza apparente del motore**.

COME SI CALCOLA IL RIFASAMENTO DI UN TRASFORMATORE

La potenza reattiva di un trasformatore, in rapporto alla sua potenza nominale, è molto inferiore a quella di un motore asincrono, perché l'induttanza di un trasformatore è elevata a causa del circuito magnetico senza traferro.
I condensatori hanno lo scopo di rifasare la corrente magnetizzante del trasformatore che serve a creare il campo magnetico necessario per il suo funzionamento. In genere, poiché il condensatore deve compensare unicamente la corrente a vuoto, fortemente svattata, si dovrà utilizzare un condensatore con una corrente pari al **90% della corrente a vuoto del trasformatore**.

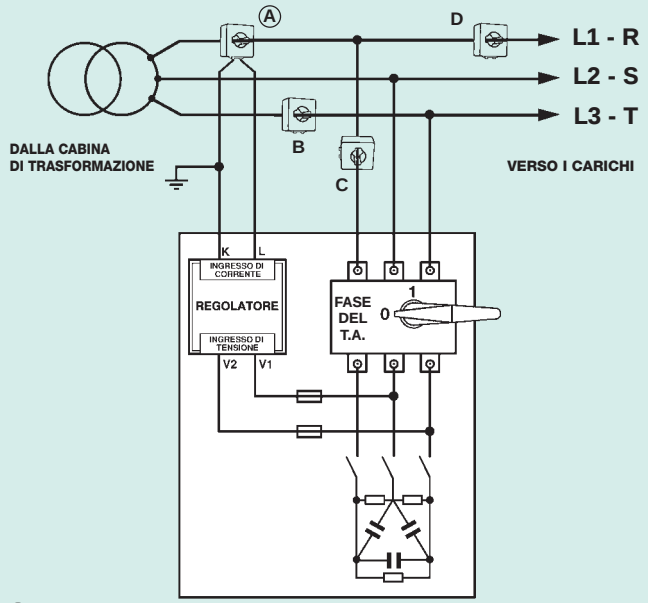
RIFASAMENTO DELLE SALDATRICI ELETTRICHE



Le saldatrici statiche sono costituite da un trasformatore a forte dispersione di flusso, il cui Fattore di Potenza ha un valore fortemente variabile, generalmente tra Cosφ 0,25 e Cosφ 0,50.
Valori così bassi sono da ricondursi alla forte reattanza dei bracci portaelettrodi ed alla distorsione della forma d'onda.
Il primario del Trasformatore rimane poi sotto tensione continuamente ed il carico è fortemente variabile: per questa ragione ci si trova in presenza di un trasformatore che generalmente lavora a vuoto o a basso carico, con conseguente fattore di potenza molto basso. Un notevole miglioramento delle condizioni di lavoro di queste macchine si consegue con l'installazione di un condensatore di rifasamento, la cui potenza sarà corrispondente al **30÷40% della potenza apparente della saldatrice**.

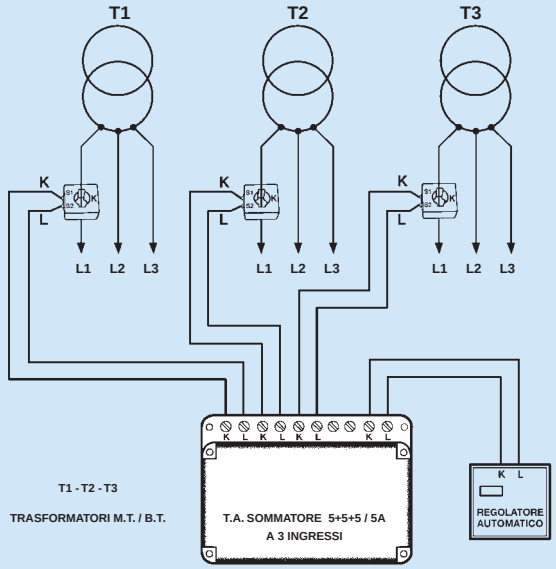
SCHEMI DI COLLEGAMENTO DEL TRASFORMATORE AMPEROMETRICO

INSTALLAZIONE DEL T.A.

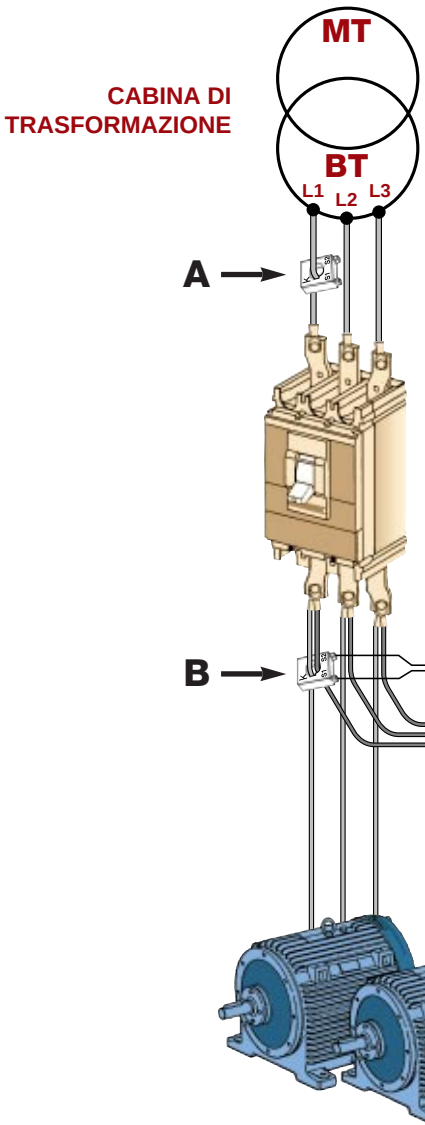


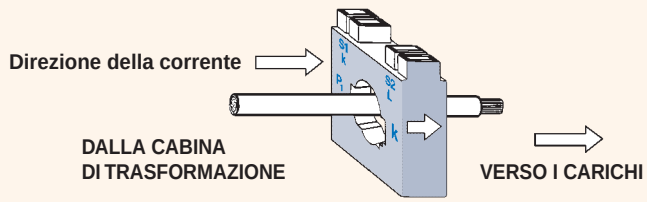
Ⓐ = T.A. installato sulla fase corretta, a monte dell'alimentazione dei condensatori e dei carichi
B = T.A. installato su di una Fase errata
C = T.A. installato erroneamente sull'alimentazione dei condensatori
D = T.A. installato erroneamente a valle dell'alimentazione dei condensatori

COLLEGAMENTO DI PIÙ T.A. AD UN SOMMATORE



I tre T.A. dell'esempio devono avere il Primario con la stessa corrente nominale, devono essere installati sulla stessa Fase, i cavi devono entrare tutti dallo stesso lato dei T.A. I collegamenti K/L devono corrispondere alle marcature riportate sul T.A. Sommatore. L'uscita K/L andrà collegata al Regolatore Automatico.



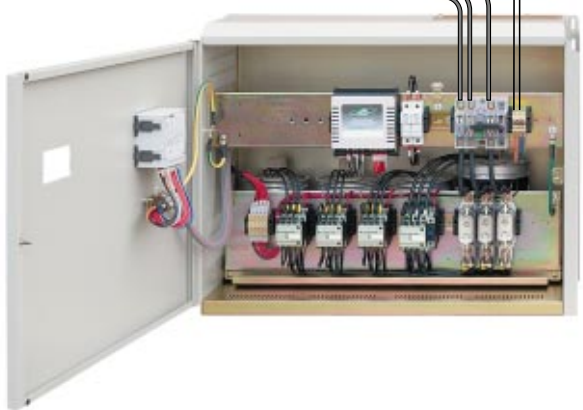


I conduttori che provengono dalla cabina di trasformazione o dall'interruttore generale, devono passare attraverso il T.A. entrando dalla Faccia contrassegnata con K o P1, o secondo il verso di una freccia stampata sul lato. I collegamenti secondari S1-S2 o K-L dovranno essere collegati al quadro di rifasamento.

CORRETTA INSTALLAZIONE DI UN RIFASATORE AUTOMATICO

Lo schema rappresenta una tipica installazione, con il T.A. che può essere collocato indifferentemente in due punti dell'impianto:

A) Sulla Fase L1 (R), a monte dell'Interruttore Generale e di tutti i carichi, oppure
B) Sulla Fase L1 (R), a valle dell'Interruttore Generale, ma con il cavo dei carichi e quello del quadro di rifasamento che passano entrambi attraverso il T.A. entrando dallo stesso lato.



RIFASAMENTO IN PRESENZA DI CORRENTI ARMONICHE

Negli impianti industriali è frequente la presenza di macchine operatrici azionate da motori con variatori di velocità, di gruppi statici di continuità, di convertitori di frequenza, ecc.
Queste macchine utilizzano convertitori AC/DC che, oltre a prelevare energia con un Fattore di Potenza molto basso, sono caratterizzati da una forma d'onda della corrente assorbita "non lineare", cioè con andamento non sinusoidale, ma sotto forma di impulsi. Le forme d'onda tipiche di tali carichi sono rappresentate in Fig. A

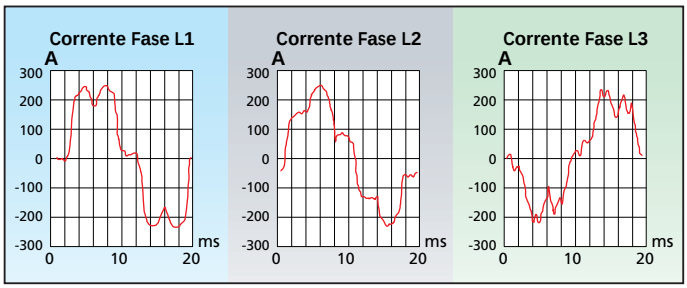


Fig. A

Una curva periodica *deformata* può essere scomposta in una frequenza *Fondamentale* ed in altre sinusoidi *Armoniche* di frequenza rispettivamente *doppia, tripla, quintupla,* ecc., denominate *seconda, terza, quinta Armonica ecc.*

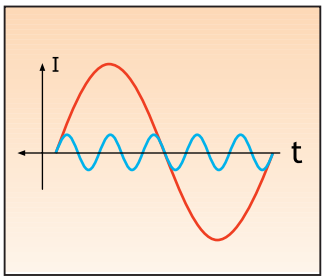


Fig. B

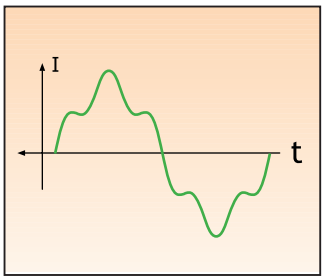


Fig. C

L'esempio di Fig. B mostra una sinusoide di frequenza Fondamentale (50Hz) sovrapposta ad una sinusoide più piccola rappresentante la Quinta Armonica (250Hz).
La Fig. C mostra la distorsione armonica risultante dalla sovrapposizione delle due sinusoidi precedenti.

Si definisce "DISTORSIONE ARMONICA TOTALE" (THD) il rapporto percentuale tra il valore della corrente armonica totale e quello della fondamentale:

$$THD\ \% = \frac{\sqrt{\sum_n I_{an}^2}}{I_f}\ x\ 100 = \frac{I_{aT}}{I_f}\ x\ 100$$

dove: n = *ordine delle armoniche*
I_{an} = *ampiezza delle correnti armoniche*
I_f = *ampiezza della corrente fondamentale*
I_{aT} = *ampiezza della corrente armonica totale*

L' installazione di condensatori in presenza di *armoniche di corrente* (le armoniche di tensione sono in genere irrilevanti), presenta una serie di problemi che devono essere attentamente valutati.

I condensatori, amplificando le armoniche presenti in rete, sono sottoposti a sovracorrenti superiori ai dati di targa e si possono originare fenomeni di *risonanza* con valori pericolosi sia per le batterie di condensatori che per l'impianto stesso.

La condizione più gravosa è quando si verifica la condizione di *Risonanza Parallelo o Antirisonanza,* cioè un'oscillazione distruttiva tra l'induttanza del circuito e le batterie di condensatori.

Il carico, ad esempio, di un Inverter, equivale ad un potente generatore di armoniche, mentre la Rete ed il Trasformatore si possono rappresentare con l'induttanza di cortocircuito equivalente, come indicato nello schema di Fig. D.

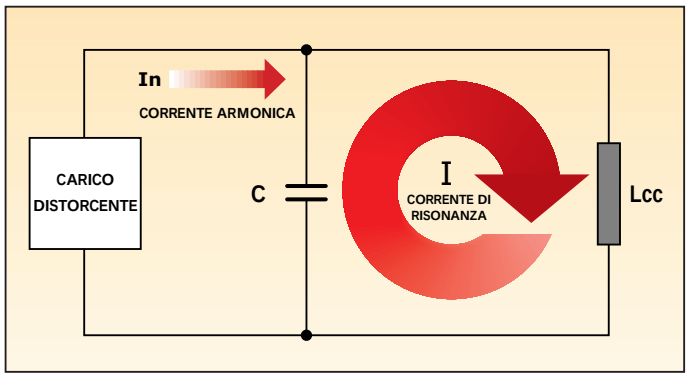


Fig. D

La frequenza di risonanza è data da:

$$f_o = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L_{cc} \cdot C}}$$

In condizioni di Risonanza la corrente e la tensione relative alla maglia *Lcc -C* sono fortemente amplificate e, in minore misura, anche le armoniche adiacenti.

Quando la frequenza della corrente armonica coincide con quella del sistema Condensatore/Rete, l'impedenza assume il valore minimo e la corrente del circuito il valore massimo, anche se la tensione resta costante.
Per limitare questi gravi inconvenienti si associano ai condensatori di rifasamento degli induttori, realizzando un filtro serie LC accordato su di un valore di frequenza *inferiore* a quello delle armoniche presenti in rete: in questo modo i condensatori non vengono interessati dalle correnti armoniche.

Lo scopo dei filtri di blocco è quindi di evitare la Risonanza tra il trasformatore ed i condensatori ed il conseguente sovraccarico dei condensatori di rifasamento.

Il filtro di blocco è inserito in serie all'alimentazione dei condensatori, secondo lo schema di Fig. E.
La frequenza di risonanza tra le reattanze ed i condensatori è calcolata a 189 Hz e la curva di risposta tipica è quella indicata sempre in Fig. E.

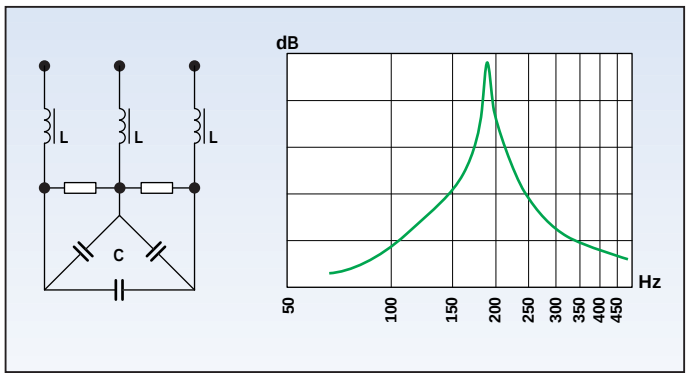


Fig. E

Le reattanze di blocco in serie introducono sui condensatori un aumento di tensione che è tanto più elevato quanto maggiore è il valore dell'induttore e che può arrivare al 10% di V_n: pertanto i condensatori dovranno essere opportunamente dimensionati.