

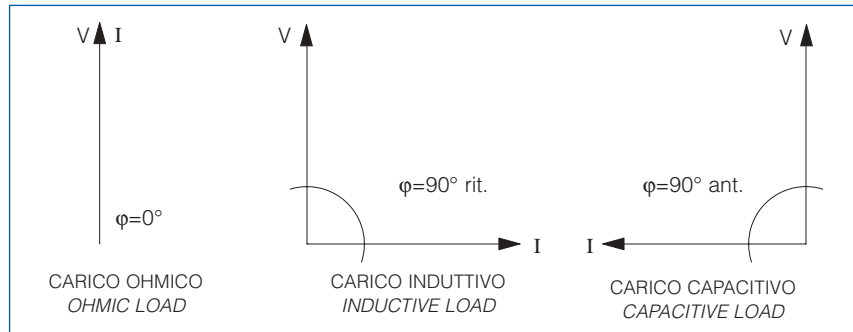


# **NOTE INTRODUTTIVE** ***INTRODUCTION***



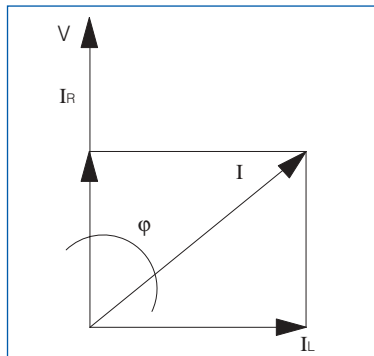
**RIFASARE: PERCHE'?**

Nei circuiti elettrici la corrente è in fase con la tensione quando siamo in presenza di un carico ohmico (resistenze), mentre è sfasata in ritardo se il carico è induttivo (motori, trasformatori a vuoto) ed in anticipo se il carico è capacitivo (condensatori).



La corrente totale assorbita ad esempio da un motore è determinata dalla somma vettoriale di:

1.  $I_R$  corrente ohmica dovuta alla componente resistiva del carico;
2.  $I_L$  corrente reattiva dovuta alla componente induttiva del carico.



A queste correnti sono associate le seguenti potenze:

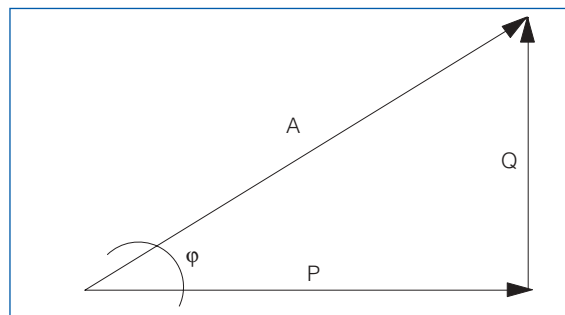
1. Potenza attiva associata alla parte resistiva del carico;
2. Potenza reattiva associata alla parte induttiva del carico.

La potenza reattiva induttiva avendo valore medio nullo nel periodo non è utile ai fini della produzione di lavoro meccanico e costituisce un carico supplementare per il fornitore di energia, che lo impegna a sovradimensionare i propri generatori.

Il parametro che definisce l'assorbimento di potenza reattiva induttiva è il fattore di potenza.

Si definisce fattore di potenza il rapporto tra potenza attiva e potenza apparente:

$$FP = \frac{P}{A}$$



dove where

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

**POWER FACTOR CORRECTION: WHY?**

In electrical circuits the current is in phase with the voltage whenever are in presence of resistors, whereas the current is lagging if the load is inductive (motors, transformers with no load conditions), and leading if the load is capacitive (capacitors)

The total absorbed current, for example, by a motor is determined by vector addition of:

1.  $I_R$  resistive current
2.  $I_L$  inductive reactive current

These currents are related to the following powers

1. active power linked to  $I_R$ ;
2. reactive power linked to  $I_L$ ;

The reactive power doesn't produce mechanical work and it is an additional load for the energy supplier.

The parameter that defines the consumption of reactive power is the power factor.

We define power factor the ratio between active power and apparent power:

In assenza di armoniche, il fattore di potenza equivale al coseno dell'angolo compreso fra il vettore corrente ed il vettore tensione ( $\cos\phi$ ). Il  $\cos\phi$  diminuisce all'aumentare della potenza reattiva assorbita. Un impianto funzionante a basso  $\cos\phi$ , presenta i seguenti svantaggi:

- 1) Elevate perdite di potenza nella trasmissione nelle linee elettriche;
- 2) Elevate cadute di tensione;
- 3) Maggior dimensionamento degli impianti di generazione trasporto e trasformazione.

Da quanto esposto si capisce l'importanza di ovviare o almeno ridimensionare gli effetti di un basso fattore di potenza. I condensatori servono a raggiungere questo risultato.

As for as there are not harmonic currents power factor coincide to  $\cos\phi$  of the angle between current and voltage vectors.  $\cos\phi$  decreases as the reactive absorbed power increases. Low  $\cos\phi$ , has the following disadvantages:

- 1) High power losses in the electrical lines
- 2) High voltage variation in the electrical lines
- 3) Over sizing of generators, electric lines and transformers

From this we understand the importance to improve (increase) the power factor. Capacitors need to obtain this result.

**RIFASARE: COME?**

Installando una batteria di condensatori è possibile ridurre la potenza reattiva assorbita dai carichi induttivi presenti nell'impianto e conseguentemente innalzare il valore del fattore di potenza. E' opportuno avere un  $\cos\phi$  poco superiore a 0,9 per evitare di pagare le penalità previste dalla legge. Il  $\cos\phi$  non deve essere troppo prossimo all'unità, per evitare di andare in anticipo qualora l'apparecchio rifasato lavori a basso carico (un provvedimento del Comitato Italiano Prezzi proibisce di controfornire energia reattiva alla rete). Le modalità secondo cui effettuare il rifasamento sono molteplici e la loro scelta è funzione della natura e dell'andamento giornaliero dei carichi, della loro distribuzione nell'impianto e del tipo di servizio. La scelta va effettuata tra RIFASAMENTO DISTRIBUITO e RIFASAMENTO CENTRALIZZATO. Nel caso di rifasamento distribuito, le unità rifasanti sono disposte nelle immediate vicinanze di ogni singolo carico che si vuole rifasare. Nel caso di rifasamento centralizzato, si installa un'unica batteria di condensatori a monte di tutti i carichi da rifasare e immediatamente a valle del punto di misura del  $\cos\phi$  (ad esempio nella cabina di trasformazione M.T./B.T. o nel Quadro di Distribuzione Principale).

**POWER FACTOR CORRECTION: HOW?**

By installing a capacitor bank it is possible to reduce the reactive power absorbed by the inductive loads in the system and consequently to improve power factor.

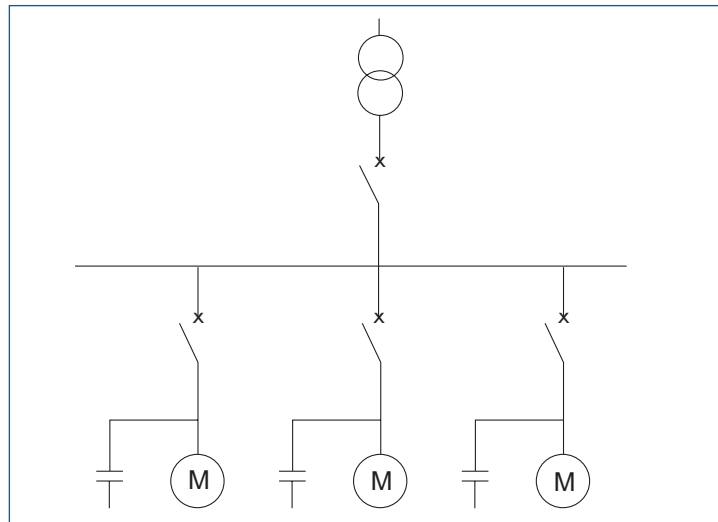
It is suitable to have  $\cos\phi$  a little in excess of 0.9 to avoid paying the penalties provided for by the law.  $\cos\phi$  must not be too close to unity, to avoid the leading currents in of the electrical system. The choice of the correct power factor correction equipment depends on the type of loads present and by their way of working. The choice is between CENTRAL COMPENSATION and INDIVIDUAL COMPENSATION.

Individual compensation: power factor correction is wired at each single load (i.e. motor terminals)

Central compensation: there is only one bank of capacitors on the main power distribution switch board or substation.

**RIFASAMENTO DISTRIBUITO**

**INDIVIDUAL COMPENSATION**

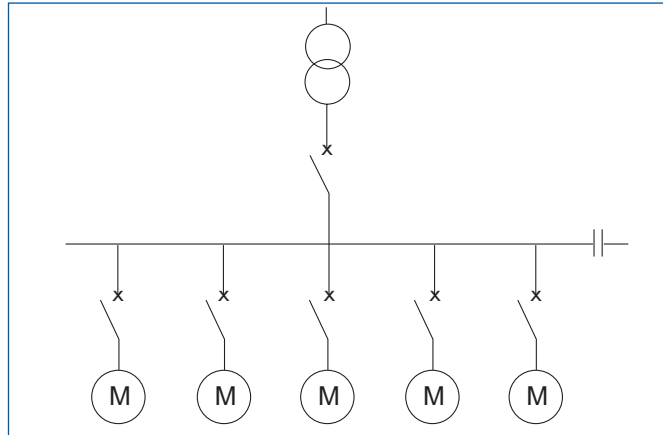


Il rifasamento distribuito è la soluzione tecnica preferibile: condensatore e apparecchio utilizzatore seguono le stesse sorti durante l'esercizio giornaliero, per cui la regolazione del  $\cos\phi$  diventa sistematica e rigidamente legata al carico rifasato. Inoltre, con il rifasamento distribuito lo sgravio di energia reattiva interessa sia l'Ente Distributore sia l'utente. Negli impianti industriali, ad esempio, il risparmio ottenibile con il rifasamento distribuito si manifesta sia sotto forma tariffaria, sia sotto forma di miglior dimensionamento di tutte le linee interne allo stabilimento che collegano la cabina M.T./B.T. con i carichi rifasati. Un altro notevole vantaggio di questo tipo di rifasamento è l'installazione semplice e poco costosa, in quanto condensatore e carico sono inseriti e disinseriti contemporaneamente e possono usufruire delle stesse protezioni contro i sovraccarichi ed i corto circuiti.

The individual compensation is a simple technical solution: the capacitor and the user equipment follow the same sorts during the daily work, so the regulation of the  $\cos\phi$  becomes systematic and closely linked to the load. Another great advantage of this type of power factor correction is the simple installation with low costs.

## RIFASAMENTO CENTRALIZZATO

## CENTRAL COMPENSATION



L'andamento giornaliero dei carichi ha un'importanza fondamentale per la scelta del tipo di rifasamento più conveniente.

In molti impianti, non tutte le utenze funzionano contemporaneamente e alcune addirittura funzionano solo per poche ore al giorno. E' evidente che la soluzione del rifasamento distribuito diventa troppo costosa per l'elevato numero di condensatori che si dovrebbero prevedere. Si lascerebbero inoltre molti di questi condensatori per lungo tempo inutilizzati.

Il rifasamento distribuito è conveniente qualora la maggior parte della potenza reattiva richiesta sia concentrata su pochi carichi di grossa potenza che lavorano molte ore al giorno. Il rifasamento centralizzato conviene invece nel caso di impianti con molti carichi eterogenei che lavorano saltuariamente. In tal caso la potenza della batteria risulta inferiore alla potenza complessiva che bisognerebbe prevedere con il rifasamento distribuito.

E' opportuno collegare la batteria permanentemente solo se l'assorbimento di energia reattiva durante la giornata è sufficientemente regolare, altrimenti deve essere manovrata al fine di evitare di avere il  $\cos\phi$  in anticipo. Se l'assorbimento di potenza reattiva è molto variabile durante il funzionamento dell'impianto, è consigliabile prevedere una regolazione automatica frazionando la batteria in più gradini. Si può prevedere la manovra manuale quando la batteria deve essere azionata poche volte al giorno.

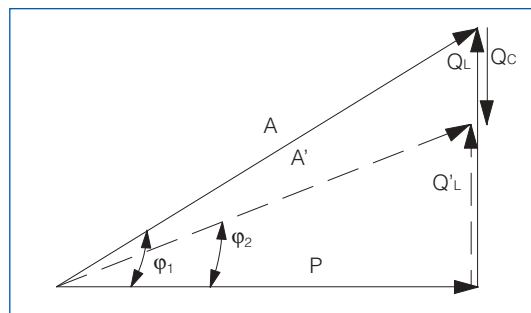
## RIFASARE: QUANTO?

La scelta della batteria di condensatori da installare in un impianto è direttamente dipendente da:

- valore del  $\cos\phi_2$  che si vuole ottenere;
- valore del  $\cos\phi_1$  di partenza;
- potenza attiva installata.

secondo la relazione:

$$Q_C = P \cdot (\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$$



dove

$Q_C$  = potenza reattiva capacitativa da installare (kvar);  
 $P$  = potenza attiva installata (kW);  
 $Q_L, Q'_L$  = potenza reattiva induttiva prima e dopo l'installazione della batteria di condensatori;  
 $A, A'$  = potenza apparente prima e dopo il rifasamento.

The daily trend of the loads has a fundamental importance for the choice of most suitable power factor correction.

In many systems, not all the loads work in the same time and some of them work only a few hours per day.

It is clear that the solution of the individual compensation becomes too expensive for the high number of capacitors that have to be installed. Most of these capacitors will not be used for long period of time.

The individual compensation is more effective if the majority of the reactive power is concentrated on a few substations loads that work long period of time.

Central compensation is best suited for systems where the load fluctuates throughout the day.

If the absorption of reactive power is very variable, it is advisable the use of automatic regulation in preference to fixed capacitors.

POWER FACTOR CORRECTION:  
HOW MANY CAPACITORS?

The choice of capacitor bank to install in a system is closely depended from:

- $\cos\phi_2$  value that we would obtain
- $\cos\phi_1$  starting value
- installed active power

By the following equation

where

$Q_C$  = Required capacitors reactive output (kvar)  
 $P$  = active power  
 $Q_L, Q'_L$  = Inductive reactive output before and after the installation of the capacitor bank  
 $A, A'$  = apparent power before and after the power factor correction.

La formula: *The equation*

$$Q_c = P \cdot (\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$$

si può scrivere anche come *Can be also written*

$$Q_c = k \cdot P$$

dove il parametro k è facilmente calcolabile utilizzando la tabella 1.

*where the parameter k is easily calculable using table 1 below.*

Supponiamo di avere installato un carico che assorbe una potenza attiva pari a 300kW con un fattore di potenza iniziale 0,7 e lo si voglia innalzare a 0,92.

*We have installed a load that absorb an active power of 300 kW with a beginning power factor 0.7 and we want to increase it until 0.92,*

Dalla tabella 1 si ricava:

*From the table 1 we find:*

$$k = 0,591$$

Fattore di potenza iniziale Starting power factor	Fattore di potenza finale Final power factor	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.40		1.541	1.668	1.805	1.832	1.861	1.895	1.924	1.959	1.998	2.037	2.085	2.146	2.288
0.41		1.474	1.605	1.742	1.769	1.798	1.831	1.860	1.896	1.935	1.973	2.021	2.082	2.225
0.42		1.413	1.544	1.681	1.709	1.738	1.771	1.800	1.836	1.874	1.913	1.961	2.022	2.164
0.43		1.356	1.487	1.624	1.709	1.680	1.713	1.742	1.778	1.816	1.855	1.903	1.964	2.107
0.44		1.290	1.421	1.558	1.651	1.614	1.647	1.677	1.712	1.751	1.790	1.837	1.899	2.041
0.45		1.230	1.360	1.501	1.585	1.561	1.592	1.626	1.659	1.695	1.737	1.784	1.846	1.988
0.46		1.179	1.309	1.446	1.532	1.502	1.533	1.567	1.600	1.636	1.677	1.725	1.786	1.929
0.47		1.130	1.260	1.397	1.473	1.454	1.485	1.519	1.532	1.588	1.629	1.677	1.758	1.881
0.48		1.076	1.206	1.343	1.425	1.400	1.430	1.464	1.497	1.534	1.575	1.623	1.684	1.826
0.49		1.030	1.160	1.297	1.370	1.355	1.386	1.420	1.453	1.489	1.530	1.578	1.639	1.782
0.50		0.982	1.112	1.248	1.326	1.303	1.337	1.369	1.403	1.441	1.481	1.529	1.590	1.732
0.51		0.936	1.066	1.202	1.276	1.257	1.291	1.323	1.357	1.395	1.435	1.483	1.544	1.686
0.52		0.894	1.024	1.160	1.230	1.215	1.249	1.281	1.315	1.353	1.393	1.441	1.502	1.644
0.53		0.850	0.980	1.116	1.188	1.171	1.205	1.237	1.271	1.309	1.349	1.397	1.458	1.600
0.54		0.809	0.939	1.075	1.144	1.130	1.164	1.196	1.230	1.268	1.308	1.356	1.417	1.559
0.55		0.769	0.899	1.035	1.103	1.090	1.124	1.156	1.190	1.228	1.268	1.316	1.377	1.519
0.56		0.730	0.865	0.996	1.063	1.051	1.085	1.117	1.151	1.189	1.229	1.277	1.338	1.480
0.57		0.692	0.822	0.958	0.986	1.013	1.047	1.079	1.113	1.151	1.191	1.239	1.300	1.442
0.58		0.665	0.785	0.921	0.949	0.976	1.010	1.042	1.076	1.114	1.154	1.202	1.263	1.405
0.59		0.618	0.748	0.884	0.912	0.939	0.973	1.005	1.039	1.077	1.117	1.165	1.226	1.368
0.60		0.584	0.714	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
0.61		0.549	0.679	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62		0.515	0.645	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265
0.63		0.483	0.613	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.030	1.091	1.233
0.64		0.450	0.580	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200
0.65		0.419	0.549	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.966	1.007	1.169
0.66		0.388	0.518	0.654	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138
0.67		0.358	0.488	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68		0.329	0.459	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079
0.69		0.299	0.429	0.565	0.593	0.620	0.654	0.686	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049
0.70		0.270	0.400	0.536	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.769	0.811	0.878	1.020
0.71		0.242	0.372	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992
0.72		0.213	0.343	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963
0.73		0.186	0.316	0.452	0.480	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936
0.74		0.159	0.289	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909
0.75		0.132	0.262	0.398	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740	0.882
0.76		0.105	0.235	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855
0.77		0.079	0.209	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687	0.829
0.78		0.053	0.183	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803
0.79		0.026	0.156	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776
0.80		-	0.130	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750
0.81		-	0.104	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724
0.82		-	0.078	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698
0.83		-	0.052	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530	0.672
0.84		-	0.026	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645
0.85		-	-	0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.620
0.86		-	-	0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593
0.87		-	-	0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567
0.88		-	-	0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538
0.89		-	-	0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.230	0.262	0.309	0.369	0.512
0.90		-	-	-	0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484

Tabella 1 / Table 1

da cui si ricava: *and then we find*

$$Q_c = 0,591 \cdot 300 \cong 177 \text{ kvar}$$

Un tipico esempio di rifasamento a volte poco considerato ma decisamente importante riguarda il rifasamento dei trasformatori MT/BT per la distribuzione di energia. Si tratta essenzialmente di un rifasamento fisso che ha lo scopo di compensare la potenza reattiva assorbita dal trasformatore nel suo funzionamento a vuoto (ciò accade spesso durante le ore notturne). Il calcolo della potenza reattiva necessaria è molto semplice e si basa sulla seguente formula:

$$Q_c = I_0\% \cdot \frac{A_N}{100}$$

dove

$I_0\%$  = corrente a vuoto percentuale del trasformatore  
 $A_N$  = potenza apparente espressa in kVA del trasformatore

Se non si dovesse disporre di questi dati è possibile utilizzare la tabella 2 di seguito riportata:

where

$I_0\%$  = magnetising current of the transformer (AS%)  
 $A_N$  = Apparent rated power in kVA of the transformer

If we don't have these parameters, it is possible using the following table

Potenza trasformatore <i>Power transformer</i> KVA	Trasformatori in olio <i>Oil transformer</i> kvar	Trasformatori in resina <i>Resin transformer</i> kvar
10	1	1,5
20	2	1,7
50	4	2
75	5	2,5
100	5	2,5
160	7	4
200	7,5	5
250	8	7,5
315	10	7,5
400	12,5	8
500	15	10
630	17,5	12,5
800	20	15
1000	25	17,5
1250	30	20
1600	35	22
2000	40	25
2500	50	35
3150	60	50

Tabella 2 / Table 2

Un altro esempio di rifasamento molto importante riguarda il motore asincrono trifase che è rifasato localmente. La potenza reattiva da installare è riportata nella tabella 3 sottostante:

Another very important example of power factor correction concerns asynchronous three-phase motors that are individually corrected. The reactive power we must install is reported on table 3

Potenza del motore Motor power		Kvar				
HP	kW	3000 giri min. rpm	1500 giri min. rpm	1000 giri min. rpm	750 giri min. rpm	500 giri min. rpm
0,4	0,55	-	-	0,5	0,5	-
1	0,73	0,5	0,5	0,6	0,6	-
2	1,47	0,8	0,8	1	1	-
3	2,21	1	1	1,2	1,6	-
5	3,68	1,6	1,6	2	2,5	-
7	5,15	2	2	2,5	3	-
10	7,36	3	3	4	4	5
15	11	4	5	5	6	6
30	22,1	10	10	10	12	15
50	36,8	15	20	20	25	25
100	73,6	25	30	30	30	40
150	110	30	40	40	50	60
200	147	40	50	50	60	70
250	184	50	60	60	70	80

Tabella 3 / Table 3

Unica avvertenza nel caso di rifasamento di motori asincroni trifase è quella di mantenere la potenza reattiva della batteria di condensatori al di sotto della potenza reattiva a vuoto del motore per evitare di incorrere nel fenomeno della auto-eccitazione.  
Nel caso di motori con rotore avvolto la potenza reattiva della batteria di condensatori deve essere aumentata del 5%.

*Be careful: the capacitor output must not be dimensioned too high for individual compensated machines where the capacitor is directly connected with the motor terminals. The capacitor placed in parallel may act as a generator for the motor which will cause serious overvoltages (self-excitation phenomena).  
In case of wound rotor motor the reactive power of the capacitor bank must be increased by 5%.*

## RIFASAMENTO: LE RAGIONI TECNICHE

La recente liberalizzazione del mercato elettrico con potenziali nuovi fornitori di energia ha comportato la nascita di diverse tipologie di bollette da alcune delle quali non è immediato il rilievo del valore del fattore di potenza.  
Ad ogni modo, a causa del sempre maggiore costo dell'energia, rifasare è ancora più conveniente. Nella maggior parte dei casi il costo relativo all'installazione dell'apparecchiatura di rifasamento viene ammortizzato in pochi mesi.  
I vantaggi tecnico-economici dovuti all'installazione di una batteria di condensatori sono i seguenti:

- diminuzione delle perdite in linea e nei trasformatori dovuta alla minor corrente assorbita;
- diminuzione delle cadute di tensione nelle linee;
- ottimizzazione del dimensionamento dell'impianto.

La corrente I che circola nell'impianto è data da:

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

dove  
P= potenza attiva assorbita dall'impianto  
V= tensione di esercizio

## POWER FACTOR CORRECTION: TECHNICAL REASONS

*Recent energy market deregulation, along with new potential energy supplier rising, had lead to many and different type of invoicing which are not very clear in showing Power Factor up.  
However as energy final price is steady growing, to correct power factor is becoming more and more convenient. In most of the cases power factor improvement device prime cost is paid back in few months.*

*Technical-economical advantages of the installation of a capacitor bank are the following:*

- decrease of the losses in the network and on the transformers caused by the minor absorbed current
- decrease of voltage on lines
- optimisation of the system sizing

*The current I, that flows in the system, is calculated by*

where  
P= Active power  
V= Nominal Voltage

Aumentando il  $\cos\phi$ , a pari potenza assorbita si ottiene la riduzione del valore della corrente e conseguentemente delle perdite in linea e nei trasformatori. Pertanto si ha un importante risparmio sul grazie al miglior dimensionamento dell'impianto.

Il miglior dimensionamento dell'impianto si riflette sulle cadute di tensione in linea, fenomeno che si può facilmente interpretare considerando la seguente formula:

$$\Delta V = R \cdot \frac{P}{V} + X \cdot \frac{Q}{V}$$

dove

P= Potenza attiva trasportata dalla linea (kW)

Q= Potenza reattiva trasportata dalla linea (kvar)

mentre R è la resistenza del cavo e X la sua reattanza ( $R \ll X$ ). L'installazione di una batteria di condensatori diminuisce il valore di Q consentendo così di avere una caduta di tensione inferiore. Se per un errato calcolo del valore della batteria di condensatori installata nell'impianto il termine  $\Delta V$  dovesse diventare negativo, anziché una riduzione di caduta di tensione si avrebbe un aumento di tensione a fine linea (Effetto Ferranti) con conseguenze dannose per i carichi installati. Alcuni esempi chiariranno i concetti appena esposti:

1) Cavo in rame 3x25mm<sup>2</sup> lungo 100m che trasporta 40kW a 400Vac

*While  $\cos\phi$  increases, with the same absorbed power we can obtain a reduction in the value of the current and as a consequence the losses in the network and on the transformers are reduced. Therefore we have an important saving on the size of electrical equipment used on a system. The best system sizing has some consequence on the line voltage drop. We can easily see that looking at the following formula:*

where

P= active power on the network (kW)

Q= reactive power on the network (kvar)

*while R is the cable resistance and X its reactance ( $R \ll X$ ). The capacitor bank installation reduces Q so we have a lower voltage drop. If, for a wrong calculation of the installed capacitor bank value, the reactive part of the above equation becomes negative, instead of a reduction of the voltage drop we have an increasing of the voltage at the end of the line (Ferranti Effect) with dangerous consequence for the installed loads.*

Hereinafter some examples:

1) Copper wire 3x25mm<sup>2</sup>, length 100m, 40kW load at 400Vac

<b>cosφ</b>	<b>Potenza dissipata in linea (kW) / Lost power on the line</b>
0,5	3,2
0,6	2,3
0,7	1,6
0,8	1,3
0,9	1

2) Trasformatore da 100kVA

2) 100kVA transformer

<b>Potenza attiva erogata (kW) / Active power (kW)</b>	<b>cosφ</b>
50	0,5
60	0,6
70	0,7
80	0,8
90	0,9
100	1

Come si vede aumentando il fattore di potenza si hanno meno perdite in linea e una maggiore potenza attiva erogata dal trasformatore. Questo permette di ottimizzare il dimensionamento dell'impianto con notevole risparmio di materiali.

*As we can see as the power factor increases we have fewer losses in the network and more active power. This allows us to optimise on the system sizing.*

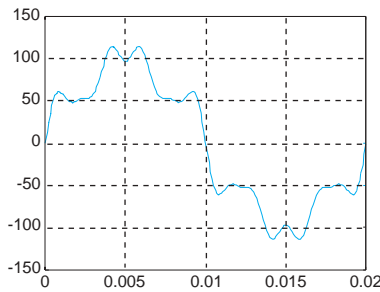
**RIFASAMENTO: LE ARMONICHE NELLE RETI ELETTRICHE**

Le distorsioni della tensione e della corrente e quindi le armoniche, sono generate da carichi non lineari (inverter, saldatrici ad arco, trasformatori saturati, raddrizzatori etc.).

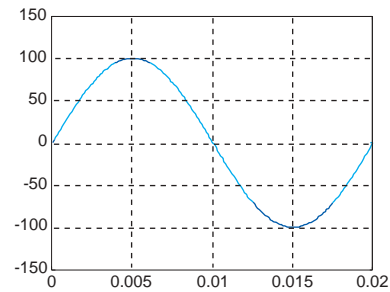
La loro presenza in rete comporta alcuni tipi di problemi sugli elementi componenti un impianto:

- nelle macchine rotanti si ha l'insorgere di coppie parassite (con conseguenti vibrazioni) che ne minacciano la durata meccanica. L'aumento delle perdite provoca riscaldamento indesiderati con conseguente danneggiamento degli isolamenti;
- nei trasformatori causano l'aumento delle perdite nel rame e nel ferro con possibile danneggiamento degli avvolgimenti. L'eventuale presenza di componenti continue di tensione o corrente può comportare la saturazione del nucleo con conseguente aumento della corrente magnetizzante;
- i condensatori ne risentono dal punto di vista del riscaldamento e dell'aumento della tensione che provocano una riduzione della vita media.

La forma d'onda della corrente generata da un carico non lineare (fig. 1) essendo periodica può essere rappresentata come la somma di più onde sinusoidali (una componente a 50Hz detta fondamentale e altre componenti con frequenza multipla della fondamentale dette ARMONICHE):

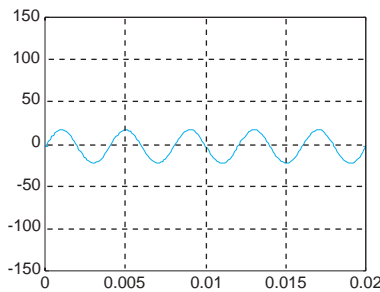


=

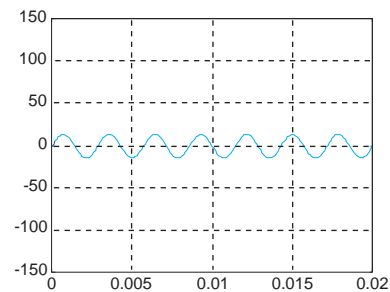


+

Fig. 1



+



+ ...

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

E' in generale sconsigliabile rifasare senza alcun accorgimento una linea con contenuto armonico elevato.

Questo perché, anche se si possono costruire condensatori in grado di sopportare forti sovraccarichi, il rifasamento eseguito con soli condensatori si traduce in un incremento del contenuto armonico, con gli effetti negativi appena visti. Si parla di **fenomeno di risonanza** ogni qual volta una reattanza induttiva è uguale a quella capacitiva

$$(\omega L = \frac{1}{\omega C})$$

La risonanza si distingue in due diverse tipologie : serie o parallelo.

Un qualsiasi impianto elettrico può essere rappresentato dal circuito equivalente di fig.2.

**POWER FACTOR CORRECTION: HARMONICS IN THE NETWORK**

The distortions of the voltage and current waveforms are generated from non-linear loads (inverter, saturated transformers, rectifier, etc.) and produce the following problems:

- On the A.C. motors we find mechanical vibration that can reduce the life. The increase of the losses creates overheating with consequent damaging of the insulating materials;
- In transformers they increase the copper and iron losses with possible damaging of the windings. The eventual presence of direct voltage or current could cause the saturation of the nucleus with consequent increasing of the magnetising current;
- The capacitors suffer from the overheating and the increasing of the voltage that reduce the life.

The wave form of the current (or voltage) generated from a non-linear load (fig. 1), being periodical, could be represented by the sum of more sinusoidal waves (a 50Hz component called fundamental and other components with multiple frequency of the fundamental components, called HARMONICS):

It is not advisable to install the power factor correction without considering the harmonic content of a system.

This is because, even if we could manufacture capacitors that can withstand high overloads, capacitors produce an increase of harmonic content, with the negative effects just seen. We speak about **resonance phenomena** when an inductive reactance is equal to the capacitive one

$$(\omega L = \frac{1}{\omega C})$$

The resonance is divided in two different typologies: **series or parallel**.

The electric circuit could be represented with the equivalent circuit below:

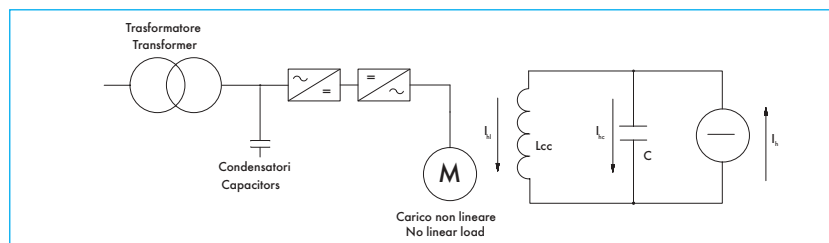


Fig. 2

Il generatore di corrente rappresenta il motore che genera le componenti armoniche  $I_h$  indipendenti dall'impedenza del circuito mentre  $L_{cc}$  è ricavabile dalla potenza di corto circuito a monte del condensatore (normalmente coincide con l'induttanza di corto-circuito del trasformatore).

La risonanza si calcola nel seguente modo:

$$N = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}} \approx \sqrt{\frac{A \cdot 100}{Q \cdot v_{cc}\%}}$$

$S_{cc}$  = potenza di corto circuito della rete (MVA)  
 $Q$  = potenza della batteria di rifasamento (kvar)  
 $A$  = potenza del trasformatore (kVA)  
 $v_{cc}\%$  = tensione di corto circuito del trasformatore  
 $N$  = ordine di armonicità

In condizioni di risonanza parallelo la corrente e la tensione relative alla maglia  $L_{cc} - C$  sono fortemente amplificate così come le armoniche vicine. Un esempio chiarirà i concetti appena esposti :

$A = 630\text{kVA}$  (potenza apparente del trasformatore MT/BT)

$v_{cc}\% = 6$  (tensione di corto circuito percentuale del trasformatore MT/BT)

$Q = 300\text{kvar}$  (potenza reattiva installata)

*Ideal current generator represents motor as harmonic current components generator, these are independent from circuit inductance, while  $L_{cc}$  is obtainable by capacitor upstream short circuit power (in general it is equal to transformer short-circuit inductance).*

$S_{cc}$  = Short-circuit power of the network (MVA)  
 $Q$  = Output of power factor correction bank (kvar)  
 $A$  = Rated power transformer (kVA)  
 $v_{cc}\%$  = Short-circuit voltage %  
 $N$  = harmonic order

*In parallel resonance conditions the current and the voltage of the circuit  $L_{cc} - C$  are heavily amplified as well as the near by harmonic currents. Hereinafter an example.*

$A = 630\text{kVA}$  (rated power transformer)

$v_{cc}\% = 6$  (short-circuit voltage %)

$Q = 300\text{kvar}$  (output of power factor correction bank)

$$N = \sqrt{\frac{A \cdot 100}{Q \cdot v_{cc}\%}} = \sqrt{\frac{630 \cdot 100}{300 \cdot 6}} \approx 6$$

Il risultato trovato mostra che in queste condizioni il sistema trasformatore - batteria di condensatori presenta frequenza di risonanza parallelo a 300Hz ( $N \times 50\text{Hz}$ ).

La soluzione più conveniente per evitare questo tipo di problematiche è il filtro di sbarramento (Detuned Filter), ottenibile ponendo in serie ai condensatori delle reattanze (fig.3) che, spostando la frequenza di risonanza parallelo dell'impianto al di sotto dell'armonica più bassa esistente, sono in grado di proteggere i condensatori e nel frattempo evitano risonanze pericolose.

*The result shows that in these conditions the system transformer- capacitor bank has the parallel resonance frequency of 300Hz ( $N \times 50\text{Hz}$ ). The most convenient solution is the detuned filter, formed introducing a filter reactor in series with the capacitors, making this a more complex resonant circuit but with the desired feature of having a resonance frequency below the first existing harmonic.*

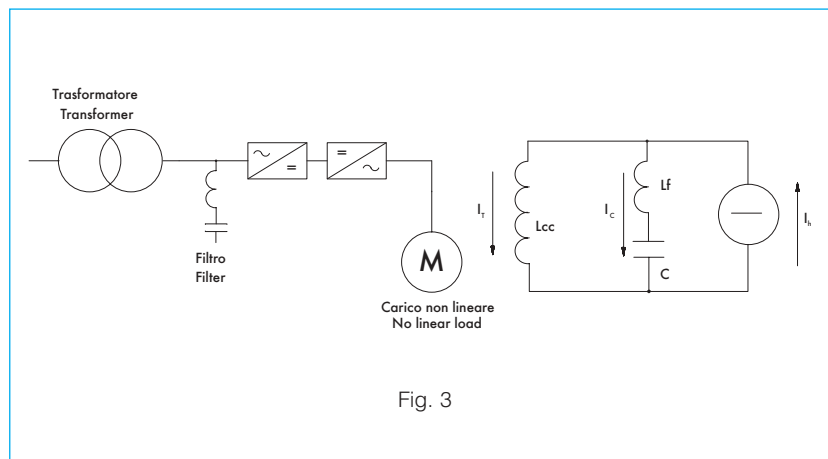


Fig. 3

E' facile verificare che con questo tipo di soluzione realizzativa la frequenza di risonanza parallelo si modifica da:

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

a

It is easy verify that with this typology of solution the parallel resonance frequency is modified from

$$f_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(L_{cc} + L_f) \cdot C}}$$

Normalmente la frequenza di risonanza tra condensatore e reattanza serie viene abbassata al di sotto dei 250Hz ed è generalmente compresa tra 135Hz e 210Hz. I valori più bassi corrispondono a carichi armonici più elevati. L'installazione di una reattanza in serie alla batteria di condensatori dà origine anche ad una frequenza di risonanza serie:

Normally the resonance frequency between the capacitor and the series reactance is lower than 250Hz and it is generally between 135Hz and 210Hz. The lower values correspond to higher harmonic loads. The installation of a reactance in series with the capacitor bank produces a series resonance frequency:

$$f_s = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_f \cdot C}}$$

Se esiste un'armonica  $I_h$  con frequenza uguale a quella della risonanza serie, questa verrà totalmente assorbita dal complesso condensatori - reattori senza interessare la rete. Su questo semplice principio si basa la realizzazione del **filtro passivo di assorbimento (Tuned Filter)**. La sua applicazione viene richiesta quando si vuole la riduzione della distorsione totale in corrente (THD) presente nell'impianto:

If a harmonic  $I_h$  with the same frequency of the resonance in series exists, this one will be totally absorbed by the system capacitors - reactors without any interest on the network. The realisation of a **tuned passive filter** is based on this simple principle. This application is required when we want the reduction of the total distortion in current (THD) on the system:

$$THD = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_n^2}}{I_1}$$

$I_1$  = componente alla frequenza fondamentale (50Hz) della corrente armonica di linea

$I_3, I_5, \dots$  = componente armoniche alle frequenze multiple della fondamentale (150Hz, 250Hz, 350Hz, ...)

$I_1$  = Component at the fundamental frequency (50Hz) of the total harmonic current

$I_3, I_5, \dots$  = Harmonic components at the multiple frequency of the fundamental (150Hz, 250Hz, 350Hz, ...)

Il dimensionamento dei filtri passivi è legato ai seguenti parametri circuitali:

The dimensioning of tuned/passive filters is linked to the circuit parameter:

- impedenza della rete (l'effetto filtrante è tanto minore quanto maggiore è la potenza di corto circuito della rete: in alcuni casi può essere necessario aggiungere in serie alla rete una reattanza in modo da aumentare l'effetto filtrante);

- impedance of the network (attenuation effect less as the short-circuit power on the network increases: in some cases could be useful to add in series with the network a reactance to increase the filtering effect);

- presenza di eventuali ulteriori utenze distorcenti allacciate ad altri nodi della rete;

- presence of further loads that generate harmonics linked to other nodes on the network

- tipologia dei condensatori utilizzati

- capacitor types

Riguardo a quest'ultimo punto si devono fare alcune considerazioni. E' noto che i condensatori in polipropilene metallizzato (condensatori standard) tendono a diminuire di capacità nel tempo; ad esempio può accadere che dopo 2-3 anni siano variati del 5% o più (fenomeno causato tipicamente da frequenze elevate ed eventualmente da alte temperature). Variando la capacità varia inevitabilmente la frequenza

About this third point we must remark. As it is known the polypropylene metallised capacitors (standard capacitors) lose capacitance during working life; for example it could happen that after 2-3 years the capacitance decreases by 5% or more (this phenomena is caused typically by voltage and temperatures rise). Decreasing the capacitance automatically the series resonance frequency varies

di risonanza serie ( $f_s = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_f \cdot C}}$ )

$f_s = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_f \cdot C}}$  and this inconveniently could be very dangerous

e questo inconveniente può essere molto pericoloso perché il sistema si potrebbe portare in condizioni di risonanza parallelo. In questo caso non solo il filtro non assorbe più le armoniche ma addirittura le amplifica. Per avere garanzia di capacità costante nel tempo è necessario utilizzare un'altra tipologia di condensatori realizzati in carta bimetallizzata e polipropilene totalmente impregnato (tipo 3In).

because the system could have parallel resonance. In this case not only the filter does not absorb any more of the harmonics but it amplifies them. To have the guarantee of a constant capacitance during the time it is necessary use another type of capacitor in bimetalised paper and polypropylene totally impregnated (3In type).

Oltre al filtro di assorbimento realizzato con condensatori e induttanze (filtro passivo) è possibile, per eliminare le armoniche in rete, utilizzare anche un'altra tipologia costruttiva di filtro di assorbimento: il **Filtro Attivo (Active Filter)**. Il principio di funzionamento si basa sulla iniezione in linea delle medesime armoniche di corrente prodotte dai carichi NON lineari ma cambiate di segno.

Besides the tuned filter made of capacitors and inductance (passive filter) it is possible, to remove the harmonics in the network, to use another type of construction tuned filter: the **Active Filter**. The working is based on the injection in the network of the same current harmonics created by the non-linear loads but out of phase.

## RIFASAMENTO: QUALITÀ E SICUREZZA

### REQUISITI FONDAMENTALI

Si definisce sicurezza l'assenza di pericoli per le persone e le cose quando un apparecchio è in uso o in magazzino. Ciò implica l'identificazione di sollecitazioni, rischi e possibili guasti e la loro eliminazione o il loro controllo in modo tale da ridurre il livello di rischio ad un valore accettabile. I condensatori e le batterie NON devono essere usati per scopi diversi dal rifasamento per impianti di energia a corrente alternata. Nel caso in cui i condensatori vengano impiegati oltre che per il rifasamento anche come componenti di filtro, l'impiego in condizioni di sicurezza deve essere oggetto di specifico accordo con ICAR.

### REQUISITI GENERALI

I metodi, i parametri e i requisiti di prova prescritti dalle norme IEC – CEI EN per condensatori e apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione (quadri BT) hanno lo scopo di controllare il progetto e la costruzione sotto l'aspetto della sicurezza e della qualità. Essi non devono essere considerati come indicazione che i condensatori e le apparecchiature di rifasamento sono adatti ad un servizio in condizioni equivalenti alle condizioni di prova.

L'utilizzatore deve verificare che sulla targa del condensatore e delle apparecchiature di rifasamento siano indicati i valori di tensione e frequenza adeguati ai valori della rete su cui vengono installati.

L'utilizzatore deve verificare che l'installazione dei condensatori e/o dell'apparecchiatura di rifasamento sia conforme a quanto specificato nelle istruzioni o nel catalogo.

I condensatori e le apparecchiature di rifasamento NON devono essere esposti ad azioni dannose di sostanze chimiche o ad attacchi della flora e/o fauna.

I condensatori e le apparecchiature di rifasamento devono essere adeguatamente protetti contro i rischi di danneggiamenti meccanici ai quali potrebbero essere esposti durante le normali condizioni di servizio o durante l'installazione. I condensatori e le apparecchiature di rifasamento che risultino danneggiati meccanicamente o elettricamente per qualsiasi motivo durante il trasporto, magazzinaggio o montaggio non devono essere utilizzati e quelli riscontrati danneggiati in servizio devono essere immediatamente rimossi.

### PRESCRIZIONI AGGIUNTIVE SULLE APPARECCHIATURE DI RIFASAMENTO

#### Definizione

Per apparecchiatura di rifasamento si intende:

- uno o più gruppi di condensatori che possono essere inseriti o disinseriti in rete in modo automatico o manuale mediante opportuni organi di manovra (contattori, interruttori, sezionatori...);
- organi di manovra;
- dispositivi di controllo, protezione e misura;
- collegamenti.

La realizzazione può essere a giorno oppure in quadro.

#### Requisiti generali

Seguire le istruzioni della ICAR fornite nella documentazione o allegate alla fornitura tenendo presente le distanze di sicurezza, i criteri di montaggio e collegamento, i criteri di funzionamento in servizio e le istruzioni per i controlli e la manutenzione.

#### Compatibilità

Devono essere prese le opportune precauzioni in modo da evitare pericolose interferenze con le apparecchiature adiacenti.

#### Contattori

E' consigliabile l'utilizzo di contattori specifici per carichi capacitivi (categoria di impiego AC6-b) poiché, essendo dotati di resistenze di pre-inserzione, riescono a limitare le sovracorrenti che si verificano

all'atto dell'inserzione di una batteria di condensatori ( $i \approx C \cdot \frac{dv}{dt}$ ).

L' inserzione anticipata, rispetto alla chiusura dei contatti principali del contattore, di questa resistenze limitatrici consente di:

- evitare che il contattore si incolli;
- evitare che i condensatori si danneggino.

## POWER FACTOR CORRECTION: QUALITY AND SAFETY

### BASIC REQUIREMENT

We define "safety" as the absence of risks for people and equipment when in operation or in a warehouse.

This involves the identification of all possible risks; eliminating or controlling them in order to reduce the risk factor to an acceptable level.

The capacitors and the banks MUST NOT to be used other than for power factor correction. If the capacitors are employed for other purposes other than power factor correction, even as filter components, their use with regard to safety conditions MUST be agreed with ICAR.

### GENERAL REQUIREMENT

The capacitors are constructed in accordance with IEC – CEI EN methods, parameters and tests. The low voltage capacitors are assembled with the required protection devices and assembled into banks to give a QUALITY product which will operate SAFELY. They are not considered as the indication that the capacitors and the power factor correction equipment are suitable for a use in the same conditions of the tests.

The user has to verify that the capacitor and power factor correction equipment are of the correct voltage and frequency suitable for values of the network on which they are installed.

The user has to verify that the installation of the capacitors and/or the power factor correction equipment is in accordance with the catalogue and the instructions of use.

Capacitors and power factor correction equipment MUST NOT be exposed to damaging action of chemical substance or to attacks of flora and/or fauna.

Capacitors and power factor correction equipments must be protected against risks of mechanical damaging to which could be exposed during normal working conditions or during the installation.

Capacitors and power factor correction equipments that were mechanically or electrically damaged for any reason during the transport, the storage or the installation must not be used and these that breakdown during use must be immediately removed.

### ADDITIONAL INSTRUCTION ABOUT THE POWER FACTOR CORRECTION EQUIPMENTS

#### Definition

Power factor correction equipment means:

- one or more groups of capacitors that can be connected and disconnected on the network automatically or by hand using suitable operating devices (contactors, circuit breakers, load-break switch, ...)
- operating devices
- control, protection and measure systems
- connections

The equipment could be open or closed inside a metal enclosure.

#### General requirement

Follow ICAR instructions in the documentation attached considering the safe distance, the connection standard criteria, working standards and the instructions for the controls and the maintenance.

#### Compatibility

It must be paid attention to the electromagnetic interferences with the near by equipment.

#### Contactors

Contactors used must be suitable for capacitors switching (category AC6-b) because, having pre-making resistance, they are able to limit

over currents that exist during a capacitor bank switch ( $i \approx C \cdot \frac{dv}{dt}$ ).

The advance insertion, in respect of the main contactor eliminates the following hazards :

- To avoid main contacts melting.
- To avoid capacitor damage.

## RACCOMANDAZIONI PER L'INSTALLAZIONE

### Fissaggio e connessione

Per fissare le apparecchiature di rifasamento si consiglia di utilizzare i seguenti tipi di viti:

- Riphaso con vite M10;
- MICRomatic e MICROfix fissaggio a muro con tassello 8;
- MINImatic fissaggio a muro e fissaggio a pavimento con vite M8;
- MULTImatic e MULTImatic HLP fissaggio a pavimento con vite M12.

L'installazione delle apparecchiature di rifasamento è per interno, per installazioni differenti l'utilizzatore deve consultare il servizio tecnico ICAR.

### Organi di protezione

Gli organi di manovra (sezionatori) o manovra e protezione (interruttori nel caso la lunghezza del cavo sia superiore ai 3m) devono essere dimensionati per sopportare le correnti capacitive (circa 1,3 volte la corrente nominale), i transitori di inserzione e il numero di manovre previste. I condensatori sono costruiti con polipropilene che è un materiale infiammabile. Anche nel caso che un incendio non abbia origine nei condensatori o all'interno del quadro, essi possono tuttavia propagarlo dando origine a fumi e gas nocivi. Dovranno essere presi gli opportuni accorgimenti per evitare la propagazione delle fiamme e dei fumi. Qualora vi sia pericolo per la presenza di atmosfere esplosive o infiammabili, si deve far riferimento alle norme IEC "Impianti elettrici con pericolo di esplosione ed incendio".

### Pericolo per le persone

All'atto dell'installazione delle apparecchiature di rifasamento si dovrà fare in modo che le parti in tensione siano opportunamente protette da contatti accidentali secondo quanto previsto dalle norme IEC. Prima della messa in servizio verificare il corretto serraggio dei morsetti e di tutta la bulloneria.

## PROTEZIONI

### Fusibili

La presenza nei condensatori di un dispositivo a sovrappressione che nel caso di guasto dell'elemento lo pone fuori servizio, non deve essere tenuta in considerazione come sostitutiva di fusibili o interruttori esterni che sono sempre necessari e devono essere previsti con adeguata selettività.

## CONDIZIONI LIMITE

L'influenza di ogni fattore riportato di seguito non deve essere considerata singolarmente, ma in combinazione con quella degli altri fattori.

### Tensione

La tensione nominale di un condensatore e di un'apparecchiatura di rifasamento è la tensione per la quale il prodotto è stato progettato ed alla quale sono riferite le tensioni di prova. L'impiego di condensatori e apparecchiature di rifasamento in condizioni di sicurezza impone che la tensione di esercizio non superi quella nominale. In condizioni particolari, non previste durante la fase di installazione, sono ammesse sovratensioni nei limiti indicati dalla tabella sottostante.

Tensione Voltage	Fattore di sovratensione (volte $U_N$ efficace) Overvoltage factor (times $U_{RMS}$ )	Massima durata Max. duration	Osservazioni Observations
Senza armoniche Without harmonics	1,00	Continua Continuous	Valore medio più alto durante ciascun periodo di energizzazione. Per periodi di energizzazione minori di 24h si applicano eccezioni Highest average value during any period of capacitor energization. For energization period less than 24h, exceptions apply as indicated below
Senza armoniche Without harmonics	1,10	8h ogni 24h 8h every 24h	Regolazione della tensione del sistema e fluttuazioni System voltage regulation and fluctuation
Senza armoniche Without harmonics	1,15	30 min. ogni 24h 30 min. every 24h	Regolazione della tensione del sistema e fluttuazioni System voltage regulation and fluctuation
Senza armoniche Without harmonics	1,20	5 min.	Aumento di tensione dovuto a bassi carichi Voltage rise at light load
Senza armoniche Without harmonics	1,30	1 min.	

## RECOMMENDATIONS FOR INSTALLATION

### Fixing and connection

To fix the power factor correction equipments it is advised to use these types of screws:

- Riphaso series with M10 screw
- MICRomatic and MICROfix series wall-mounted with FISHER 8
- MINImatic wall-mounted and floor-mounted with M8 screw
- MULTImatic and MULTImatic HLP floor-mounted with M12 screw

The installation of the power factor correction equipment is for indoor application; for different use call ICAR technical department.

### Protection devices

Operating devices (load-break switch) or operation and protection (circuit-breakers if the cables are longer than 3m) must be dimensioned to withstand capacitive currents (about 1.3 times nominal current), the inrush currents, the number of operations and they must be re-strike free.

The capacitors are made of polypropylene that is a flammable material. Even if a fire doesn't begin from the capacitors or inside the panel, they could however spread it creating dangerous gasses. If a danger exists from the presence of an explosive or flammable atmosphere, the IEC standard; "Electric equipment with explosion and fire danger", shall be strictly followed.

### Danger for people

When we install power factor correction equipment we must pay attention that the parts which could be exposed to voltage are correctly protected from accidental contacts in accordance with IEC standards. Before the commissioning verify if the tightening of the terminal and of all the bolts is correct.

## PROTECTIONS

### Fuses

All the capacitors have an overpressure device which when operated, as in the case of breakdown, disconnects the element from use. This device is not a substitution for the fuses or external circuit-breakers that are specified in our power factor correction equipment.

## LIMIT CONDITIONS

The influence of each factor below has not to be considered individually, but in combination and with the influence of other factors.

### Voltage

Nominal voltage of a capacitor and of power factor correction equipment is the r.m.s. value of the alternating voltage for which the capacitor has been designed.

Capacitor units shall be suitable for operation at voltage levels according to table below

In ogni caso il funzionamento dei condensatori e delle apparecchiature di rifasamento in condizioni di sovraccarico ne provoca una riduzione della durata di vita. La scelta della tensione nominale è influenzata dalle seguenti considerazioni:

- In alcune reti la tensione di esercizio può essere notevolmente differente da quella nominale;
- Apparecchiature di rifasamento collegate in derivazione potrebbero causare un innalzamento della tensione nel punto di allacciamento;
- Tensione aumentata a causa della presenza di armoniche in rete e/o di  $\cos\phi$  in anticipo;
- La tensione ai capi del condensatore si innalza a seguito della presenza in serie ai condensatori di induttori per il controllo delle armoniche;
- Nel caso in cui un'apparecchiatura di rifasamento è collegata permanentemente ad un motore al distacco di quest'ultimo dalla rete si ha un fenomeno causato dall'inerzia che porta il motore a funzionare come generatore autoeccitato con conseguente innalzamento del livello di tensione ai capi dell'apparecchiatura stessa;
- La tensione residua dovuta all'autoeccitazione dopo che la macchina è stata scollegata dalla rete è pericolosa per i generatori;
- Se l'apparecchiatura di rifasamento è collegata ad un motore con dispositivo di avviamento stella-triangolo bisogna fare in modo che non si abbia sovratensione quando tale dispositivo è in funzione;
- Tutte le apparecchiature di rifasamento esposte a sovratensioni dovute a scariche atmosferiche devono essere protette in maniera adeguata. Se vengono impiegati degli scaricatori per sovratensioni devono essere posti il più vicino possibile alle apparecchiature.

### Temperatura di esercizio

La temperatura di esercizio delle apparecchiature di rifasamento è un parametro fondamentale per il loro funzionamento in condizioni di sicurezza. Di conseguenza è molto importante che vi sia un adeguato smaltimento, per convezione e irraggiamento, del calore prodotto dalle perdite nei condensatori e che la ventilazione sia tale da non permettere il superamento dei limiti di temperatura ambiente attorno al condensatore medesimo. La temperatura più alta di esercizio si ha in regime stazionario tra due condensatori e si misura a 2/3 dell'altezza della sua base e ad una distanza di 0,1m verso l'esterno. In base alla categoria di appartenenza la temperatura dei condensatori non deve mai eccedere i limiti di temperatura elencati nella tabella sottostante.

Simbolo Symbol	Temperatura ambiente (°C) / Ambient temperatures (°C)		
	Massima Maximum	Massimo valore medio per ogni periodo di: Highest mean over any period of:	
		24h	1 anno 1 year
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

### Sollecitazioni meccaniche

L'utilizzatore deve evitare di sottoporre l'apparecchiatura a sollecitazioni meccaniche eccessive. L'utilizzatore deve porre attenzione nel dimensionamento elettrico e geometrico dei collegamenti al fine di evitare sollecitazioni meccaniche dovute ad eventuali sbalzi di temperatura.

### ALTRE CONDIZIONI PER LA SICUREZZA DI ESERCIZIO

#### Dispositivo di scarica

Ogni condensatore deve essere equipaggiato con un dispositivo di scarica che lo scarichi in circa 3 minuti. Il tempo di scarica è calcolato dal picco iniziale di tensione pari a  $\sqrt{2} V_N$  fino a 75V. Nessun interruttore, fusibile o altro dispositivo di sezionamento deve essere interposto tra il condensatore e il dispositivo di scarica. Questo non pregiudica il fatto di porre i terminali del condensatore in cortocircuito fra loro e la terra tutte le volte che si vuole maneggiare il condensatore.

*The life expectancy of capacitors and power factor correction equipment is greatly reduced when operating in overload conditions. The choice of the nominal voltage is determined by the following considerations:*

- *On some networks working voltage could be very different from nominal voltage*
- *Power factor correction equipment in parallel could cause an increase of the voltage at the connection point*
- *The voltage increases with the presence of harmonics on the network and/or  $\cos\phi$  of in advance*
- *The voltage at the capacitor terminals increases when capacitors are in series with reactors for harmonic blocking.*
- *If the power factor correction equipment is connected to a motor and not sized correctly, when we disconnect it from the network we may have a phenomena caused by the inertia that makes the motor to work as a self-excited generator consequently increasing of the voltage level at the terminals of the equipment*
- *The remaining voltage caused by the self-excited after that the equipment has been disconnected from the network is dangerous for the generators*
- *If the power factor correction equipment is connected to a motor with a star-delta starting device we have to pay attention to not cause the overvoltage when this device is working*
- *All the power factor correction equipments exposed to overvoltage caused by atmospheric lightning must be protected in correct way. If surge arrestors are use they have to be placed as near as possible to the equipment.*

### Working temperature

*Working temperature of power factor correction equipment is a fundamental parameter for safe operation. As a consequence it is very important that heat generated is dissipated correctly and that the ventilation is such that the heat losses in the capacitors do not exceed the ambient temperature limits. The highest workings temperature in normal service conditions between two capacitors; is measured at a point 2/3 of the capacitors height and at a distance of 0.1m from them. The capacitor temperature must not exceed the temperature limits hereinafter tabled.*

### Mechanical Limits

*The user has not to expose the equipment to exaggerated mechanical limits of operation. The user has to pay attention to the electrical and geometrical dimensioning of the connections to avoid exceeding the mechanical limits which may be reached by temperature variation.*

### OTHER CONSIDERATIONS FOR THE WORKING SAFETY

#### Discharge device

*Every capacitor must have a discharge device that can discharge it within 3 minutes. The discharge time is calculated from the starting peak of voltage equal to  $\sqrt{2} V_N$  until 75V. Between the capacitor and the discharge system there shall not be a circuit-breaker, fuses or other sectioning devices. This doesn't relief to short-circuit the capacitor terminals and earth every time it is required to handle the capacitor.*

### Tensione residua

Quando il condensatore viene posto sotto tensione la sua tensione residua non deve superare il 10% della tensione nominale. Questa condizione viene generalmente soddisfatta nelle apparecchiature di rifasamento tarando, sul regolatore di potenza reattiva, il tempo di riconnesione delle batterie a 30 secondi oppure aggiungendo un ulteriore dispositivo di scarica.

### Collegamento della custodia

Per mantenere il potenziale della custodia, se metallica, ad un valore fisso e per condurre le eventuali correnti di guasto in caso di scarica verso la custodia, queste vengono poste a terra collegando a terra la struttura metallica sulla quale sono vincolati i condensatori.

### Altitudine

Le apparecchiature di rifasamento non devono essere utilizzate ad altitudini superiori ai 2000m. In caso di impiego ad altitudini superiori contattare il servizio tecnico ICAR.

### Condizioni ambientali speciali

Le apparecchiature di rifasamento non sono adatte per applicazioni in ambienti dove si hanno le seguenti condizioni:

- Rapida produzione di muffa
- Atmosfera corrosiva e salina
- Presenza di materiali esplosivi o altamente infiammabili
- Vibrazioni

Per ambienti dove si verificano le seguenti condizioni: alta umidità relativa, alta concentrazione di polveri e inquinamento atmosferico, contattare il servizio tecnico ICAR.

### MANUTENZIONE

Dopo aver scollegato la batteria, prima di accedere ai morsetti dei condensatori si deve attendere 5 minuti e quindi porre in cortocircuito i terminali tra loro e terra.

Periodicamente eseguire le seguenti operazioni:

Una volta al mese:

- Pulizia a mezzo getto d'aria della parti interne delle apparecchiature di rifasamento e del filtro dell'aria ove sia previsto un sistema di ventilazione;
- Controllo visivo;
- Controllo della temperatura ambiente.

Una volta ogni 6 mesi:

- Controllo dello stato delle superfici: verniciatura od altri trattamenti;
- Verifica del corretto serraggio delle viti (operazione che deve essere eseguita sempre prima della messa in servizio)

In caso di ambienti con particolari condizioni di servizio deve essere stabilito un programma di manutenzione particolare (esempio: in caso di ambiente inquinato polveroso può rendersi necessaria una pulizia più frequente).

### MAGAZZINAGGIO E MOVIMENTAZIONE

Lo spostamento delle apparecchiature di rifasamento deve essere effettuato con cura evitando sollecitazioni meccaniche. Il deposito dei condensatori in attesa di installazione deve essere fatto lasciandoli nel loro imballo e in un luogo coperto e asciutto.

### Residual voltage

*The residual voltage of a capacitor in service must not exceed 10% of the nominal voltage. This condition is generally satisfied in power factor correction equipment by setting reconnection time of the bank at 30 seconds on the reactive power regulator or adding a further discharging system.*

### Case connection

*To keep capacitors case at fix voltage and to discharge fault current toward the case itself, they are grounded by connecting to earth the capacitors supporting frame.*

### Altitude

*Power factor correction equipment must not be used above an altitude of 2000m. On the contrary please contact technical assistance of ICAR S.p.A.*

### Particular ambient conditions

*Power factor correction equipment are not suitable for the applications in places where there are conditions as follows:*

- Fast generation of mould
- Caustic and saline atmosphere
- Presence of explosive materials or very flammable
- Vibrations

*For environments with these characteristics: high relative humidity, high concentration of dust and atmospheric pollution, please contact technical assistance of ICAR S.p.A.*

### MAINTENANCE

*After the disconnection of the bank, prior to accessing the terminals of the capacitors wait 5 minutes and then short-circuit the terminals and earth. Make these procedures:*

*Once a month*

- Cleanliness by blast of air of the internal part of the power factor correction equipment and of the air filter anytime there is a cooling system
- Visual control
- Control of the ambient temperature

*Once every 6 months*

- Control of the surfaces condition: painting or other treatments
- Control of the correct tightening of the screw (this operation must be done before the commissioning)

*If there are concerns about any environmental conditions an appropriate maintenance program must be established (for example: In a dusty environment could be necessary to clean using blasts of air more frequently).*

### STORAGE AND HANDLING

*Handling of the power factor correction equipment must be done with care avoiding mechanical stresses. Capacitors not installed must be stored with their packages in a dry and protected place.*

## ASSISTENZA TECNICA E CONTRATTI DI MANUTENZIONE PREVENTIVA PROGRAMMATA

L'esperienza pluridecennale di ICAR nella realizzazione e nell'applicazione di condensatori e sistemi di rifasamento ha un sicuro punto di forza nella competenza tecnica acquisita.

I nostri tecnici sono in grado di effettuare campagne di misura e analisi armoniche negli impianti più difficili, in Italia e all'estero, per proporre la soluzione tecnico/economica più adatta alle necessità contingenti.

In particolare, l'analisi degli impianti con forti contenuti di correnti armoniche permette di valutare attentamente la tipologia di rifasamento più adatta non solo in termini di tecnologia costruttiva dei condensatori da utilizzare (polipropilene standard, polipropilene con metallizzazione ad alto gradiente, carta bimetallizzata) ma anche e soprattutto in termini di tipologia di filtro da utilizzare (sbarramento, assorbimento e relativa frequenza di accordo).

Questo a maggior garanzia di ottenimento dei risultati impiantistici ed economici che si vogliono dal rifasamento, senza penalizzare la durata di vita delle apparecchiature di rifasamento e dell'intero impianto: un sistema di rifasamento mal progettato o mal utilizzato, infatti, può causare l'amplificazione delle armoniche di rete con riduzione della vita utile dei condensatori ed altre problematiche all'impianto (disturbi, maggiori perdite, sovraccarico nei cavi e/o nei trasformatori).

Le campagne di misura ed analisi degli impianti sono sempre seguite da relazioni tecniche chiare ed approfondite e da proposte commerciali.

ICAR propone contratti di manutenzione preventiva programmata, particolarmente indicati per impianti dove il rifasamento svolge un ruolo delicato e/o dove subisce sollecitazioni gravose (termicamente, meccanicamente, elettricamente).

Icar propone inoltre contratti di manutenzione personalizzati sulle necessità dell'impianto/cliente.

## TECHNICAL ASSISTANCE AND CONTRACTS OF PLANNED PREVENTIVE MAINTENANCE

*ICAR boasts of a pluridecennial experience in the realization and application of capacitors and power factor correction systems; its greater strength point is therefore the acquired technical competence.*

*Our technical personnel is able to execute measurement campaign and economical analysis for the most problematic plants in Italy and abroad in order to propose suitable technical/economical solutions for the real needs.*

*In particular, the analysis of plant with strong harmonic currents enables carefully evaluating the most suitable type of power correction factor not only in terms of constructive technology of capacitors to be used (standard polypropylene, high density metal capacitors, bi-metallic paper) but also and, above all, in terms of type of filter to be utilized (detuned, absorption and related resonance frequency).*

*All this to guarantee the achievement of plant and economical results expected from the power factor correction without penalizing the life length of the power factor correction equipments and the entire plant.*

*A power factor correction system not well planned or used, in fact, might cause a network harmonics amplification that brings to a decrease capacitors working life and other plant problems (disturbances, greater losses, transformers and/or cables overload).*

*The measurement and analysis campaigns are always followed by clear and detailed technical reports.*

*ICAR proposes preventive maintenance contracts, particularly suitable for plants where the power factor correction has an important role and/or it's submitted to heavy thermal, mechanical or electrical stress.*

*The maintenance based on the acquired experience and the knowledge about the characteristics of one's own equipments, are proposed maintenance contracts which are standard or custom-made accordingly to the plant needs.*