

# INFORMAZIONI TECNICHE

## TECHNICAL INFORMATION



### INTRODUZIONE

Il corretto dimensionamento degli impianti elettrici e delle apparecchiature utilizzatrici consente una riduzione degli sprechi ma soprattutto una razionale utilizzazione dell'energia elettrica, con conseguente ottimizzazione dei costi ad essa correlati.

Una prerogativa fondamentale per minimizzare la spesa relativa all'acquisto dell'energia è la riduzione delle perdite a partire dalla generazione fino alla distribuzione ed utilizzazione.

Il rifasamento è una delle azioni che consentono di ottenere un consistente risparmio energetico in quanto:

- limita le perdite di energia per effetto Joule lungo le condutture
- limita le cadute di tensione lungo le condutture
- riduce i costi di realizzazione impiantistica presso le utenze consentendo di utilizzare conduttori di sezione inferiore.
- evita all'utente di incorrere nelle penali previste dai contratti di fornitura dell'energia elettrica

Questa memoria si prefigge quindi lo scopo di offrire una panoramica generale sugli impianti di rifasamento, specificando alcuni punti di interesse; tuttavia si consiglia di contattare l'Ufficio Tecnico Enerlux, non solo in caso di dubbi, ma anche a titolo di verifica in relazione alle scelte effettuate sui vari componenti e sul loro dimensionamento.

### FATTORE DI POTENZA

Per comprendere i motivi dell'utilità e della necessità del rifasamento verranno di seguito illustrati alcuni esempi.

Molte apparecchiature elettriche, specialmente in campo industriale, come ad esempio motori, trasformatori, reattori o convertitori di potenza richiedono per il loro funzionamento oltre ad una potenza denominata "potenza attiva" (P) capace di tradursi in lavoro di natura meccanica, termica, luminosa ecc, una potenza nota come "potenza reattiva" (Q), necessaria ad eccitare i circuiti magnetici.

In altri termini si può affermare che non tutta l'energia viene utilizzata per compiere lavoro, ma solamente quella parte relativa alla potenza attiva.

Il dimensionamento degli impianti elettrici deve tuttavia essere effettuato considerando una potenza denominata "potenza apparente" (S), data dal prodotto della tensione per la corrente. Per chiarire le idee è possibile considerare la corrente totale alla quale è associata la potenza apparente come somma vettoriale di una componente resistiva IR (componente in fase con la tensione dovuta alla parte resistiva del carico) alla quale è associata la potenza attiva P e della corrente induttiva IL (componente in quadratura dovuta alla parte induttiva del carico) alla quale è associata la potenza reattiva Q.

Nella potenza apparente S viene quindi tenuto conto sia dalla potenza attiva P che della potenza reattiva Q. La figura A rappresenta la relazione tra potenza attiva, reattiva ed apparente mediante il cosiddetto "triangolo delle potenze". Il rapporto fra la potenza attiva P e la potenza apparente S è detto fattore di potenza ed è abitualmente indicato come " $\cos\phi$ ".



### INTRODUCTION

*Correct design of electrical installations and service equipments permits reducing waste, but above all a rational use of the electrical energy with ensuing optimization of the correlated costs.*

*A fundamental characteristic of minimizing expenses related to the purchase of energy is to reduce losses, starting from generation and on to distribution and use. Power-factor correction is one of the actions that make it possible to accomplish substantial energy savings as it:*

- limits energy losses due to the Joule effect along the cables
- limits drops in voltage along the cables
- reduces plant engineering costs for users, making it possible to utilize conductors with a smaller cross-section
- prevents users from incurring the penalties contained in electrical energy supply contracts.

*This memo therefore sets out to provide an overview of power-factor correction installations, specifying some points of interest; however, it is recommended to contact the Enerlux Engineering Department, not only in case of doubt, but also to check the choices made for the various components and their design.*

### POWER FACTOR

*To comprehend the reasons for the usefulness and need for power factor correction, some examples will be illustrated here.*

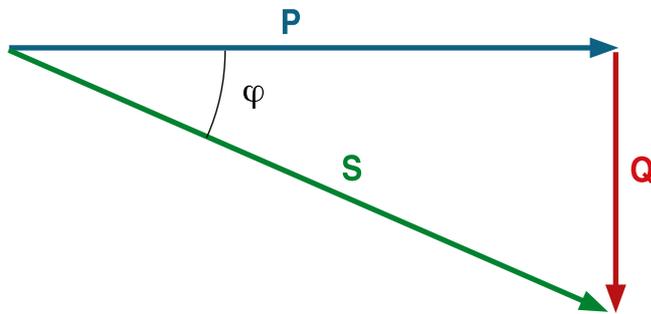
*Much electrical equipment (especially in the industrial field, such as for example motors, transformers, reactors or power converters), in addition to power known as "active power" (P) capable of translating into work of a mechanical nature, heat, light, etc., needs power known as "reactive power" (Q) needed to energize magnetic circuits.*

*In other words, we can affirm that not all the energy is used to do work, but only the portion relating to active power.*

*Electric installations must however be designed by taking into consideration power known as "apparent power" (S), given by the product of voltage and current. To clarify matters, it is possible to consider the total current to which the apparent power is associated as the vectorial sum of a resistive component IR (component in phase with the voltage due to the resistive portion of the load), to which the active power P is associated, and the inductive current IL (wattless component due to the inductive portion of the load), to which the reactive power Q is associated.*

*The apparent power S therefore takes account of both the active power P and the reactive power Q. Figure A shows the relationship between active, reactive and apparent power by means of the so-called "power triangle."*

*The relationship between the active power P and the apparent power S is called the power factor and is usually indicated as " $\cos\phi$ ".*



$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$P = U * I * \cos \varphi = S * \cos \varphi$$

$$Q = U * I * \sin \varphi = S * \sin \varphi$$

FIG. A

A parità di potenza attiva un carico a basso fattore di potenza causa una maggiore richiesta di potenza apparente alla rete rispetto ad un carico con fattore di potenza più elevato con conseguente aumento delle cadute di tensione e di conseguenza delle perdite.

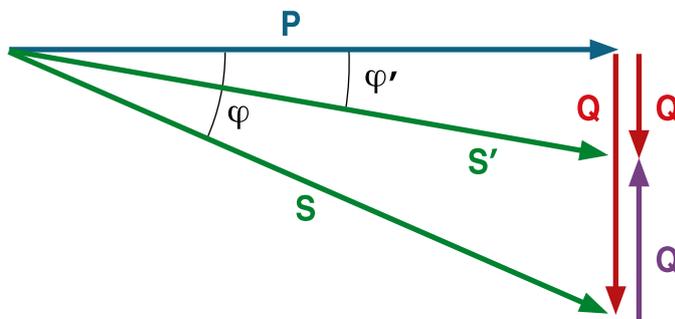
Per contenere i costi relativi ad un dimensionamento degli impianti di distribuzione effettuato in funzione di utenze a basso fattore di potenza, gli enti erogatori dell'energia prevedono penali con lo scopo di scoraggiare l'assorbimento dalla rete di una quantità eccessiva di potenza reattiva, che quindi deve essere fornita al carico per mezzo di sistemi installati presso l'utilizzatore.

Tali sistemi sono nella quasi totalità dei casi costituiti da condensatori statici di rifasamento che, assorbendo una corrente capacitiva  $I_C$  sfasata di  $90^\circ$  in anticipo sulla tensione di fase compensano parte della corrente induttiva  $I_L$  assorbita dalle componenti induttive dei carichi. In questo modo la potenza reattiva assorbita dall'utilizzatore non è più totalmente prelevata dalla rete, ma fornita in una certa misura dal condensatore. In figura B viene mostrato un triangolo delle potenze in assenza ed in presenza di rifasamento. Si noti come l'introduzione del condensatore che fornisce la potenza reattiva  $Q_C$  causi la diminuzione dell'angolo  $\varphi$  e di conseguenza l'innalzamento del fattore di potenza.

Active power being equal, a load with a low power factor causes a greater call for apparent power from the network compared to a load with a higher power factor with an ensuing increase in voltage drops and, as a result, losses.

To limit costs related to distribution installation design made depending on services with a low power factor, the electricity distribution companies have penalties with the aim of discouraging users from drawing too much reactive power from the mains, which therefore must be supplied to the load via systems installed on the user's premises.

These systems are in virtually every case composed of static power-factor correction capacitors that, drawing a capacitive current  $I_C$  staggered  $90^\circ$  in advance on the phase voltage compensate part of the inductive current  $I_L$  absorbed by the inductive components of the loads. In this way the reactive power absorbed by the user is no longer totally tapped from the mains, but to a certain extent supplied by the capacitor. Figure B shows a power triangle with and without power-factor correction. Notice how adding the capacitor that provides the reactive power  $Q_C$  causes a decrease in the angle  $\varphi$  and, as a result, an increase in the power factor.



$$Q = P * \tan \varphi$$

$$Q' = P * \tan \varphi'$$

$$Q_C = P * (\tan \varphi - \tan \varphi')$$

FIG. B

## TIPOLOGIE DI RIFASAMENTO

Il rifasamento può essere realizzato in diverse modalità a seconda delle varie applicazioni e necessità; le tipologie di rifasamento si possono distinguere in:

- Rifasamento distribuito
- Rifasamento centralizzato
- Rifasamento misto
- Rifasamento per gruppi

Illustreremo qui di seguito le due principali tipologie di rifasamento.

### RIFASAMENTO DISTRIBUITO

E' particolarmente adatto ad utenze con carico costante come trasformatori e grossi motori (pompe, ventilatori, mulini ecc.); viene solitamente realizzato nelle vicinanze del carico da rifasare, collegando uno o più condensatori in parallelo.

Nel paragrafo CALCOLO DELLA POTENZA RIFASANTE viene fornito uno strumento di dimensionamento per il condensatore da utilizzare per il rifasamento di motori e trasformatori.

I vantaggi sostanziali di questo metodo sono:

- economici relativamente all'installazione dell'impianto, in quanto sia il carico, sia la batteria di rifasamento lavorano contemporaneamente; è quindi possibile evitare l'installazione di ulteriori apparecchi di manovra e di sistemi di protezione rispetto a quelli previsti originariamente dal carico (previo corretto dimensionamento);
- economici relativamente all'esercizio, in quanto si ottiene diminuzione delle cadute di tensione in tutti i conduttori percorsi dalla corrente del carico e di conseguenza una riduzione delle perdite.

Quando il condensatore di rifasamento è connesso permanentemente ai morsetti di un motore, la sua potenza nominale non deve essere superiore al 90% del valore della potenza reattiva assorbita dal motore stesso.

## TYPES OF POWER FACTOR CORRECTION

Power factor correction can be accomplished in different ways depending on the various applications and needs. The types of power factor correction can be differentiated into:

- Individual power factor correction
- Centralized power factor correction
- Mixed power factor correction
- Power factor correction per groups

Here we illustrate the two main types of power factor correction.

### INDIVIDUAL POWER FACTOR CORRECTION

This is particularly suited for services with a constant load such as transformers and large motors (pumps, fans, mills etc.). It is usually made in the vicinity of the load of which to correct the power factor, connecting one or more capacitors in parallel.

In the paragraph entitled POWER FACTOR CALCULATION, a tool is given for sizing the capacitor to use for the power factor correction of motors and transformers. The fundamental benefits of this method are:

- economic as regards installation of the system, since both the load and the power-factor correction battery work simultaneously. It is therefore possible to avoid installing more control gear and protection systems than the ones originally envisaged for the load (after correct rating);
- economic as regards operation, since there is a decrease in voltage drops on all the conductors carrying the current of the load and, as a result, a reduction in losses.

When the power-factor correction capacitor is permanently connected to the terminals of a motor, its rated power must be no greater than 90% of the reactive power absorbed by the motor.

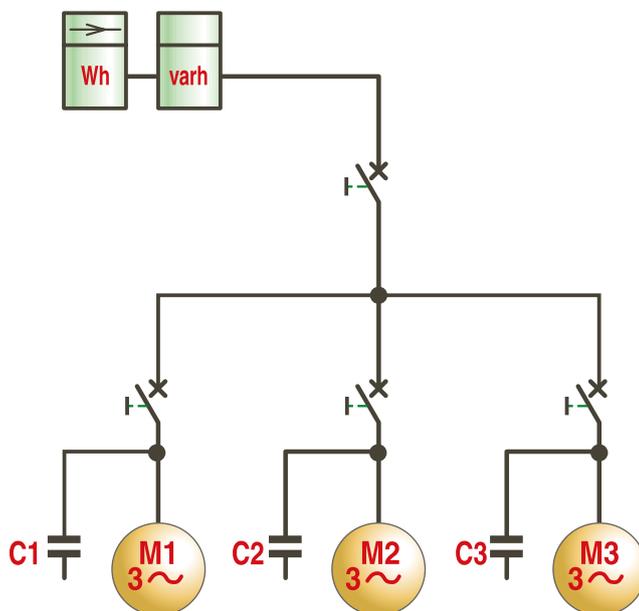


FIG. C

**RIFASAMENTO CENTRALIZZATO**

Particolarmente adatto in impianti caratterizzati da varie utenze con tempi di utilizzo discontinui; viene solitamente attuato nelle vicinanze della cabina di trasformazione o in vicinanza del quadro generale dell'impianto.

Tale sistema, che viene realizzato mediante l'installazione di più batterie di condensatori inserite o disinserite per mezzo di appositi regolatori automatici del fattore di potenza, risulta particolarmente flessibile in quanto consente di adattarsi continuamente ed autonomamente ad un carico che varia nel tempo. Questa scelta risulta quindi economicamente vantaggiosa specialmente in grandi complessi industriali dove il rifasamento distribuito, a causa delle numerose utenze, risulterebbe non conveniente.

**CENTRALIZED POWER FACTOR CORRECTION**

Particularly suitable for installations with various services having discontinuous utilization times. It is usually implemented close to the transforming cell close to the main switchgear of the installation.

This system made by installing several capacitor batteries that switch-in and -out through automatic power factor regulators, is specially flexible since it permits continuous and independent adjusting to a load that changes over time.

This choice is therefore economically advantageous, especially in large industrial complexes where the individual power factor correction, due to many users, would not be cost effective.

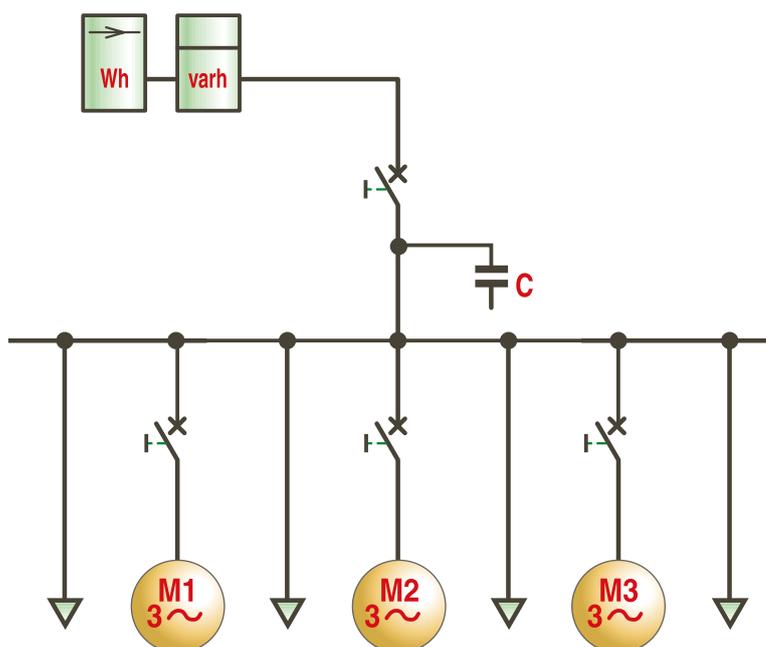


FIG. D

**CALCOLO DELLA POTENZA RIFASANTE**

**CALCOLO POTENZA RIFASANTE PER RIFASAMENTO CENTRALIZZATO**

Per le considerazioni esposte nei paragrafi precedenti, noto il  $\cos\varphi$  iniziale dell'impianto e scelto il  $\cos\varphi'$  finale, la potenza reattiva rifasante risulta essere:

$$Q_c = P * (\tan\varphi - \tan\varphi')$$

dove P è il valore medio mensile della potenza attiva assorbita dall'impianto data da:

$$P = \frac{E_p}{h * g} [kW]$$

Dove:  
Ep è il valore di energia attiva prelevata dalla rete  
h sono le ore di lavoro nell'arco di una giornata  
g sono i giorni di lavoro

**POWER FACTOR CALCULATION**

**POWER FACTOR CALCULATION FOR CENTRALIZED POWER FACTOR CORRECTION**

Considering the remarks made in the above paragraphs, knowing the installation's initial  $\cos\varphi$  and choosing the final  $\cos\varphi'$ , the corrected reactive power is:

where P is the mean monthly value of the active power absorbed by the installation given by:

Where:  
Ep is the value of active energy drawn from the network  
h is the number of hours worked in a day  
g is the number of days worked

cos $\phi$	cos $\phi'$ da raggiungere / cos $\phi'$ to reach										
iniziale initial	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.45	1.500	1.529	1.559	1.589	1.622	1.656	1.693	1.734	1.781	1.842	1.985
0.46	1.446	1.475	1.504	1.535	1.567	1.602	1.639	1.680	1.727	1.788	1.930
0.47	1.394	1.422	1.452	1.483	1.515	1.549	1.586	1.627	1.675	1.736	1.878
0.48	1.343	1.372	1.402	1.432	1.465	1.499	1.536	1.577	1.625	1.685	1.828
0.49	1.295	1.323	1.353	1.384	1.416	1.450	1.487	1.528	1.576	1.637	1.779
0.5	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.590	1.732
0.51	1.202	1.231	1.261	1.291	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
0.52	1.158	1.187	1.217	1.247	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
0.53	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.458	1.600
0.54	1.074	1.103	1.133	1.163	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
0.55	1.034	1.063	1.092	1.123	1.156	1.190	1.227	1.268	1.315	1.376	1.518
0.56	0.995	1.024	1.053	1.084	1.116	1.151	1.188	1.229	1.276	1.337	1.479
0.57	0.957	0.986	1.015	1.046	1.079	1.113	1.150	1.191	1.238	1.299	1.441
0.58	0.920	0.949	0.979	1.009	1.042	1.076	1.113	1.154	1.201	1.262	1.405
0.59	0.884	0.913	0.942	0.973	1.006	1.040	1.077	1.118	1.165	1.226	1.368
0.6	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
0.61	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015	1.062	1.123	1.265
0.63	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
0.65	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
0.66	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
0.67	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
0.69	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
0.7	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020
0.71	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.74	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.77	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802
0.79	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
0.8	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750
0.81	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698
0.83	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672
0.84	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86	0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593
0.87	0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88	0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89	0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512
0.9	0.000	0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484
0.91		0.000	0.030	0.060	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
0.92			0.000	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.284	0.426
0.93				0.000	0.032	0.067	0.104	0.145	0.192	0.253	0.395
0.94					0.000	0.034	0.071	0.112	0.160	0.220	0.363
0.95						0.000	0.037	0.078	0.126	0.186	0.329
0.96							0.000	0.041	0.089	0.149	0.292
0.97								0.000	0.048	0.108	0.251
0.98									0.000	0.061	0.203
0.99										0.000	0.142
1											0.000

TAB. 1

La Tabella 1 fornisce i valori del coefficiente "K" mediante il quale è possibile ottenere la potenza reattiva QC nota la potenza attiva del carico, il cos $\phi$  dell'impianto in assenza di rifasamento e scelto il cos $\phi'$  che si desidera ottenere.

Table 1 gives the values of the coefficient "K" with which it is possible to obtain the reactive power QC, knowing the active power of the load and the installation's cos $\phi$  with no power factor correction and choosing the cos $\phi'$  you want to obtain.

**ESEMPIO 1 (considerando la delibera AEEG 180/2013/R/EEL):**

Determinazione della potenza capacitiva necessaria a rifasare a  $\cos\phi' 0,92$  un impianto che assorbe 132 kW, con  $\cos\phi$  in assenza di rifasamento pari a 0,6.

$$132 \times 1,005 = 132,66 \text{ kvar} = 135 \text{ kvar.}$$

La potenza apparente richiesta varierà quindi

$$S = \frac{132}{0.6} = 220 \text{ [kVA]}$$

**ESEMPIO 2 (considerando la delibera AEEG 180/2013/R/EEL):**

Determinazione della potenza capacitiva necessaria a rifasare a  $\cos\phi' 0,95$  un impianto che assorbe 630 kW, con  $\cos\phi$  in assenza di rifasamento pari a 0,72

$$630 \times 0,635 = 400,05 \text{ kvar} = 400 \text{ kvar.}$$

La potenza apparente richiesta varierà quindi

$$S = \frac{630}{0.72} = 875 \text{ [kVA]}$$

**EXAMPLE 1:**

Calculating the capacitive power needed for p.f. correction to  $\cos\phi' 0.92$  of an installation drawing 132 kW, with a  $\cos\phi$  of 0.6 with no power factor correction.

$$132 \times 1.005 = 132.66 \text{ kvar} = 135 \text{ kvar.}$$

The apparent power required will then vary

$$S' = \frac{132}{0.95} = 139 \text{ [kVA]}$$

**EXAMPLE 2:**

Calculating the capacitive power necessary for p.f. correction to  $\cos\phi' 0.95$  of an installation drawing 630 kW, with a  $\cos\phi$  of 0.72 with no power factor correction.

$$630 \times 0.635 = 400.05 \text{ kvar} = 400 \text{ kvar.}$$

The apparent power required will then vary

$$S = \frac{630}{0.95} = 663 \text{ [kVA]}$$

**CALCOLO POTENZA RIFASANTE PER MOTORI ASINCRONI TRIFASE**

Come anticipato nel paragrafo relativo al "RIFASAMENTO DISTRIBUITO", quando il condensatore di rifasamento è connesso permanentemente ai morsetti del motore, la sua potenza nominale non deve essere superiore al 90% del valore della potenza reattiva assorbita dal motore stesso. Si ha quindi che:

$$Q_C \leq 0.9 * U_n * I_o * \sqrt{3}$$

Nella quale con  $U_n$  si indica la tensione nominale di alimentazione, e con  $I_o$  la corrente a vuoto del motore, che, con buona approssimazione, corrisponde alla componente della corrente relativa alla potenza reattiva assorbita dal motore stesso (componente in quadratura o corrente magnetizzante).

Nella tabella 2 vengono indicati i valori di potenza reattiva consigliati per il rifasamento di motori asincroni trifase funzionanti a pieno carico.

**POWER FACTOR CALCULATION FOR THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTORS**

As mentioned under the heading "INDIVIDUAL POWER FACTOR CORRECTION", when the power-factor correction capacitor is permanently connected to the terminals of a motor, its rated power must be no greater than 90% of the reactive power absorbed by the motor. We therefore have:

Where  $U_n$  is the rated power supply voltage and  $I_o$  the no load current of the motor that, to a good degree of approximation, corresponds to the component of the current relating to the reactive power absorbed by the motor (wattless component or magnetizing current).

Table 2 gives the recommended reactive power values for power factor correction of three-phase asynchronous motors running on full load.

POTENZA MOTORE MOTOR POWER		Kvar				
		3000 GIRI/MIN R.P.M.	1500 GIRI/MIN R.P.M.	1000 GIRI/MIN R.P.M.	750 GIRI/MIN R.P.M.	500 GIRI/MIN R.P.M.
HP	kW					
3/4	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	15	20	20	25	25
100	73	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

TAB. 2

Tabella per la scelta della Potenza dei Condensatori (in kvar) necessaria per rifasamento su Motori Asincroni trifase funzionanti a pieno carico  
Table for choosing the Power of Capacitors (in kvar) needed for power factor correction on three-phase Asynchronous Motors running on full load

### CALCOLO POTENZA RIFASANTE PER TRASFORMATORI

Per quanto concerne i trasformatori, nei casi in cui gli stessi possano funzionare a vuoto (cicli discontinui), esiste la necessità di rifasare la potenza assorbita a vuoto o con carico limitato inserendo in parallelo al trasformatore una batteria di condensatori; i condensatori hanno lo scopo di compensare la corrente magnetizzante del trasformatore che serve a generare il campo magnetico necessario per il suo funzionamento.

Nella tabella 3 vengono indicati i valori di potenza reattiva consigliati per il rifasamento di trasformatori MT/BT in funzione della tensione primaria.

### POWER FACTOR CALCULATION FOR TRANSFORMERS

*As regards transformers, in cases where they can work with no load (discontinuous cycles), there is the need to correct the power factor with no load or a limited load by putting a capacitor bank in parallel with the transformer; the purpose of the capacitors is to compensate the magnetizing current of the transformer used to generate the magnetic field needed for its operation.*

*Table 3 gives the recommended reactive power values to power factor correct MV/LV transformers according to the primary voltage.*

EFFETTI DELLE ARMONICHE POWER TRANSFORMER KVA	TRASFORMATORI IN OLIO OIL TRANSFORMER Kvar	TRASFORMATORI IN RESINA RESIN TRANSFORMER 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

TAB. 3

Tabella per la scelta della Potenza dei Condensatori (in kvar) per rifasamento di Trasformatori MT/BT in funzione della tensione primaria  
Table for choosing the Power Values of the Capacitors (in kvar) for power factor correction of the MV/LV transformers according to the primary voltage.

### EFFETTI DELLE ARMONICHE

Gli impianti elettrici sono frequentemente interessati in modo più o meno rilevante da disturbi provenienti dalle reti di distribuzione e dai carichi non lineari da essi stessi alimentati, che possono facilmente causare malfunzionamenti e guasti.

Tra i disturbi più diffusi spiccano la deformazione delle forme d'onda di corrente e di tensione ovvero la presenza di componenti a frequenza multiple della fondamentale.

L'origine delle distorsioni della corrente può dipendere da:

- carichi non lineari (raddrizzatori a semiconduttori largamente diffusi in carica batterie, raddrizzatori per elettrolisi galvanotecnica, azionamenti)
- forni ad arco
- grossi impianti di saldatura elettrica.

L'origine delle distorsioni della tensione può invece essere legata a:

- fenomeni di saturazione (trasformatori)
- deformazione dell'onda di tensione dei generatori.

Le conseguenze più evidenti e più dannose delle deformazioni della tensione e della corrente sono l'aumento delle perdite ed il pericolo di insorgenza di fenomeni di risonanza nelle macchine e nelle apparecchiature elettriche.

Per quanto riguarda i condensatori, le armoniche di corrente e di tensione provocano un aumento delle perdite, che possono portare all'intervento del dispositivo di protezione.

I trasformatori e i cavi possono subire danneggiamenti a causa di un eccessivo riscaldamento dei conduttori per effetto Joule e per l'incremento delle perdite addizionali nei circuiti magnetici causato dalle componenti a frequenze maggiori.

### EFFECTS OF HARMONICS

*Electrical installations are frequently affected to a greater or lesser degree by interference from distribution networks and from the non-linear loads they supply, which can easily cause malfunctioning and faults.*

*Some of the most common problems comprise deformation of the current and voltage wave shapes, i.e. the presence of multiple frequency components of the pure wave.*

*The origin of the current distortions may depend on:*

- non-linear loads (semiconductor rectifiers commonly used in battery chargers, galvanotechnical electrolysis rectifiers, operating mechanisms)
- arc furnaces
- large electric welding installations.

*The origin of the voltage distortions may on the other hand be connected to:*

- phenomena of saturation (transformers)
- deformation of the voltage wave of generators.

*The most obvious and damaging consequences of the voltage and current deformation are an increase in losses and the risk of phenomena of resonance occurring in electrical equipment and machines.*

*As regards the capacitors, the current and voltage harmonics cause an increase in losses that can lead to the safety device tripping.*

*The transformers and cables may suffer damage due to the conductors overheating because of the Joule effect and the increase in additional losses in the magnetic circuits caused by the components at higher frequencies.*

La tensione di rete distorta dalle correnti non sinusoidali assorbite dai carichi inquinanti può, a sua volta, dare origine ad armoniche di corrente in componenti di per sé lineari, come condensatori e resistori ed in macchine elettriche, quali trasformatori e motori nei quali si inducono perdite e vibrazioni meccaniche.

Secondo Fourier, ogni fenomeno periodico non sinusoidale è ottenibile come somma di più componenti sinusoidali, ognuna di ampiezza opportuna e con frequenza multipla intera dell'onda fondamentale, caratterizzata da una frequenza pari a quella dell'onda periodica distorta di partenza.

La presenza di armoniche in una rete nella quale sono installati condensatori provoca su questo tipo di componente un sovraccarico di corrente dato dalla seguente equazione:

$$I_{(rms)} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{h=2}^n I_h^2}$$

dove

$I_1$  = Corrente alla frequenza dell'onda fondamentale

$S$  = Somma di tutte le correnti armoniche a partire dalla 2a fino all' n-esima.

In figura E si mostra una corrente di forma quadra tipica di un carico non lineare, della quale si fornisce anche la scomposizione per mezzo della serie di Fourier limitata al settimo ordine.

The mains voltage distorted by the non-sinusoidal currents drawn by the contaminating loads can, in its turn, give rise to current harmonics in linear components, such as capacitors and resistors and in electric machinery, such as transformers and motors in which losses and mechanical vibration are induced.

According to Fourier, every non-sinusoidal periodical phenomenon can be obtained as the sum of sinusoidal components, each one of the appropriate amplitude and with whole multiple frequency of the pure wave, having frequency equal to that of the initial distorted periodical wave.

The presence of harmonics in a network in which capacitors are installed causes a current overload on this type of component given by the following equation:

where

$I_1$  = Current at the frequency of the pure wave

$S$  = Sum of all the harmonic currents starting from the 2nd until the nth.

Figure E shows a current with the typical square shape of a non-linear load, whose breakdown is also given by means of the Fourier series limited to the seventh order.

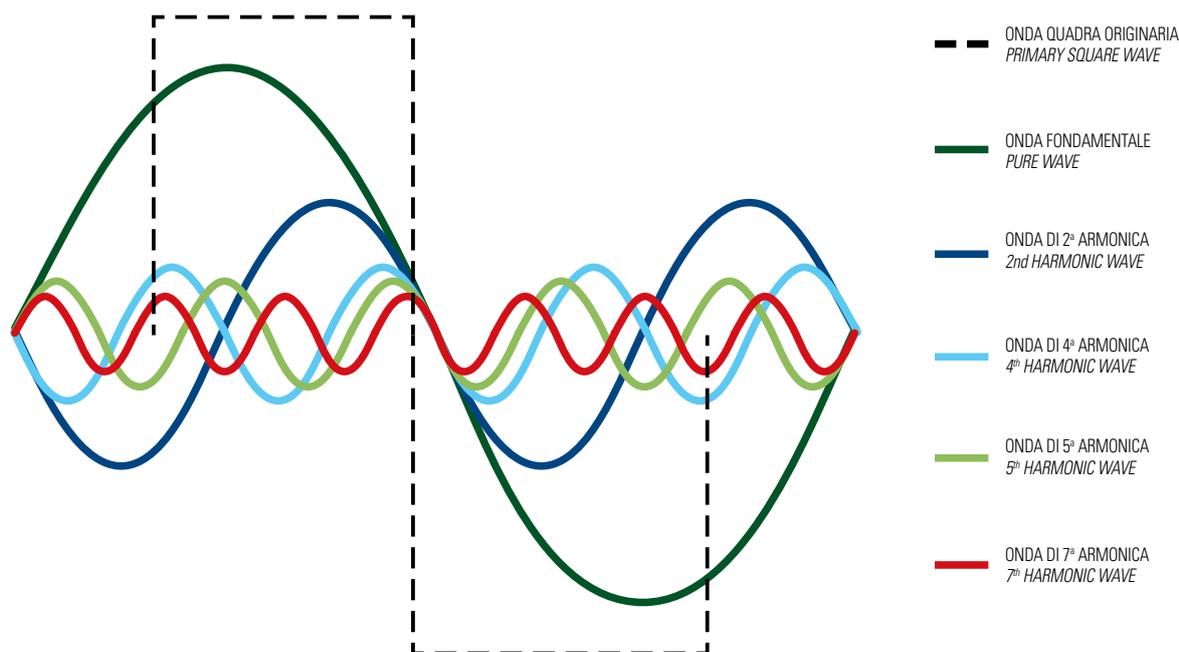


FIG. C

Da quanto sopra detto si può facilmente dedurre che una corrente distorta con frequenza pari a 50 Hz può essere vista come somma di una corrente sinusoidale a 50 Hz e di altre correnti con frequenze multiple (ad es. 100-150-200-250 Hz-ecc.).

In presenza di distorsioni è vivamente sconsigliato il rifasamento eseguito con il solo ausilio di condensatori, in quanto possono innescarsi fenomeni di risonanza parallelo con la rete che portano all'amplificazione delle armoniche già esistenti; è quindi necessario eseguire un'accurata verifica mirata ad individuare la frequenza di risonanza "fr" del circuito accordato costituito dal condensatore di rifasamento e dall'impedenza prevalentemente reattiva della rete. Allo scopo è utile la seguente formula:

From the above we may easily infer that a distorted current with a frequency of 50 Hz can be seen as the sum of a sinusoidal current at 50 Hz and other currents with multiple frequencies (e.g., 100-150-200-250 Hz-etc.).

When there are distortions, it is strongly recommended not to do the power factor correction with just the aid of capacitors as they can trigger phenomena of parallel resonance with the network, leading to an amplification of the existing harmonics. It is therefore necessary to run a thorough check targeted at identifying the resonance frequency "fr" of the tuned circuit composed of the power factor correction capacitor and the mainly reactive impedance of the network. For this purpose, the following formula is helpful:

$$f_r = f_1 * \sqrt{\frac{Sc}{Qc}}$$

dove

$f_1$  è la frequenza dell'onda fondamentale

$S_{cc}$  è la potenza di corto circuito della rete (espressa in VA)

$Q_c$  è la potenza reattiva del condensatore o della Batteria di condensatori (espressa in var)

Le soluzioni utilizzate dalla Enerlux per evitare tali inconvenienti sono costituite dall'impiego di reattanze di blocco capaci di proteggere i condensatori e consentire un corretto rifasamento dell'impianto; il loro principio di funzionamento è quello di spostare la frequenza di risonanza dell'impianto al di sotto dell'armonica di ordine più basso in modo tale da evitare l'innescio di fenomeni di risonanza.

Le reattanze di blocco sono normalmente calcolate per accordarsi con il condensatore su di una frequenza che solitamente varia tra i 134 ai 210 Hz.

Il parametro che quantifica il contenuto armonico della corrente è detto fattore di distorsione o THD definito come segue:

where

$f_1$  is the frequency of the pure wave

$S_{cc}$  is the short-circuit power of the network (expressed in VA)

$Q_c$  is the reactive power of the capacitor or of the Capacitor bank (expressed in var)

The solutions utilized by Enerlux to avoid this trouble consist of using blocking reactors capable of protecting the capacitors and enabling correct power factor correction of the installation. Their working principle consists of shifting the resonance frequency of the installation under the harmonic of a lower magnitude so as to avoid triggering phenomena of resonance.

The blocking reactors are normally calculated to be tuned with the capacitor on a frequency usually varying between 134 and 210 Hz.

The parameter quantifying the harmonic load of the current is called the factor of distortion or THD, defined as follows:

$$THD\% = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} * 100$$

dove:

$I_1$  è il valore efficace della corrente alla frequenza dell'onda fondamentale

$I_n$  è il valore efficace della generica corrente armonica di ordine n.

Alla luce di quanto sopra esposto è consigliabile una corretta analisi della rete in presenza di determinati tipi di carico prima di effettuare la scelta del tipo di rifasamento; consigliamo pertanto di contattare l'Ufficio Tecnico Enerlux che vi potrà aiutare e guidare nella scelta dell'apparecchiatura adeguata.

where:

$I_1$  is the r.m.s. value of the current at the frequency of the pure wave

$I_n$  is the r.m.s. value of the generic current harmonic of magnitude No.

In the light of the above, it is recommended to analyse the network correctly when there are certain kinds of load before choosing the type of power factor correction. We therefore recommended you contact the Enerlux Engineering Department that will be able to help and guide you in choosing the appropriate equipment.

# CARATTERISTICHE DEI CONDENSATORI IN POLIPROPILENE METALLIZZATO AD ALTO GRADIENTE

## CHARACTERISTICS OF CAPACITORS MADE OF METALIZED POLYPROPYLENE FILM AT HIGH GRADIENT



### TECNOLOGIA COSTRUTTIVA

I condensatori di rifasamento realizzati dalla Enerlux per applicazioni in bassa tensione sono condensatori sia trifase che monofase, del tipo autorigenerevoli, costituiti da elementi monofase realizzati in film di polipropilene metallizzato ad alto gradiente che permette di migliorare in modo consistente le prestazioni del condensatore (vedi figura F); l'elemento è "a secco", in quanto non impregnato in olio ma isolato esternamente da una speciale miscela dielettrica atossica, priva di PCB e PCT.

Questa miscela garantisce al condensatore un'estrema affidabilità dal punto di vista meccanico (insensibilità alle vibrazioni) e dal punto di vista elettrico (isolamento verso massa maggiormente garantito).



### CONSTRUCTION TECHNOLOGY

The power-factor correction capacitors made by Enerlux for low-voltage applications are both three-phase and single-phase capacitors, of the self-healing type, composed of single-phase elements made of a metalized polypropylene film at high gradient that permits to improve notably capacitor duty (see Figure F). The element is "dry" as it is not impregnated with oil, but externally isolated with a non-toxic dielectric mix, with no PCB or PCT.

This mix ensures great reliability for the capacitor from a mechanical point of view (insensitive to vibration) and from an electrical point of view (isolation from earth further guaranteed).

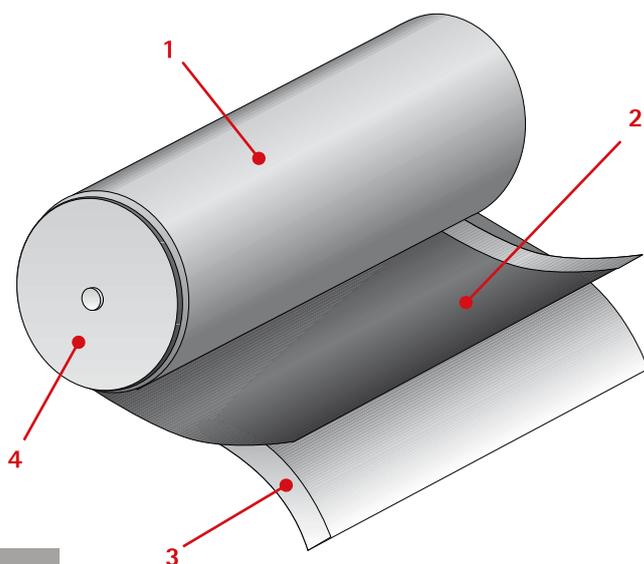


FIG. F

- 1 ELEMENTO CAPACITIVO  
CAPACITIVE ELEMENT
- 2 FILM IN PROPYLENE METALLIZZATO (SOLO SU UN LATO)  
METALIZED POLYPROPYLENE FILM (ON ONE SIDE ONLY)
- 3 BORDO LIBERO DA METALLIZZAZIONE  
EDGE FREE FROM METALLIZATION
- 4 ZONA DI CONTATTO  
CONTACT AREA

Gli elementi sono inseriti in custodia cilindrica di alluminio estruso, con codolo di fissaggio M12 x 12 mm.

La chiusura del condensatore viene realizzata tramite bordatura della custodia sulla basetta in nylon rinforzato con fibra di vetro autoestinguente (classe V2 seconde le norme UL 94), per la serie PRM e disco acciaio per la serie PRT, garantendo una perfetta ermeticità.

I condensatori sono dotati di resistenze di scarica esterne.

Caratteristiche principali di questi condensatori:

- grazie al nuovo tipo di metallizzazione con spessore variabile un'autorigenerabilità migliore al verificarsi di cortocircuiti fra le armature
- riduzione delle dimensioni dovuta all'aumento della potenza specifica (kvar/dm<sup>3</sup>)
- più affidabilità in caso di sovratensioni continuative e transitorie

Tutti i condensatori Enerlux, sono dotati di dispositivo di protezione a interruzione per sovrappressione (vedi paragrafo a seguire).

A parità di potenza attiva un carico a basso fattore di potenza causa una maggiore richiesta di potenza apparente alla rete rispetto ad un carico con fattore di potenza più elevato con conseguente aumento delle cadute di tensione e di conseguenza delle perdite.

The elements are put in an extruded aluminium cylindrical can, with fixing spigot M12 x 12 mm.

The capacitor is closed with the can bending on the self-extinguishing fibreglass-reinforced nylon strip (class V2 according to UL 94 standards), for PRM series and steel lids for PRT series, ensuring perfect air and water tightness.

The capacitors are equipped with external discharge resistors.

Main characteristics of these capacitors:

- thanks to this new metallization type having a variable thickness, grant a better selfhealing at short circuits between the plates
- reduction of size due to the increase of specific power (kvar/dm<sup>3</sup>)
- more reliability in case of continuous and transient overvoltages

All Enerlux capacitors are equipped with an overpressure disconnecting safety device (see following paragraph).

Having equal active power, a load with a low power factor, causes a greater call of apparent power from the network compared to a load with a higher power factor with an ensuing increase in voltage drops and, as a result, losses.

Per contenere i costi relativi ad un dimensionamento degli impianti di distribuzione effettuato in funzione di utenze a basso fattore di potenza, gli enti erogatori dell'energia prevedono penali con lo scopo di scoraggiare l'assorbimento dalla rete di una quantità eccessiva di potenza reattiva, che quindi deve essere fornita al carico per mezzo di sistemi installati presso l'utilizzatore.

Tali sistemi sono nella quasi totalità dei casi costituiti da condensatori statici di rifasamento che, assorbendo una corrente capacitiva IC sfasata di 90° in anticipo sulla tensione di fase compensano parte della corrente induttiva IL assorbita dalle componenti induttive dei carichi. In questo modo la potenza reattiva assorbita dall'utilizzatore non è più totalmente prelevata dalla rete, ma fornita in una certa misura dal condensatore. In figura B viene mostrato un triangolo delle potenze in assenza ed in presenza di rifasamento. Si noti come l'introduzione del condensatore che fornisce la potenza reattiva QC causi la diminuzione dell'angolo  $\varphi$  e di conseguenza l'innalzamento del fattore di potenza.

To limit costs related to distribution installation rating made depending on users with a low power factor, the electricity distribution companies have penalties with the aim of discouraging users from absorbing too much reactive power from the mains, which therefore must be supplied to the load via systems installed on the user's premises.

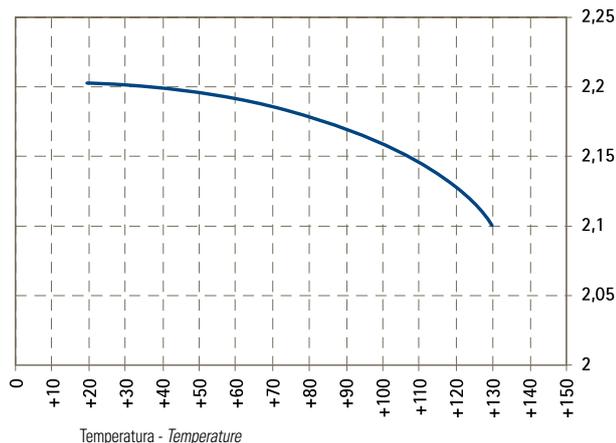
These systems are in virtually every case composed of static power-factor correction capacitors that, drawing a capacitive current IC staggered 90° in advance on the phase voltage compensate part of the inductive current IL absorbed by the inductive components of the loads. In this way the reactive power absorbed by the user is no longer totally kept by the mains, but to a certain extent supplied by the capacitor. Figure B shows a power triangle with and without power-factor correction. Notice how adding the capacitor that provides the reactive power QC causes a decrease in the angle  $\varphi$  and, as a result, an increase in the power factor.

CURVE CARATTERISTICHE DEI CONDENSATORI IN FILM DI POLIPROPILENE METALLIZZATO

CHARACTERISTIC CURVES OF CAPACITORS IN METALLIZED POLYPROPYLENE FILM

Variazioni della Costante Dielettrica del Film metallizzato in funzione della Temperatura

Change in the Dielectric Constant of the metallized Film in relation to Temperature

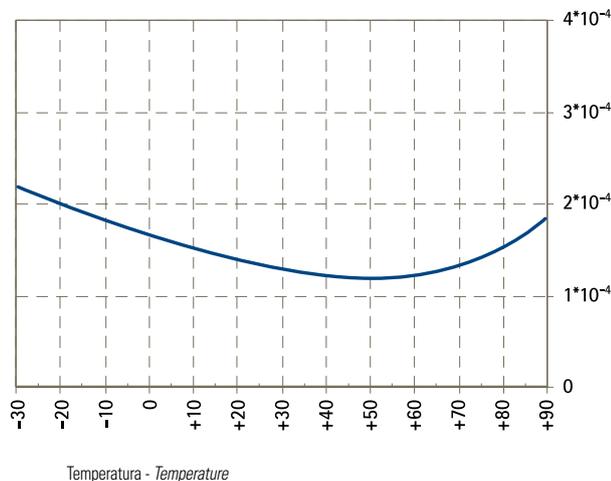


Costante dielettrica  
Dielectric constant

$\epsilon$

Variazioni dell'Angolo di Perdita del Film metallizzato in funzione della Temperatura

Change in the Loss Angle of the metallized Film in relation to Temperature



Angolo di perdita  
Loss angle

DISPOSITIVO DI PROTEZIONE A INTERRUZIONE PER SOVRAPRESSIONE

L'utilità di questa protezione sui condensatori di bassa tensione, è quella di interrompere immediatamente il circuito di alimentazione alla fine della vita del condensatore stesso e in caso di guasto per sovratensioni eccessive.

Questa interruzione non provoca esplosioni della custodia o bruciature e mantiene inalterate le caratteristiche di tenuta dielettrica verso massa e di ermeticità; il ripetersi delle evaporazioni della metallizzazione generatasi durante l'autorigenerazione sviluppa nel tempo una sovrappressione interna che provoca l'innalzamento della custodia con successiva sconnessione del dispositivo dall'alimentazione.

In figura G si mostra il principio di funzionamento.

OVERPRESSURE DISCONNECTING SAFETY DEVICE

The usefulness of this protection on low-voltage capacitors is the immediate switch of the power supply circuit at the end of the capacitor's life and in the event of a fault due to excessive overvoltage.

This break causes no explosion nor burning of the can and keeps the features of the dielectric seal from earth and air and water tightness unchanged. The recurrence of evaporation of the metallization generated during self-healing causes an internal overpressure in time that causes the can to rise with the device then getting disconnected from the power supply.

Figure G shows the working principle.

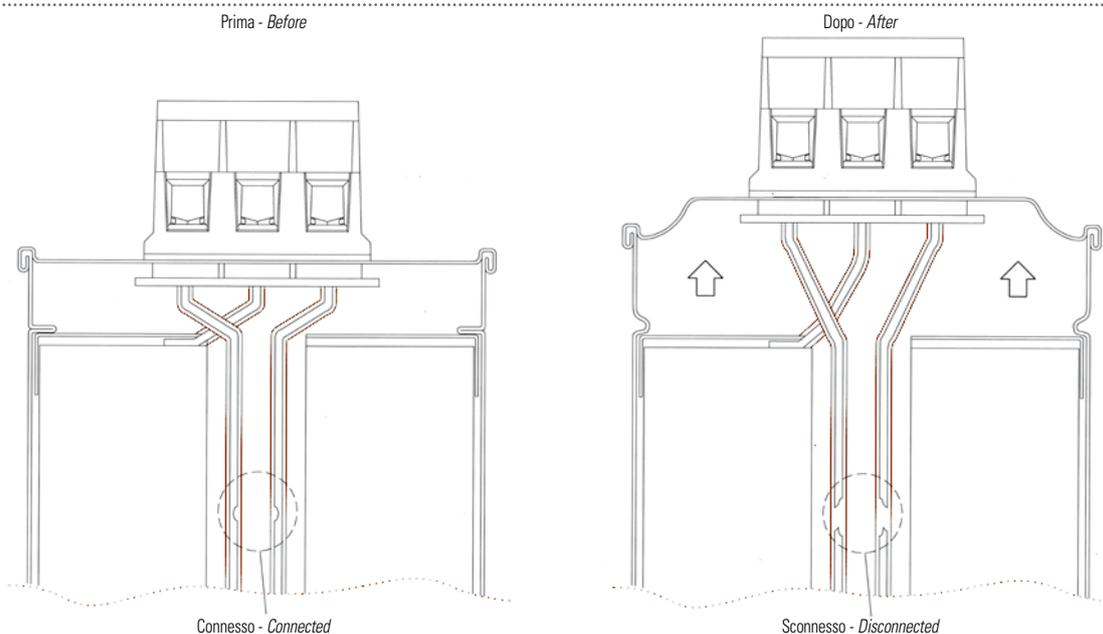


FIG. G

CONDIZIONI DI SERVIZIO

Il condensatore di rifasamento è un componente elettrico che, al termine di un periodo di BURN IN e dei vari test eseguiti presso la Enerlux, può essere installato in vari tipi di impianti caratterizzati da varie condizioni di esercizio. E' quindi di fondamentale importanza definire ed identificare le condizioni in cui potrà operare, onde evitare alterazioni nel suo funzionamento e per prevenirne la riduzione della vita.

I principali parametri relativi al servizio che devono essere verificati sono:

- Corrente nominale
- Corrente di picco
- Presenza di armoniche
- Tensione nominale
- Tensione residua
- Temperatura

CONDITIONS OF SERVICE

The power-factor correction capacitor is an electrical component that, at the end of a period of BURN IN and of the various tests performed by Enerlux, can be installed in various kinds of installations featuring various conditions of operation. It is therefore extremely important to define and identify the possible operating conditions to prevent any alteration in its operation and any shortening of its service life.

The main service parameters that must be checked are:

- Rated current
- Peak current
- Presence of harmonics
- Rated voltage
- Residual voltage
- Temperature

### CORRENTE

I condensatori sono dimensionati per un funzionamento con correnti permanenti fino a  $1,3 I_n$ , e con correnti pari a  $1,5 I_n$  nel caso in cui il condensatore presenti una capacità con tolleranza del +10%, in caso di presenza di armoniche e con sovratensioni del 10%.

Occorre pertanto dimensionare in funzione di una corrente di  $1,5 I_n$  tutti i cavi, i teleruttori e le apparecchiature in modo da evitare surriscaldamenti o rotture di questi componenti. I fusibili a protezione devono essere del tipo ritardato e dimensionati a  $1,8 \div 2 I_n$ .

### CORRENTE DI PICCO

Poiché i condensatori sono caratterizzati da basse perdite causano, all'atto dell'inserzione, un picco di corrente molto elevato, fino a  $200 I_n$ , soprattutto nei quadri a più gradini, nei quali possono esistere condensatori già carichi. È importante quindi, per evitare danni prematuri ai condensatori ed agli apparecchi di manovra, l'impiego di teleruttori muniti di reattanze di limitazione del picco di corrente all'inserzione; la corrente di inserzione deve essere limitata ad un valore di  $100 I_n$ .

### ARMONICHE

Una delle condizioni fondamentali per il corretto funzionamento dei condensatori, è quello di verificare l'eventuale presenza di armoniche nella rete, per evitare che le distorsioni della forma d'onda fondamentale ed i sovraccarichi prodotti dalle armoniche danneggino le apparecchiature installate.

È quindi indispensabile verificare se nella rete esistono carichi non lineari che iniettano armoniche nella rete; nel caso in cui vi sia la presenza di tali apparecchiature è opportuno eseguire una precisa misurazione tramite un analizzatore di armoniche oppure chiedendo assistenza all'Ufficio tecnico della Enerlux che provvederà alle opportune verifiche guidandovi nella scelta del prodotto più appropriato.

### TENSIONE

I condensatori sono dimensionati per un funzionamento ad un livello di tensione conforme alle vigenti normative italiane CEI EN 60831-1/2 e alle norme internazionali IEC 831-1/2 secondo quanto riportato nella tabella n. 4:

TENSIONE SENZA ARMONICHE VOLTAGE WITHOUT HARMONICS	DURATA MASSIMA MAXIMUM DURATION	OSSERVAZIONI REMARKS
$U_n$	continua <i>continued</i>	Massimo valore medio durante un qualsiasi periodo di energizzazione <i>Highest average value during any period of capacitor energization</i>
$1,1 U_n$	8 h ogni 24 h 8 h every 24 h	Regolazioni e fluttuazioni della tensione di rete <i>System voltage regulation and fluctuations</i>
$1,15 U_n$	30 min ogni 24 h 30 min every 24 h	Regolazioni e fluttuazioni della tensione di rete <i>System voltage regulation and fluctuations</i>
$1,2 U_n$	5 min	Aumento di tensione a basso carico Voltage rise at light load
$1,3 U_n$	1 min	Aumento di tensione a basso carico Voltage rise at light load

TAB. 4

È importante segnalare che sovratensioni maggiori di  $1,15 U_n$  non possono verificarsi per non più di 200 volte nella vita di un Condensatore.

*It is important to note that overvoltages greater than  $1,15 U_n$  may not occur for no more than 200 times in the life of a Capacitor.*

### CURRENT

*The capacitors are rated for operating with permanent currents up to  $1,3 I_n$  and with currents of  $1,5 I_n$  if the capacitor has a capacity with a tolerance of +10%, if there are harmonics and with overvoltages of 10%.*

*It is therefore necessary to rate all the cables, contactors and equipment in relation to a current of  $1,5 I_n$  to prevent these components overheating or breaking. Protection fuses must be of delayed type and designed at  $1,8 \div 2 I_n$ .*

### PEAK CURRENT

*Since capacitors are characterized by low losses, at insertion time they cause an extremely high current peak, up to  $200 I_n$ , especially in instrument panels with a number of steps where there may be capacitors that are already charged.*

*It is therefore important, in order to avoid prematurely damaging the capacitors and control gear, to use contactors fitted with in-rush peak current limiting reactors; the in-rush current must be limited to  $100 I_n$ .*

### HARMONICS

*One of the fundamental conditions for the capacitors to work properly is that of checking harmonics in the network, to prevent distortion of the pure wave shape and the overloading caused by the harmonics, that could damage installed equipment.*

*It is therefore indispensable to check whether the network contains non-linear loads that put harmonics into the network; if there is any such equipment, it is wise to make an exact measurement using a harmonics analyser or ask for assistance of Enerlux Engineering Department that will make the appropriate checks and guide you in the choice of the most appropriate product.*

### VOLTAGE

*The capacitors are rated to work at a level of voltage in compliance with Italian CEI EN 60831-1/2 and international IEC 831-1/2 standards as stated in table no. 4:*

Spesso vengono utilizzati condensatori con tensione nominale maggiore rispetto alla tensione di rete per evitare che sovratensioni di varie origini (ad esempio presenza di piccole componenti armoniche) possano provocarne la rottura del dielettrico. In casi come questo occorre tuttavia prestare attenzione al fatto che la potenza nominale del condensatore non equivale più alla potenza resa in quanto alimentato a tensioni più basse.

La potenza reattiva generata vale quindi:

$$Q = \left( \frac{U_r}{U_n} \right)^2 * Q_n$$

dove:

$U_r$  è la tensione alla quale viene alimentato il condensatore

$U_n$  è la tensione nominale del condensatore

$Q_n$  è la sua potenza nominale.

### TENSIONE RESIDUA

La tensione residua è la tensione che permane tra i terminali di un condensatore dopo un certo tempo a partire dal momento in cui il componente viene scollegato dalla rete.

In conformità alle norme CEI EN 60831-1/2 e alle norme internazionali IEC 831-1/2, questa tensione deve scendere al di sotto di 75 V entro 3 minuti dallo scollegamento del condensatore dalla rete; è quindi opportuno evitare manutenzioni sull'impianto prima che intercorra questo tempo, al fine di scongiurare contatti indiretti.

Inoltre è opportuno ricordare che nelle apparecchiature automatiche di rifasamento prive di dispositivi di scarica rapida, il tempo di intervento del regolatore deve essere compatibile con il tempo di scarica del condensatore (mai inferiore ai 30s).

### TEMPERATURA

La temperatura di lavoro del condensatore rappresenta un parametro fondamentale al quale riferirsi per garantire un corretto funzionamento dello stesso e non influenzare la durata prevista della sua vita.

I condensatori sono classificati in conformità alle vigenti normative italiane CEI EN 60831-1/2 e alle norme internazionali IEC 831-1/2 in classi di temperatura, dove ogni classe viene specificata da un numero seguito da una lettera. Il numero indica la più bassa temperatura ambiente alla quale il condensatore può funzionare.

La lettera indica il valore più elevato presente nelle gamme della temperatura, come mostrato nella tabella 5.

Capacitors are often used with a greater rated voltage than the mains voltage to prevent overvoltages of various origin (for example, small harmonic components) being able to damage the dielectric. In cases such as this, it is however necessary to pay attention to the fact that the rating of the capacitor is no longer equivalent to the power output as it is powered at lower voltages.

The generated reactive power is therefore:

where:

$U_r$  is the voltage at which the capacitor is powered

$U_n$  is the rated voltage of the capacitor

$Q_n$  is its rated output.

### RESIDUAL VOLTAGE

The residual voltage is the voltage remaining between the terminals of a capacitor after a certain length of time since the component was disconnected from the network.

In conformity with the CEI EN 60831-1/2 and international IEC 831-1/2 standards, this voltage must drop under 75 V within 3 minutes of disconnecting the capacitor from the network; it is therefore wise to avoid maintenance work on the installation until this time has passed, in order to avoid any indirect contact.

In addition, it should be remembered that with automatic power-factor correction equipment with no fast discharge devices, the regulator trip time must be compatible with the capacitor discharge time (never lower than 30s).

### TEMPERATURE

The working temperature of a capacitor is a fundamental parameter in ensuring the capacitor works properly without affecting its expected lifetime.

The capacitors are classified in compliance with current Italian CEI EN 60831-1/2 and international IEC 831-1/2 standards in temperature classes, where each class is specified by a number followed by a letter.

The number indicates the lowest ambient temperature at which the capacitor can work.

The letter indicates the highest value in the temperature range, as shown in table 5.

LETTERA / LETTER	TEMPERATURA DELL'ARIA AMBIENTE / AMBIENT AIR TEMPERATURE		
	MASSIMA MAXIMUM	MASSIMO VALORE MEDIO PER OGNI PERIODO DI HIGHEST AVERAGE VALUE DURING ANY PERIOD OF	
		24 h	1 anno / 1 year
A	+ 40° C	+ 30° C	+ 20° C
B	+ 45° C	+ 35° C	+ 25° C
C	+ 50° C	+ 40° C	+ 30° C
D	+ 55° C	+ 45° C	+ 35° C

TAB. 5

N.B. Enerlux realizza su richiesta prodotti con categorie di temperatura oltre i limiti riportati nella tabella

N.B. On request, Enerlux makes products with temperature classes outside the limits stated in the table

La tabella è applicabile nei casi in cui il condensatore non influenza la temperatura dell'aria dell'ambiente (per esempio nelle installazioni all'esterno).

La scelta del condensatore deve essere effettuata in modo tale da garantire, per mezzo di un raffreddamento naturale o forzato, che le condizioni di servizio siano compatibili con i parametri di targa del condensatore.

Inoltre i condensatori devono essere posizionati in modo tale da consentire la libera circolazione dell'aria ed opportunamente distanziati; ad esempio è opportuno lasciare maggior spazio, qualora non esistano dispositivi per lo scambio di aria con l'esterno, rispetto al caso in cui sia presente un sistema di ventole di raffreddamento.

The table is applicable when the capacitor does not affect the ambient air temperature (for instance, in outdoor installations).

The capacitor must be chosen so as to make sure, via natural or forced cooling, that the conditions of service are compatible with the capacitor's rated parameters.

Moreover, the capacitors must be positioned so as to allow air to circulate freely and they must be suitably spaced apart; for example, it is wise to leave more space when there are no devices for ventilation with outside air than when there is a system of cooling fans.

# CONSIDERAZIONI GENERALI

## GENERAL REMARKS



### REQUISITI MINIMI DI SICUREZZA

I condensatori, i cassetti modulari e le apparecchiature non devono essere utilizzati per scopi differenti dal rifasamento di impianti in corrente alternata e l'utilizzo deve adempiere ai requisiti indicati nelle "CONDIZIONI DI SERVIZIO". L'installazione dovrà essere eseguita a regola d'arte in ottemperanza alle vigenti normative.

Particolare attenzione dovrà essere prestata per evitare danneggiamenti meccanici e fisici alle apparecchiature ed ai cassetti modulari.

Per quanto concerne i condensatori, la loro installazione dovrà sempre essere realizzata mediante opportuna segregazione, per evitare eventuali danneggiamenti alla funzionalità degli stessi e delle altre apparecchiature.

### UTILIZZO

Tutti i nostri prodotti sono progettati, costruiti e testati secondo le normative IEC-CEI EN con lo scopo ultimo di garantire la sicurezza e qualità del prodotto. E' obbligo dell'utilizzatore verificare che i dati di targa del prodotto siano adeguati ai valori della rete in cui si dovranno installare e sia conforme a quanto indicato nel ns. catalogo e nelle istruzioni.

Prestare particolare attenzione all'ambiente nel quale viene installato il prodotto evitando l'esposizione ad azioni dannose di sostanze chimiche o ad attacchi della flora e/o della fauna.

Se il prodotto risultasse danneggiato per qualsiasi motivo dovuto al trasporto, magazzino o montaggio, non deve essere utilizzato e immediatamente rimosso.

Rispettare le istruzioni che troverete allegate al prodotto accertandovi di verificare le distanze di sicurezza, i criteri di montaggio e collegamento, di funzionamento in servizio e le istruzioni per i controlli e la manutenzione.

### COMPATIBILITA' AMBIENTALE

Un concetto di fondamentale importanza per Enerlux è che il patrimonio ambientale non può essere considerato una risorsa totalmente disponibile e illimitata, ma un valore da proteggere e da rispettare; infatti Enerlux è fermamente convinta che la tutela dell'ambiente non possa prescindere dalla ricerca di un equilibrio tra lo sviluppo tecnologico e l'attenuazione dell'impatto sull'ambiente.

Da ciò deriva la scelta attuata da Enerlux di realizzare esclusivamente prodotti di rifasamento per bassa tensione con componenti atossici.

E' utile ricordare, al fine dello smaltimento, che i condensatori di bassa tensione della Enerlux sono classificati come rifiuti non pericolosi (codice smaltimento CER 160216).

### DIRETTIVA ROHS E RAEE

Per i propri prodotti Enerlux applica le direttive 2002/95/CE ROHS e 2002/96/CE RAEE.



### MINIMUM SAFETY REQUIREMENTS

*Capacitors, modular units and equipments haven't to be utilized for purposes that are different from the power factor correction of systems in AC and their utilization must carry out the requirements showed in the "CONDITIONS OF SERVICE". Their installation must be done workmanlike, in compliance with current product standards.*

*A particular attention must be payed to avoid mechanical and physical damages to equipments and modular units. As regards capacitors, their installation must be always realized with a suitable segregation, to avoid possible damages to their functionality and to other equipments.*

### USE

*All our products are designed, manufactured and tested in compliance with IEC-CEI EN with the aim to grant product safety and quality.*

*The user is obliged to check that the rating plate data of the product are suitable to the network on which it will be installed and that complies with what is indicated on our catalogue and on our instructions.*

*Take particular care about the ambient where the product will be installed avoiding exposition to the injuries actions of chemical substances or to flora and/or fauna attacks.*

*If the products would be damaged for any reason due to transport, storage or mounting, it must not be used and immediately removed.*

*Follow instructions you will find together with the product, being sure to check safety distances, mounting, connection and operation during service, criteria and instructions to carry out checks and maintenance.*

### ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY

*An extremely important concept for Enerlux is that the environment must not be considered as a fully available and unlimited resource, but a value to protect and respect. Enerlux is firmly convinced that protecting the environment cannot be separated from seeking a balance between technological development and lessening its impact on the environment.*

*This has led to Enerlux's decision to make low-voltage power-factor correction products solely with non-toxic components.*

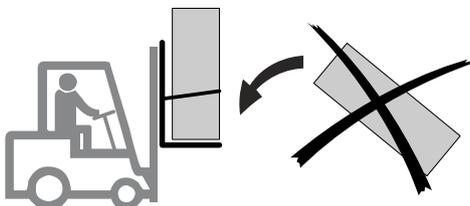
*It should be remembered, for purposes of disposal, that Enerlux's low-voltage capacitors are classified as not dangerous waste.*

### ROHS AND RAEE DIRECTIVE

*For its own products Enerlux applies 2002/95/CE ROHS and 2002/96/CE RAEE directive.*

#### STOCCAGGIO E MOVIMENTAZIONE

Lo stoccaggio dei condensatori deve essere fatto lasciandoli nel loro imballaggio originale, in luogo coperto ed asciutto.  
La movimentazione deve avvenire con mezzi idonei evitando sollecitazioni meccaniche.



#### STORAGE AND HANDLING

Storage of capacitors must be done keeping on them their original packing, in a covered and dry area.  
Handling must be done with suitable means avoiding mechanical solicitations

#### CONSIDERAZIONI SPECIFICHE PER LE APPARECCHIATURE DI RIFASAMENTO

##### COMPATIBILITA'

Prendere le opportune precauzioni per evitare pericolose interferenze con le apparecchiature adiacenti

##### DISPOSITIVI DI MANOVRA

Si consiglia l'uso di contattori specifici che dotati di resistenza di pre-inserzione limitano le sovracorrenti che si verificano all'atto dell'inserzione della batteria di condensatori.

##### DISPOSITIVI DI PROTEZIONE

I dispositivi di protezione sono costituiti da fusibili, interruttori automatici e relè termici.

Per quanto concerne i fusibili è preferibile un dimensionamento pari a 1,8÷2 volte la corrente nominale dei condensatori o delle batterie di condensatori mentre per gli interruttori automatici deve anche essere considerato un adeguato potere di stabilimento in relazione al numero di manovre di chiusura-apertura previste.

In generale è comunque evidente che tutti i componenti a valle dell'apparecchiatura di manovra e protezione (ad esempio i cavi) devono essere dimensionati in relazione alle sollecitazioni previste.

#### SPECIFIC REMARKS FOR POWER FACTOR CORRECTION EQUIPMENTS

##### COMPATIBILITY

Take needed precautions to avoid any interference with neighbouring equipment.

##### SWITCHING DEVICES

Enerlux advises the use of specific contactors equipped with damping resistors that limit the over-currents that take place at the switch-in of the capacitor battery.

##### PROTECTION DEVICES

The protection devices consist of fuses, circuit breakers and thermal relays. As regards the fuses, it is preferable for the rating to be 1.8÷2 times the rated current of the capacitors or capacitor banks; whereas, for the circuit breakers it is necessary to consider an adequate fixing capacity in relation to the number of closing-opening operations contemplated. In general, however, it is clear that all the components downstream from the switching and protection devices (for example, the cables) must be rated in relation to the expected stresses.

#### CONDIZIONI AMBIENTALI DI ESERCIZIO

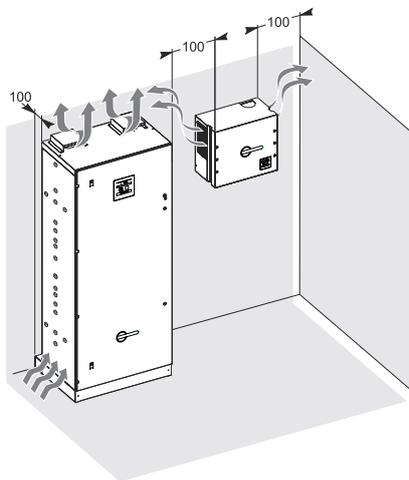
Assicurarsi che la temperatura ambiente dove si andrà ad installare l'apparecchiatura di rifasamento rientri in questi limiti:

- Massima temperatura: 40°C
- Massima temperatura per un periodo di 24 ore: 35°C
- Massima temperatura per un periodo di 1 anno: 25°C
- Temperatura minima: -5°C

Installare l'apparecchiatura in un ambiente ben ventilato.

Controllare che i limiti massimi di temperatura durante il funzionamento dell'apparecchiatura non siano superati.

Assicurarsi che le griglie e/o gruppo di ventilazione non siano coperte (spazio minimo 100 mm)  
Proteggere l'apparecchiatura dalla polvere e umidità.



#### OPERATING ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Be sure the ambient temperature where the power factor correction equipment will be installed, is within the following limits:

- Highest temperature: 40°C
- Highest temperature for 24 hours long: 35°C
- Highest temperature for 1 year long: 25°C
- Minimum temperature: -5°C

Install the equipment in a well ventilated ambient. Check that the maximum limits of temperature are within said values during equipment operation. Be sure that ventilation fins and/or ventilation groups are not covered (minimum space 100mm). Protect the equipment against dust and humidity.

# GUIDA ALLA SCELTA DEL PRODOTTO

## GUIDE TO THE CHOICE OF THE PRODUCT



In presenza di fenomeni di deformazione della corrente di carico, tipicamente legati all'alimentazione di carichi elettronici o comunque non lineari, per effettuare una scelta corretta del componente, i valori di tensione nominale della rete e di potenza reattiva che si desidera produrre non sono sufficienti. In presenza di armoniche, è infatti estremamente importante prestare attenzione a due fenomeni che si verificano abitualmente sui di banchi di rifasamento:

- presenza di una tensione ai capi del condensatore maggiore di quella nominale per effetto dei contributi delle singole armoniche;
- possibilità che l'accordo del condensatore con l'impedenza di rete ad una determinata frequenza porti all'innescò di risonanze.

Entrambi i fenomeni possono essere fonte di sollecitazioni dielettriche che, se non correttamente considerate, portano all'inevitabile distruzione del componente entro breve tempo dall'installazione.

I problemi relativi all'aumento della tensione ai capi dei condensatori per effetto delle armoniche devono essere affrontati mediante:

- accurato rilievo dello spettro della corrente;
- calcolo dei contributi di tensione relativi alle armoniche più importanti;
- scelta del componente con tensione nominale immediatamente superiore a quella ottenuta dal calcolo, considerando componente fondamentale e armoniche;
- verifica che non siano presenti armoniche con frequenze prossime a quella di risonanza del sistema di rifasamento e della rete.

Il calcolo esatto dovrebbe essere condotto valutando lo spettro armonico, ma non essendo possibile nella maggioranza dei casi, si può operare una valutazione di massima facendo riferimento al THD (vedi pag.12).

A parità di THD, le sollecitazioni aumentano all'aumentare delle armoniche di ordine più basso.

Sulla base di questi concetti l'esempio e la tabella di seguito riportati suggeriscono il prodotto Enerlux più adatto all'impianto preso in considerazione. Enerlux non può essere ritenuta responsabile per una errata scelta dei componenti.



*If there are charge current deformation phenomena, typically tied to electrical charges supply or not linear charges, to make a correct choice of the component, the values of the network rated voltage and reactive power you want to produce, are not enough. In fact, when there are harmonics in the network, paying attention to two phenomena that usually happen on power factor capacitor banks is very important:*

- *presence of a voltage at the terminals of the capacitor higher than the rated one due to the affect of single harmonic contributions.*
- *The tuning of the capacitors with network impedance at a determined frequency, could probably provoke resonances.*

*Both the above mentioned phenomena could be the source of dielectric stresses, that if are not correctly considered, keep to the unavoidable destruction of the component within a brief time after installation.*

*The problems related to the increasing in voltage at the capacitor terminals, due to the effect of harmonics, must be faced through:*

- *an accurate survey of current spectrum;*
- *calculation of voltage contributions related to the most important harmonics;*
- *choice of the component with a rated voltage immediately higher to that obtained by calculations, considering the fundamental component and the harmonics;*
- *verification of the absence of harmonics with a frequency close to the network power factor correction system resonance frequency.*

*The exact calculation should be carried out valuating the harmonic spectrum, but being often not possible, you can base on an evaluation referring to THD (see at page 12).*

*When THD is equal, solicitations increase at the increase of harmonics at lower order.*

*On the base of such concepts, the example and the table showed here below, suggest the Enerlux product suitable to the plant taken into account.*

*Enerlux is not considered responsible of a not correct choice of the components.*

### ESEMPIO

Principali caratteristiche dell'impianto da rifasare

### EXAMPLE

Main characteristics of the plant that must be power factor correct

RETE		NETWORK
Tensione nominale	400 V	Rated voltage
Frequenza nominale	50 Hz	Rated frequency
Numero delle fasi	3	Number of phases
Q = Potenza di rifasamento	400 Kvar	Q = Power factor correction power

TRASFORMATORE MT/BT

MV/LV TRANSFORMER

St = Potenza nominale

1000 kVA

St = Rated voltage

Vcc = Tensione di cortocircuito

6 %

Vcc = Short circuit voltage

Per calcolare la potenza di cortocircuito alle sbarre di inserzione dei condensatori (Scc), nell'ipotesi potenza infinita della rete MT, è possibile utilizzare la formula:

To calculate the short-circuit power at the capacitors connection points (Scc), taking in consideration as hypothesis an infinite power of MV network, it is possible to use the following formula:

$$S_{cc} = \frac{S_T}{V_{cc}} = \frac{1000}{0,06} = 16,7 \text{ MVA}$$

L'ordine armonico al quale risuona il parallelo batteria di rifasamento-rete può essere calcolato con la seguente espressione:

The harmonic order at which the capacitor bank - network parallel resonates, can be calculated with the following formula:

$$h_o = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}} = \sqrt{\frac{16,7}{0,4}} = 6,46$$

PARAMETRO GH

SH = Potenza totale dei carichi non lineari nell'impianto (UPS, inverter, raddrizzatori, ecc.)  
200 kVA  
Il grado di inquinamento armonico in percentuale presente in rete può essere calcolato con la seguente formula semplificata

GH PARAMETER

SH = Total power of non linear loads of the plant (UPS, inverters, rectifiers, etc.)  
200kVA  
Percentage of harmonic pollution degree in the network can be calculated with the following simplified formula

$$GH = \frac{SH}{ST} = \frac{200}{1000} = 0.20 \cdot 10\% = 20\%$$

PARAMETRO THDIn

Kh = Fattore di interferenza armonica così determinato:

kh = harmonic interference factor as stated here below:

Kh per carichi distortenti da SCR (convertitori AC/DC, ecc)

41

kh for distorting loads from SCR (AC/DC converters, etc.)

Kh per carichi distortenti da convertitori esafase (UPS, Inverter, ecc)

36

kh for distorting loads from six-pulse converters (UPS, inverters, etc.)

Kh per carichi distortenti da convertitori dodicifase (VFD, ecc)

14

kh for distorting loads from twelve-pulse converters (VDF, etc.)

$$THDIn = GH * Kh = 0.20 * 36 = 7.2\%$$

Con questo parametro si indica la distorsione armonica totale della corrente dell'impianto misurabile con apposita strumentazione o ricavabile utilizzando la formula sopra esposta

With this parameter the total harmonic distortion of the current of the plant is indicated; it can be measured through suitable devices or making a calculation following above mentioned formula.

	GH < 2 %	2 % ≤ GH < 7 %	7 % ≤ GH < 12 %	12 % ≤ GH < 20 %	20 % ≤ GH < 25 %	GH ≥ 25 %
THDI n ≤ 5 %	400 V	400 V	415 V	440 V	480 V	Detuning Filter
5 % < THDI n ≤ 10 %	415 V	415 V	440 V	480 V	525 V	Detuning Filter
10 % < THDI n ≤ 15 %	440 V	440 V	480 V	525 V	Detuning Filter	Detuning Filter
15 % < THDI n ≤ 20 %	440 V	480 V	525 V	Detuning Filter	Detuning Filter	Detuning Filter
20 % < THDI n ≤ 25 %	480 V	525 V	Detuning Filter	Detuning Filter	Detuning Filter	Detuning Filter
THDI n ≥ 25 %	525 V	Detuning Filter	Detuning Filter	Detuning Filter	Detuning Filter	Detuning Filter