



## Generalità

Una buona utilizzazione dell'energia elettrica non si raggiunge solo col ridurre od evitare gli sprechi (curare l'isolamento degli impianti, impiegare utilizzatori adatti, etc), ma anche con un razionale utilizzo dell'energia stessa. Un'incidenza notevole, sul costo del kWh è derivante in particolare da un basso fattore di potenza indicato con  $\cos\varphi$ .

### Cause di un basso fattore di potenza

Le cause di un basso fattore di potenza sono esclusivamente da ricercarsi nella natura del carico. Se gli utilizzatori di un qualsivoglia impianto elettrico sono costituiti unicamente da lampade ad incandescenza o resistenze o altri apparecchi che non contengono circuiti magnetici il fattore di potenza sarà sempre uguale ad 1. Ma se, come nella stragrande maggioranza dei casi, sono presenti utilizzatori che richiedono per il proprio funzionamento la presenza di campi magnetici, il fattore di potenza sarà sicuramente inferiore all'unità. In questi casi, per riportare il fattore di potenza il più possibile vicino all'unità, il metodo più economico e semplice che oggi viene utilizzato è il rifasamento dell'impianto. Dato il carattere pratico di queste pagine non riteniamo opportuno descrivere altri tipi di rifasamento (per esempio con macchine rotanti) se non quello effettuato attraverso l'utilizzo di condensatori che risulta essere di gran lunga il più usato.

### Perché installare un sistema di rifasamento

Il rifasamento degli impianti elettrici è l'operazione principale per ottimizzare l'utilizzo dell'energia elettrica. Tale operazione consiste nel riportare il valore del fattore di potenza ad un valore prossimo all'unità. Ad esempio, portare il fattore di potenza medio di funzionamento della rete da 0.7 a 0.9 significa:

- Ridurre i costi di circa il 40% per le perdite ohmiche nella rete;
- Aumentare del 30% la potenzialità degli impianti di produzione e distribuzione.

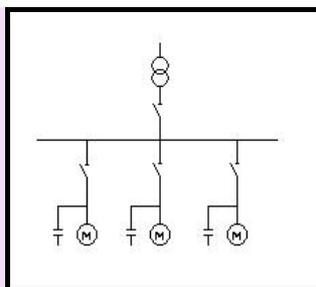
E' infatti noto che gli utilizzatori di energia elettrica funzionanti in corrente alternata (ad eccezione dei carichi puramente resistivi) assorbono dalla rete oltre l'energia attiva anche un'energia reattiva induttiva, la quale serve a generare i campi magnetici necessari al funzionamento delle macchine elettriche (motori asincroni, trasformatori, ecc.). Il fattore di potenza

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

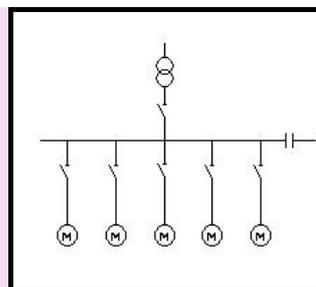
rapporto tra la potenza attiva ( P ) e la potenza apparente ( A ) (somma vettoriale di potenza attiva P\* e reattiva Q\*) è quindi un indice della qualità di un impianto, poiché tanto più basso è il fattore di potenza tanto più elevata è la componente reattiva induttiva in rapporto a quella attiva. Installando dei condensatori di potenza o dei sistemi automatici di rifasamento, si può produrre, dove è necessario, l'energia reattiva capacitiva necessaria a compensare quella induttiva. I condensatori, infatti, assorbono una corrente sfasata di 180° rispetto a quella reattiva induttiva; le due correnti si sommano algebricamente, per cui, a monte del punto di installazione del condensatore, circolerà una corrente reattiva che sarà data dalla differenza fra quella induttiva e quella capacitiva.

### Come effettuare il rifasamento

Per effettuare il rifasamento si possono seguire diversi metodi. La soluzione ideale per compensare la corrente reattiva sarebbe quella di rifasare ogni utilizzatore singolarmente, ovvero installare un condensatore di idonea capacità direttamente in derivazione ai suoi morsetti (*Rifasamento distribuito*). Questa soluzione consente di ottenere il massimo risparmio nella sezione delle condutture e di utilizzare al meglio la potenza disponibile nell'impianto; ma comporterebbe l'installazione di tanti condensatori di piccola potenza quanti sono gli utilizzatori da rifasare. Pertanto non è sicuramente né la più semplice né la più economica da realizzare; per i costi legati all'installazione, per i problemi derivanti dal fatto di dover rispettare certi gradi di protezione nell'ambiente di lavoro e per problemi sia d'ingombro che di reperibilità legati ai condensatori (non sempre le potenze dei condensatori disponibili sul mercato coincidono con le esatte potenze necessarie per rifasare i singoli utilizzatori). Questa soluzione è proponibile solo nei grandi impianti o dove vi siano carichi di grande potenza. Un'ottima soluzione di compromesso è rappresentata dal *refasamento per gruppi* di utilizzatori che consiste nell'installare i condensatori direttamente sui morsetti di quegli utilizzatori più frequentemente in servizio e/o con potenze ragguardevoli per poi rifasare i rimanenti carichi di quella zona con piccoli impianti automatici. Questa soluzione non è tuttavia sempre attuabile perché direttamente legata alla tipologia dell'impianto, in modo particolare aziende di ridotte dimensioni (artigianato, terziario, etc.) mal si prestano a questo tipo di soluzione. La soluzione più semplice ed economica consiste dunque nell'installare una batteria automatica sulle barre del quadro di distribuzione e nel contempo, se necessario, inserendo dei banchi di condensatori fissi per il rifasamento del trasformatore, dei motori asincroni e di eventuali carichi che assorbono una notevole potenza reattiva. Grazie all'automatismo della batteria è poi possibile inserire la capacità necessaria alle esigenze del carico nel preciso momento in cui necessita (*Rifasamento centralizzato*). Non possiamo però tralasciare di far osservare che questa soluzione ha il grave inconveniente di non alleggerire della corrente reattiva tutte le condutture a valle del punto dove è derivata. In pratica il rifasamento così effettuato è vantaggioso unicamente agli effetti economici, non a quelli di miglioramento tecnico dell'impianto. E' tuttavia la soluzione più utilizzata ed economica senz'altro ideale per aziende di piccole e medie dimensioni.



Rifasamento distribuito



Rifasamento centralizzato



### Dimensionamento del sistema di rifasamento

Il calcolo della batteria di condensatori da installare in un impianto è relativamente semplice: noti il  $\cos\varphi$  dell'impianto privo di rifasamento (nelle fatture delle società che erogano energia il dato è quasi sempre presente) la potenza necessaria dell'impianto (espressa in KW) ed il  $\cos\varphi$  che si vuole ottenere (normalmente si calcola 0,95 induttivo), si ricava la potenza reattiva necessaria al raggiungimento del fattore di potenza voluto.

$P$  = potenza attiva dell'impianto

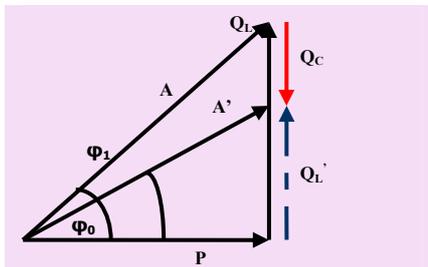
$\cos\varphi_0$  =  $\cos\varphi$  dell'impianto senza rifasamento

$\cos\varphi_1$  =  $\cos\varphi$  a cui si vuole portare l'impianto

$Q_c$  = potenza reattiva del sistema di rifasamento da installare

$k$  = dati  $\cos\varphi_0$  e  $\cos\varphi_1$  si ricava dalla tabella seguente

$$Q_c = P * (\tan\varphi_0 - \tan\varphi_1) = P * k$$



$Q_L, Q_L'$  = potenza reattiva induttiva prima e dopo l'installazione della batteria di condensatori  
 $A, A'$  = potenza apparente prima e dopo il rifasamento

Equivalentemente, noti :

- Il consumo di energia attiva ( kWh )  $E_A$
- Il numero di ore di lavoro  $t$

$$P = \frac{E_A}{t}$$

Calcolo dei KW dell'impianto

- Il consumo di energia reattiva ( kVar )  $E_R$

$$\cos\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{E_R}{E_A}\right)^2 + 1}}$$

Calcolo del  $\cos\varphi$  dell'impianto

- Il coefficiente  $k$  (vedi pagina successiva)
- È possibile calcolare  $Q_c$  nel modo indicato:

$$Q_c = P * k$$

Calcolo della potenza del rifasamento

I consumi di energia attiva ( kWh ), di energia reattiva ( kVar ) ed i giorni, da cui si dedurranno le ore, sono sempre indicati nelle fatture delle società eroganti il servizio

### Esempi :

#### CONOSCENDO IL $\cos\varphi$ DELL'IMPIANTO

Consumo di energia attiva kWh (riscontrabile in fattura)	<b>240.000</b>	$P = \frac{E_A}{t}$	$KW = \frac{240000}{240} = 100$	Calcolo dei KW dell'impianto
Numero dei giorni: 30 - Tale valore dovrà essere moltiplicato per le ore di lavoro che presumiamo 8 per cui avremo $30 \times 8 = 240$ h	<b>240</b>			
$\cos\varphi_0$ dell'impianto = <b>0,76</b>	<b>0,526</b>	$Q_c = P * k$	$Q_c = 100 * 0,526 = 52,6$ kvar	Calcolo della potenza del rifasamento
Coefficiente $k$ (vedi tabella pagina successiva) = <b>0,526</b> intersezione della riga $\cos\varphi_0$ al valore 0,76, con la colonna $\cos\varphi_1$ al valore 0,95				

#### CONOSCENDO I CONSUMI DI

#### ENERGIA ATTIVA E REATTIVA DELL'IMPIANTO

Consumo di energia attiva kWh (riscontrabile in fattura)	<b>240.000</b>	$P = \frac{E_A}{t}$	$KW = \frac{240000}{240} = 100$	Calcolo dei KW dell'impianto
Numero dei giorni: 30 - Tale valore dovrà essere moltiplicato per le ore di lavoro che presumiamo 8 per cui avremo $30 \times 8 = 240$ h	<b>240</b>			
Consumo di energia reattiva kvarh (riscontrabile in fattura)	<b>203000</b>	$\cos\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{E_R}{E_A}\right)^2 + 1}}$	$\cos\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{203000}{240000}\right)^2 + 1}} = 0,76$	Calcolo $\cos\varphi$ dell'impianto
$\cos\varphi_0$ dell'impianto	<b>0,76</b>			
$\cos\varphi_0$ ( dell'impianto calcolato ) = <b>0,76</b>	<b>0,526</b>	$Q_c = P * k$	$Q_c = 100 * 0,526 = 52,6$ kvar	Calcolo della potenza del rifasamento
Coefficiente $k$ (vedi tabella pagina successiva) = <b>0,526</b> intersezione della riga $\cos\varphi_0$ al valore 0,76, con la colonna $\cos\varphi_1$ al valore 0,95				



Coefficiente k per cui vanno moltiplicati i kW relativi alla potenza attiva consumata per ottenere i kVAr necessari per il rifasamento (cosφ<sub>0</sub> è il fattore di potenza iniziale, cosφ<sub>1</sub> è il fattore di potenza ottenibile con il rifasamento). Valore consigliato cosφ finale = 0.95 .

Valori iniziali		Coefficiente k															
		Cosφ* desiderato															
tanφ	cosφ	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
1.93	0.46	1.311	1.337	1.364	1.391	1.418	1.446	1.475	1.504	1.535	1.567	1.602	1.639	1.680	1.727	1.788	1.930
1.88	0.47	1.258	1.285	1.311	1.338	1.366	1.394	1.422	1.452	1.483	1.515	1.549	1.586	1.627	1.675	1.736	1.878
1.83	0.48	1.208	1.234	1.261	1.288	1.315	1.343	1.372	1.402	1.432	1.465	1.499	1.536	1.577	1.625	1.685	1.828
1.78	0.49	1.159	1.186	1.212	1.239	1.267	1.295	1.323	1.353	1.384	1.416	1.450	1.487	1.528	1.576	1.637	1.779
1.73	0.50	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.590	1.732
1.69	0.51	1.067	1.093	1.120	1.147	1.174	1.202	1.231	1.261	1.291	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
1.64	0.52	1.023	1.049	1.076	1.103	1.130	1.158	1.187	1.217	1.247	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
1.60	0.53	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.458	1.600
1.56	0.54	0.939	0.965	0.992	1.019	1.046	1.074	1.103	1.133	1.163	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
1.52	0.55	0.899	0.925	0.952	0.979	1.006	1.034	1.063	1.092	1.123	1.156	1.190	1.227	1.268	1.315	1.376	1.518
1.48	0.56	0.860	0.886	0.913	0.940	0.967	0.995	1.024	1.053	1.084	1.116	1.151	1.188	1.229	1.276	1.337	1.479
1.44	0.57	0.822	0.848	0.875	0.902	0.929	0.957	0.986	1.015	1.046	1.079	1.113	1.150	1.191	1.238	1.299	1.441
1.40	0.58	0.785	0.811	0.838	0.865	0.892	0.920	0.949	0.979	1.009	1.042	1.076	1.113	1.154	1.201	1.262	1.405
1.37	0.59	0.749	0.775	0.802	0.829	0.856	0.884	0.913	0.942	0.973	1.006	1.040	1.077	1.118	1.165	1.226	1.368
1.33	0.60	0.714	0.740	0.767	0.794	0.821	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
1.30	0.61	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299
1.27	0.62	0.646	0.672	0.699	0.726	0.753	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015	1.062	1.123	1.265
1.23	0.63	0.613	0.639	0.666	0.693	0.720	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
1.20	0.64	0.581	0.607	0.634	0.661	0.688	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
1.17	0.65	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
1.14	0.66	0.519	0.545	0.572	0.599	0.626	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
1.11	0.67	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
1.08	0.68	0.459	0.485	0.512	0.539	0.566	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
1.05	0.69	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
1.02	0.70	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020
0.99	0.71	0.372	0.398	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.96	0.72	0.344	0.370	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.94	0.73	0.316	0.343	0.370	0.396	0.424	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.91	0.74	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.88	0.75	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.86	0.76	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.83	0.77	0.209	0.235	0.262	0.289	0.316	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.80	0.78	0.183	0.209	0.236	0.263	0.290	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802
0.78	0.79	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
0.75	0.80	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750
0.72	0.81	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.70	0.82	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698
0.67	0.83	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672
0.65	0.84	0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.62	0.85		0.026	0.053	0.080	0.107	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.59	0.86			0.027	0.054	0.081	0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593
0.57	0.87				0.027	0.054	0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.54	0.88					0.027	0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.51	0.89						0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512
0.48	0.90							0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484

**Rifasamento dei trasformatori MT/BT**

E' sempre consigliabile rifasare i trasformatori MT/BT con un *rifasamento fisso*, in quanto assorbono potenza reattiva anche quando funzionano a vuoto (ad es. durante la notte), che dovrà essere compensata. Il calcolo esatto della potenza capacitiva necessaria può essere realizzato utilizzando la seguente formula:

$$Q = I_0\% * ( P_n / 100 )$$

I<sub>0</sub> = corrente a vuoto (fornita dal costruttore dei trasformatori)  
P<sub>n</sub> = potenza nominale del trasformatore.

In alternativa non disponendo dei dati richiesti può essere utilizzata la tabella di seguito indicata, differenziata per tipologia di trasformatore con caratteristica di perdita NORMALI.

Potenza (kVA)	Trasformatori in olio		Trasformatori in resina	
	Q <sub>r</sub> a vuoto (kVAr)	Q <sub>r</sub> a carico (kVAr)	Q <sub>r</sub> a vuoto (kVAr)	Q <sub>r</sub> a carico (kVAr)
100	2.5	7.5	3.0	8.5
160	4.0	10.5	3.6	12.5
200	5.5	12.5	4.5	16.5
250	6.5	15.0	5.1	20.5
315	8.5	19.2	7.0	25.0
400	9.5	22.5	8.5	31.0
500	10.5	31.0	10.5	38.5
630	12.5	38.0	9.0	47.5

Potenza (kVA)	Trasformatori in olio		Trasformatori in resina	
	Q <sub>r</sub> a vuoto (kVAr)	Q <sub>r</sub> a carico (kVAr)	Q <sub>r</sub> a vuoto (kVAr)	Q <sub>r</sub> a carico (kVAr)
800	20.5	63.0	15.5	60.2
1000	22.0	78.1	12.5	75.0
1250	25.5	95.0	15.5	92.2
1600	27.5	120.0	20.2	118.5
2000	31.5	150.5	23.5	145.0
2500	33.5	185.5	28.5	175.0
3000	35.2	210.0	31.2	186.0



### Rifasamento dei motore trifase: 230/400 V

Uno dei carichi che si incontra più frequentemente è il motore asincrono trifase. La tabella seguente riporta la potenza in kvar necessaria nel caso di motore a gabbia. Per motori con rotore avvolto si consiglia una maggiorazione del 5%.

La tabella fornisce, a titolo indicativo, i valori della potenza delle batterie di condensatori da installare in funzione della potenza dei motori.

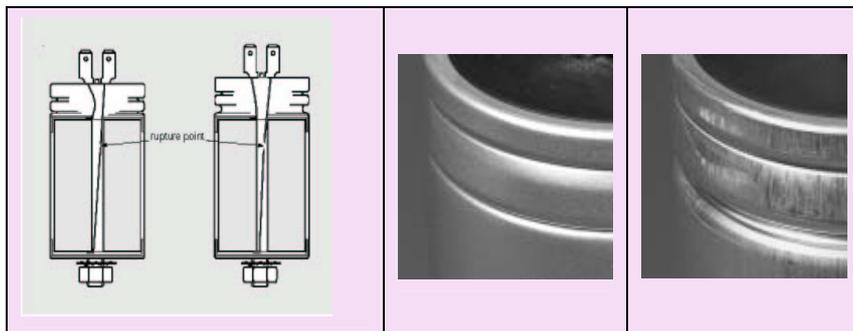
Potenza nominale		Velocità di rotazione (g/min.)			
(kW)	(Cv)	3000	1500	1000	750
22	30	6	8	9	10
30	40	7.5	10	11	12.5
37	50	15	19	19	22
75	100	17	22	25	28
110	150	35	42	45	50
147	200	35	41	44	52
184	250	40	50	55	60
250	340	52	57	63	71
280	385	60	65	70	80
355	482	70	85	95	110
400	544	85	90	100	116
450	610	95	100	115	125

### CONDENSATORI DI RIFASAMENTO

E' opportuno conoscere le caratteristiche e le grandezze di seguito definite:

#### ■ Protezione e sicurezza

Tutti i condensatori devono essere costruiti con materiali conformemente alle norme EN 60831-1/2. Inoltre, devono essere corredati del dispositivo di sicurezza a sovrappressione, il quale ha la funzione di interrompere il corto circuito quando, alla fine della sua vita, il condensatore non può più autorigenerarsi. Tale dispositivo sfrutta la pressione che si sviluppa internamente con il deterioramento del film (causato dal surriscaldamento dovuto al corto circuito) per interrompere i collegamenti del terminale.



■ **Potenza nominale (Qn):** E' la potenza reattiva erogata dal condensatore quando ai suoi terminali vengono applicate la tensione e la frequenza nominale.

■ **Capacità nominale (Cn):** E' il valore che permette di erogare la potenza nominale, applicando ai terminali del condensatore la tensione e la frequenza nominale.

■ **Corrente nominale (In):** E' il valore efficace della corrente alternata che circola nel condensatore quando (alla capacità nominale) ai suoi terminali sono applicate la tensione e la frequenza nominale.

#### ■ Massima corrente

E' la massima corrente a cui i condensatori possono funzionare permanentemente (secondo quanto prescritto dalle norme EN 60831-1/2), e corrisponde ad un valore efficace pari ad 1,3 volte il valore di corrente alla tensione e frequenza nominali (escluso i transitori). Tuttavia in considerazione di più fattori (tolleranza di capacità, l'effetto combinato di armoniche) la massima corrente può arrivare a 1,5 In. A tale valore dovranno essere dimensionati: la linea di alimentazione, i dispositivi di comando e di protezione.

#### ■ Massima corrente di picco all'inserzione

Quando i condensatori vengono inseriti nel circuito e specialmente quando una batteria di condensatori viene inserita in parallelo ad altre già energizzate si verificano sovracorrenti transitorie di ampiezza e frequenza elevate. Il valore di picco delle sovracorrenti causate da operazioni di manovra deve essere limitato al valore massimo di 200 In (valore di cresta del primo ciclo). E' quindi necessario ridurre le sovracorrenti transitorie a valori ammissibili sia per il condensatore che per il contattore utilizzato inserendo i condensatori attraverso opportuni dispositivi (resistenze o induttanze).



**Tensione nominale (Un):** E' il valore massimo efficace della tensione alternata sinusoidale per la quale il condensatore è stato progettato ed alla quale sono riferite le tensioni di prova. I condensatori sono realizzati in conformità a quanto prescritto dalle norme EN 60831-1/2 che ne regolamentano la costruzione, le prove, l'installazione e l'impiego. La tensione di esercizio per garantire condizioni di sicurezza non deve superare quella nominale, sono ammesse, in condizioni particolari sovratensioni nei limiti indicati nella tabella seguente.

Sovratensione ammessa	Durata massima
Un	Continua
1,1 Un	8h ogni 24h
1,15 Un	30min. ogni 24h
1,20 Un	5 min. ( max. 200 volte in tutta la vita )
1,30 Un	1 min. ( max. 200 volte in tutta la vita )

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori massimi delle sovratensioni applicabili ai condensatori *TELEGROUP* :

Tensione nominale	Tensione permanente	nelle 24 ore		in tutta la vita ( max. 200 volte )	
		per 8 ore	30 minuti	5 minuti	1 minuto
415	415	457	477	498	540
440	440	484	506	528	572
465	465	512	535	558	605
525	525	578	604	630	683

Di solito quando sono presenti condizioni di sovraccarico durante il funzionamento, ad esempio in presenza di carico armonico o di tensione normalmente maggiori della nominale, vengono utilizzati condensatori sovradimensionati in tensione, ovvero la cui tensione nominale sia maggiore di quella di esercizio. In questo caso la potenza resa alla tensione di esercizio risulterà inferiore rispetto a quella di nominale. Pertanto è opportuno quando si effettua il dimensionamento valutare sempre la riduzione subita dalla potenza resa sulla base del rapporto fra tensione di esercizio e tensione nominale dei condensatori.

$Q_{resa} = Q_n * \left( \frac{U_e}{U_n} \right)^2$ <p>Ue = Tensione di esercizio Un = Tensione del condensatore Qn = Potenza del condensatore a Un Qr = Potenza resa a Ue.</p>	<p>A fianco è riportato, a titolo di esempio, la potenza resa da un condensatore da 10 kvar installato su rete a 400 V avente tensione nominale di: 415, 465 e 525 V.</p>	Ue ( V )	400		
		Qn ( kVAr )	10		
		Un ( V )	415	465	525
		Qr ( kVAr )	9,3	7,4	5,8

#### ■ Tensione residua

All'atto della disinserzione dei condensatori dalla rete, è il valore di tensione che rimane, ai capi del medesimo. Per questo motivo tutti i condensatori devono essere dotati di dispositivi di scarica, atti a ridurre la tensione residua ad un valore di 75 V dopo circa 3 minuti. E' importante inoltre che i regolatori di rifasamento, abbiano tempi di intervento adeguati, poiché non è possibile energizzare i condensatori se ai loro capi è presente una tensione residua maggiore del 10%.

#### ■ Temperatura

La temperatura di esercizio è uno dei parametri fondamentali per il buon funzionamento delle apparecchiature di rifasamento, che influenza in modo particolare la vita dei condensatori. L'apparecchiatura di rifasamento deve essere ubicata in locali che permettano un facile scambio d'aria fra interno ed esterno per facilitare il raffreddamento, evitando che la stessa sia vicina ad altre fonti di calore. E' quindi opportuno che siano previste delle alettature di ventilazione nella carpenteria che consentano un facile scambio di aria tra interno ed esterno. Quando invece il grado di protezione dell'armadio non consenta questo scambio, è necessario prevedere degli spazi interni molto più ampi e provvedere al raffreddamento con opportuni ventilatori. In linea di massima la temperatura dell'aria di raffreddamento (E' la temperatura dell'aria di raffreddamento misurata nel punto più caldo del banco di condensatori, alle condizioni di regime, a metà fra due condensatori o sulla superficie di uno di essi) all'interno della carpenteria non deve differire di più di 5°C rispetto a quella dell'aria esterna al quadro.



■ **Categoria di temperatura dell'aria ambiente:**

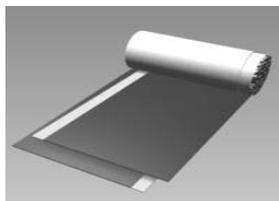
E' la gamma di temperatura dell'aria di raffreddamento, nell'ambito della quale il condensatore è progettato per funzionare. Secondo la norma sono previste 4 categorie rappresentate da un numero ed una lettera o da due numeri come nella tabella seguente:

Categoria		Temperatura dell'aria ambiente		
		Max	Valore medio più alto in un periodo di:	
			24 h	1 anno
-25/A	-25 + 40°C	40	30	20
-25/B	-25 + 45°C	45	35	25
-25/C	-25 + 50°C	50	40	30
-25/D	-25 + 55°C	55	45	35

Il primo numero rappresenta la temperatura minima dell'aria di raffreddamento alla quale il condensatore può essere energizzato. La lettera o il secondo numero rappresentano il limite superiore della gamma di temperatura e precisamente il valore max indicato in tabella.

I condensatori **TELEGROUP** si dividono nelle seguenti tipologie :

TIPO		sovracorrente max.	Tensioni standard
Standard Life	Condensatori monofase isolati in resina	1,3 In	230 - 415 - 465 - 525
Long Life	Condensatori monofase isolati in resina	1.5 In	400 - 415 - 440 - 525 - 690
	Condensatori monofase isolati in resina	3 In	400 - 440 - 525 - 690
	Condensatori trifase isolati in gas	2 In	400 - 415 - 440 - 525 - 690



I condensatori sono realizzati in polipropilene metallizzato. Gli elementi capacitivi sono costruiti avvolgendo due film di polipropilene sui quali viene depositato, su un lato, per evaporazione e sottovuoto, un sottile strato di metallo (zinc - alluminio). Su ambedue l'estremità dell'avvolgimento viene applicato uno strato di zinco spruzzato. Il cilindro così ottenuto è alloggiato nella cassa dove si introduce una resina poliuretana viscosa che fornisce all'avvolgimento un'ottima stabilità.



**3 In**

Serie di condensatori di grande qualità ove siano richieste condizioni di funzionamento molto gravose, con caratteristiche di durata e di affidabilità molto superiori a quelli dei normali condensatori in polipropilene metallizzato. La particolare costruzione delle unità consente la totale eliminazione di aria fra le armature, responsabile dell'invecchiamento del condensatore, assicurando lunga vita al dielettrico e di conseguenza al condensatore. Le unità sono inserite in cilindri di alluminio completi di dispositivo di sicurezza a sovrappressione. *La serie 3 In è particolarmente adatta per funzionamento in presenza di armoniche.*

**Isolamento in gas**



A differenza degli altri condensatori, dove l'isolamento è ottenuto con oli biodegradabili o con resine vegetali, nei condensatori della serie **GC** l'isolamento è ottenuto con riempimento in gas inerte (Azoto). I condensatori **GC** sono condensatori a secco (ecologici), estremamente robusti (nonostante il peso ridotto) e particolarmente adatti per applicazioni di elevata potenza.

E' importante, inoltre, sottolineare che questi condensatori, grazie alle caratteristiche ignifughe della realizzazione a secco, a differenza di quelli impregnati in olio o in resina sintetica, non alimentano la combustione in caso di incendio; ciò costituisce un ulteriore notevole vantaggio per l'utente.

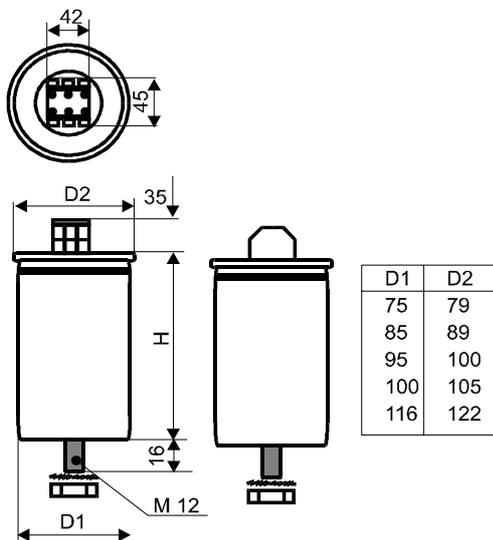


Molteplici ed importanti sono i vantaggi offerti, i quali sono riassunti nella tabella seguente:

<b>Tecnologia a secco autorigenerante</b>	Funzionamento per lunghi periodi senza variazioni significative di capacità, classe di temperatura elevata: -25/D ( $T_{u,max} = 55^{\circ}C$ ), peso limitato e conseguente possibilità di montaggio in qualsiasi posizione (anche orizzontale)
<b>Processo ottimizzato</b>	Per ottenere una lunga durata $t_{BD} > 100000$ ore
<b>Estrema affidabilità e notevole resistenza ai picchi di corrente</b>	Correnti di inserzione $> 200 I_n$ ; sono ammessi il collegamento in parallelo dei condensatori e l'impiego di contattori standard
<b>Perdite ridotte grazie alla speciale metallizzazione Zn / Al</b>	Classe di temperatura -25/D secondo IEC831-1 e potenze nominali personalizzate
<b>Sistema di sicurezza a triplice ridondanza</b>	Costruzione a secco – autorigenerazione – fusibile a strappo per sovrappressione
<b>Assenza di sostanze tossiche</b>	Smaltimento senza particolari problemi, ossia impiego ecologico

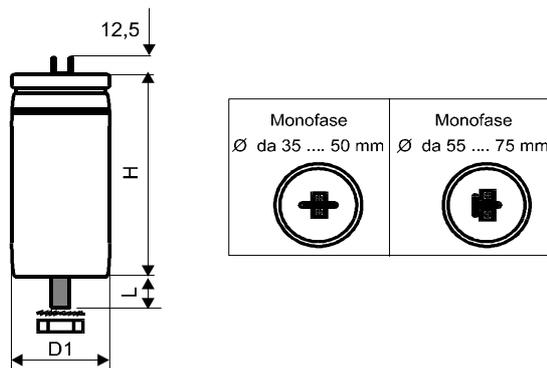
Caratteristiche tecniche	1,3 In resina	1.5 In resina (long life)	2 In gas (long life)	3 In resina (long life)
Frequenza nominale	50Hz ( 60 Hz a richiesta )			
Tolleranza sulla capacità	- 5 + 15 %			
Perdite dielettriche	< 0,4 W / kvar		< 0,2 W / kvar	
Classe di temperatura ambiente	- 25°C / D			
Temperatura massima	45 ° C		65 ° C	
Tensione nominale	230 415 465 525 Vac	400 415 440 525 690 Vac	400 440 525 690 Vac	400 440 525 690 Vac
Sovracorrente massima	1,3 In	1.5 In	2 In	3 In
Tensione di prova fra terminali	2 Un / 2 sec.			
Tensione di prova fra terminali e custodia	3000 Vac / 10 sec.			
Grado di protezione	IP 00	IP 00	IP 20	IP00
Vita attesa	$\geq 40000$ h (25 / D) $\geq 60000$ h (25 / C)	$\geq 110000$ h (25 / D) $\geq 130000$ h (25 / C)	$\geq 110000$ h (25 / D) $\geq 130000$ h (25 / C)	$\geq 130000$ h (25 / D) $\geq 150000$ h (25 / C)
Resistenze di scarica	comprese	comprese	a richiesta	comprese
Installazione	interna			
Servizio	continuo			
Isolamento	Resina	Resina	Gas	Resina
Esecuzione	monofase	monofase	trifase	monofase
Norme di riferimento	EN 60831-1 – EN 60831-2 / UL Standard No. 810			

### Condensatori trifase isolati in gas



**Cilindro :** alluminio con codolo filettato  
**Terminali :** morsetti 2 x 25 mm<sup>2</sup> per fase  
**Grado di protezione :** IP 20

### Condensatori monofase isolati in resina



**Cilindro :** alluminio con codolo filettato  
**Terminali :** faston doppio 6,3 x 0,8  
**Grado di protezione :** IP 00

Tipo di codolo :	D1	Vite	L
35 ..... 45mm	M8	10	
50 ..... 75mm	M12	16	



### L'effetto delle armoniche negli impianti elettrici

Le armoniche sono fenomeni nelle reti elettriche che determinano sovraccarichi sui condensatori e che vengono amplificate dai condensatori stessi con gravi danni sull'apparecchiatura di rifasamento e con ripercussioni nocive soprattutto su controlli di tipo elettronico. Con l'utilizzo sempre più frequente di semiconduttori il problema della generazione di armoniche diventa sempre più importante e più rilevante nel dimensionamento dell'impianto di rifasamento.

Si definisce **armonica** una delle componenti ottenute dalla scomposizione nella serie di Fourier di un'onda periodica, la quale può essere sempre scomposta in una serie di funzioni sinusoidali. Si definisce **ordine di un'armonica** il rapporto tra la frequenza di un'armonica e la frequenza fondamentale dell'onda periodica considerata. Nel caso di un'onda con andamento perfettamente sinusoidale (come dovrebbe essere la tensione fornita dagli enti distributori), risulta presente solo l'armonica fondamentale di ordine 1, che in Europa ha frequenza pari a 50 Hz. La somma della fondamentale e delle armoniche di ordine superiore è quindi un'onda periodica, ma non sinusoidale (forma d'onda distorta).

Applicando una tensione sinusoidale ad un carico, la corrente circolante risulta essere sinusoidale solo in presenza di carichi con caratteristiche "lineari". Molteplici, invece, sono gli utilizzatori con carichi "non lineari" che concorrono alla creazione di elevate distorsioni nella forma d'onda della corrente circolante (convertitori, azionamenti DC, raddrizzatori, inverter, carica batterie, celle elettrolitiche, saldatrici, alimentatori tipo switching, ecc.) e che trovano largo uso nelle industrie (laminatoi, trafile, lavorazione della plastica, cartiere, ecc.) dove in generale sono indispensabili movimentazioni di tipo controllato. In questi casi l'andamento della corrente non sarà perfettamente sinusoidale, e una scomposizione secondo Fourier dell'onda presenterebbe un numero di armoniche tanto più elevato (in numero e ampiezza) quanto più è distorta la forma d'onda della corrente.

Una corrente non sinusoidale provoca in rete cadute di tensione distorte, così che anche la tensione in un punto della rete diventa distorta. Infatti, la tensione di linea è data dalla tensione fornita dal trasformatore MT/BT, meno la caduta di tensione distorta. La distorsione della tensione cresce dunque all'aumentare della distanza dal trasformatore e con l'impedenza di linea. Inoltre, una tensione distorta provoca la presenza di armoniche anche su carichi lineari. In generale, la distorsione in un punto della rete elettrica sarà tanto minore quanto maggiore è la corrente (potenza) di cto-cto in quel punto.

Il parametro utilizzato per determinare il livello di distorsione armonica presente in una rete elettrica è il THDr% (Total Harmonic Distorsion), definito come:

$\text{THD}\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1}$	Dove : $I_1$ è il valore efficace della fondamentale $I_k$ sono i valori efficaci delle armoniche di ordine k.
---	--

La presenza di armoniche di corrente nell'impianto è pertanto indice di una distorsione (rispetto alla sinusoidale) della forma d'onda della corrente stessa. Ciò comporta l'aumento delle perdite per effetto Joule ed effetto pelle nei cavi, l'aumento delle perdite per isteresi e per correnti parassite nel ferro dei trasformatori e dei motori. Inoltre, come già sottolineato, anche la tensione nella rete potrebbe essere soggetta a distorsioni a causa delle impedenze equivalenti dei cavi. Con l'inserzione di condensatori di rifasamento in rete, si crea una condizione di risonanza parallelo tra: la capacità equivalente dei condensatori e l'induttanza equivalente dell'impianto (che solitamente si può approssimare con l'induttanza equivalente del trasformatore) in corrispondenza della *frequenza di risonanza*  $f_r$ .

$f_r = f_1 * \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$	Dove : $S_{cc}$ la potenza di corto circuito dell'impianto, espressa in kVA, $Q$ la potenza reattiva installata espressa in kvar $f_1$ la frequenza della rete $f_r$ la frequenza di risonanza parallelo
---------------------------------------	--

La potenza di corto circuito  $S_{cc}$  dell'impianto (la quale è funzione dell'impedenza equivalente dell'impianto alla frequenza fondamentale) può essere approssimata dalla potenza di corto circuito del trasformatore MT/BT, che, indicata con  $S_{cct}$ , è data da:

$S_{cct} = \frac{A}{V_{cc} \%} * 100$	Dove : $A$ è la potenza nominale del trasformatore (espressa in kVA) $V_{cc}\%$ è la tensione di corto circuito % del trasformatore
---------------------------------------	---

Qualora un livello di armonica presente nell'impianto coincida con la *Frequenza di Risonanza*, si avrà, per effetto della risonanza parallelo, un forte aumento di corrente sui condensatori tale da pregiudicare il loro corretto funzionamento. In tutti questi casi, per consentire il normale funzionamento dei condensatori vengono poste in serie agli stessi opportune reattanze di sbarramento che formeranno un filtro caratterizzato da un valore di frequenza proprio, inferiore a quello delle armoniche presenti in rete, rifasando così l'impianto e scongiurando il pericolo di risonanze parallelo.



### Scelta del tipo di impianto di rifasamento

Per procedere quindi alla scelta della tipologia dell'apparecchiatura di rifasamento da installare (condensatori, rifasamento fisso o automatico) è sicuramente consigliabile quantificare, in KW, la potenza complessiva delle utenze che si suppone possa generare fenomeni di tipo armonico e compararla con la potenza dell'impianto, per stabilire la giusta apparecchiatura da installare.

La tabella sotto, esprime una indicazione del sistema di rifasamento che generalmente viene adottato nelle condizioni più frequenti: impianti elettrici con

- tensione di rete 400V – 50 Hz
- carichi distortenti con spettro composto da armoniche di 5°, 7°, 11° e 13° ordine.

Qualora non si conoscano i valori del THD in rete, questo può essere stimato facendo il rapporto tra la potenza apparente dei carichi distortenti ( $S_C$ ) e la potenza apparente totale dell'impianto ( $S_{NC}$ ) [Solitamente è data dalla somma di tutte le potenze dei carichi che sono alimentati dal trasformatore MT/BT], e moltiplicandolo per il coefficiente 85.

$THD_r \% = \frac{S_C}{S_{NC}} * 85$	<b>Esempio :</b>	$THD_r = \frac{125}{350} * 85 = 30,3\%$
	Potenza apparente carichi distortenti ( $S_C$ ) = 125 KVA Potenza apparente totale dell'impianto ( $S_{NC}$ ) = 350 KVA	

Nell' esempio sopra descritto si opererà per un rifasamento con condensatori standard ( 400 – 415 V )

THD <sub>R</sub> < 15% THD <sub>C</sub> < 40%	THD <sub>R</sub> < 20% THD <sub>C</sub> < 70%	THD <sub>R</sub> < 25% THD <sub>C</sub> < 80%	THD <sub>R</sub> ≥ 25%
Condensatori 415 / 450 V - ln 1,3	Condensatori 415 / 440 V - ln 1,5 / 2,0	Condensatori 415 / 450 V - ln 3	Condensatori ed apparecchiature con reattanze di filtro

$THD_r$  ( TOTAL HARMONIC DISTORSION <sub>r</sub> ) totale carico armonico massimo di **rete**.

$THD_c$  ( TOTAL HARMONIC DISTORSION <sub>c</sub> ) totale carico armonico massimo sui **condensatori**.

(Il parametro  $THD_c\%$  rappresenta il valore di distorsione armonica corrispondente ad una corrente efficace pari a 1,3 volte la corrente nominale dei condensatori).

Nella pratica quando si hanno carichi distortenti di potenza complessiva superiore al 20-25% della potenza apparente disponibile, è sempre auspicabile l'utilizzo di apparecchiature di rifasamento dotate di reattanze di blocco, per contenere e non amplificare le correnti armoniche presenti nell'impianto. **E' consigliabile inoltre verificare sempre** che non vi siano armoniche significative in prossimità della frequenza di risonanza parallelo tra la capacità equivalente dei condensatori e l'induttanza equivalente dell'impianto.

Tuttavia, anche nel caso in cui le armoniche presenti siano inferiori ai valori indicati in tabella, devono essere prese tutte le precauzioni per evitare risonanze ed è consigliabile usare condensatori a tensione più alta di quella d'esercizio, qualora si decida di rifasare facendo uso dei soli condensatori (senza le reattanze); in tal caso non sarà mai evitato l'incremento del contenuto armonico dovuto proprio all'energizzazione dei condensatori. Pertanto rifasare in presenza di armoniche senza usare nessun accorgimento è sempre sconsigliabile; è invece consigliabile una precisa misura preventiva per verificare la natura dell'impianto ed i reali contenuti armonici per poter scegliere il rifasamento più idoneo.

#### Esempio:

Supposti noti i dati dell'impianto: S = 800 kVA (potenza apparente del trasformatore MT/BT) V <sub>cc</sub> % = 8 (tensione di cto-cto % del trasformatore MT/BT) P = 450 kW (potenza attiva totale dei carichi alimentati dal trasformatore MT/BT) Cosφ <sub>0</sub> = 0.7 (fattore di potenza iniziale dell'impianto) S <sub>C</sub> = 300 kVA (potenza apparente dei carichi distortenti presenti nell'impianto) S <sub>NC</sub> = 650 kVA (potenza apparente totale dell'impianto).	Si calcola, innanzitutto, il valore della batteria di condensatori da installare: $Q_C = k * P = 0.692 * 450 = 310 \text{ kVAR}$
	La potenza di cto-cto S <sub>CC</sub> dell'impianto è data, come precedentemente detto, da quella del trasformatore MT/BT: $S_{CC} = \frac{S}{V_{cc}} \% * 100 = \frac{800}{8} * 100 = 10000 \text{ kVA}$
	La frequenza di risonanza sarà pari a $f_r = f_1 * \sqrt{\frac{S_{CC}}{Q}} = 50 * \sqrt{\frac{10000}{310}} \cong 284 \text{ Hz}$
Si vuole innalzare il fattore di potenza dell'impianto a 0.95.	Si calcola infine il THD <sub>r</sub> %: $THD_r \% = \frac{S_C}{S_{NC}} * 85 \cong 39.23\%$
Dai dati ottenuti si evince che è consigliabile dotare le batterie di condensatori di reattori di blocco (accordando la frequenza in modo che risulti sufficientemente al di sotto di quella di 5ª armonica).	