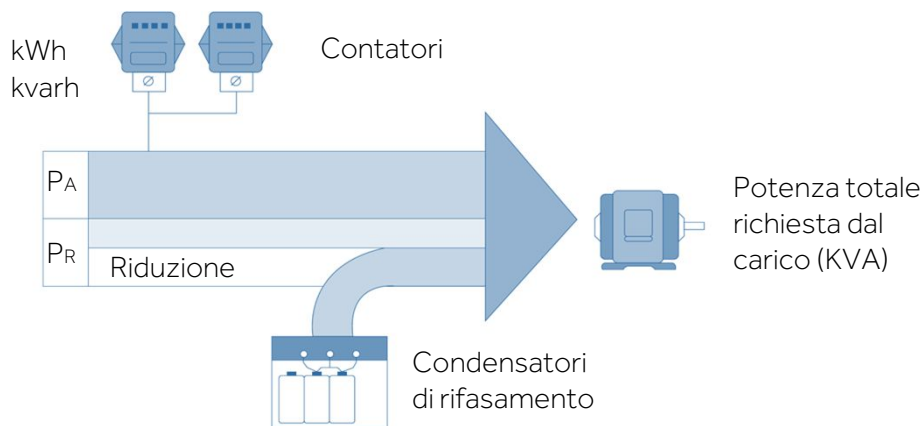


# Fattore di Potenza

Si consideri un circuito a corrente alternata, costituito da una sorgente di energia elettrica e da un carico: le forme d'onda della tensione e della corrente sono di tipo sinusoidale. Per il suo funzionamento, il carico consuma energia attiva (kWh), necessaria per svolgere il suo lavoro ed energia reattiva (kvarh) che non contribuisce allo svolgimento di alcun lavoro, ma causa un incremento dei consumi indesiderati.



La maggior parte dei carichi, negli odierni sistemi elettrici di distribuzione, risulta essere di tipo induttivo, necessitando di due tipi di potenza:

- la **Potenza Attiva ( $P_A$ )** che svolge il lavoro della macchina (es. meccanico, idraulico, ...) ed è misurata in kW (kilowatt);
- la **Potenza Reattiva ( $P_R$ )** che costantemente scorre verso il carico per poi tornare alla sorgente e si misura in kvar (kilovolt ampere reattivi).

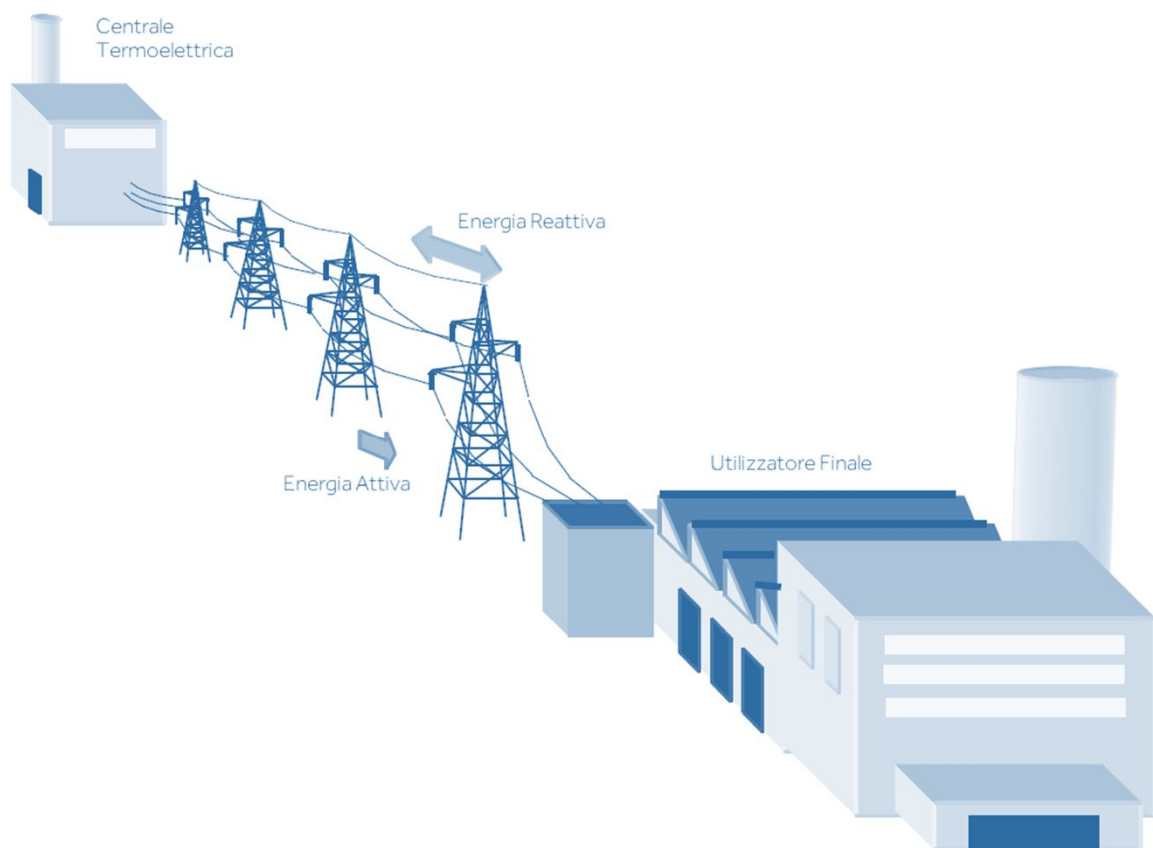
Potenza Attiva e Potenza Reattiva vanno a costituire la **Potenza Apparente** che si misura in kVA (kilovolt ampere), Il **Fattore di Potenza ( $\cos\varphi$ )** è semplicemente il rapporto tra Potenza Attiva e Potenza Apparente

$$\cos\varphi = \frac{kW}{kVA}$$

Una elevata Potenza Reattiva comporta un aumento dei problemi di gestione degli impianti elettrici; tra i principali ricordiamo la necessità di sovradimensionare trasformatori, cavi e altri elementi nel circuito di alimentazione a seguito del maggiore riscaldamento e cadute di tensione degli stessi. Questo provoca un aumento dei costi di installazione.

La soluzione a questi problemi è data dal **Rifasamento**: un provvedimento atto a migliorare il fattore di potenza di un carico in un punto della rete, in modo da ridurre, a pari potenza attiva (kW) trasportata, il valore della corrente circolante sulla rete. Rifasare significa pertanto **diminuire la potenza reattiva assorbita dal carico** che attraversa una determinata sezione della rete, fino ad annullarla in corrispondenza di  **$\cos\phi = 1,00$** .

Gli enti distributori, che forniscono la potenza reattiva nel tempo, impongono un limite inferiore al fattore di potenza del carico per ridurre la circolazione dell'energia reattiva lungo le linee elettriche.



Il fattore di potenza massimo possibile è 1,00, il che significa che il 100% della potenza erogata al carico è la potenza attiva convertita in energia utile. Qualsiasi valore inferiore a 1,00 indica che il sistema di alimentazione del carico deve essere sovradimensionato.

Tradizionalmente, la preoccupazione per il fattore di potenza è stata quasi esclusivamente legata all'uso di motori a induzione. Oggi, però, questa è estesa ad altri carichi non lineari, quali le apparecchiature elettroniche di potenza (es. azionamenti di motori a velocità variabile, alimentatori di continuità), forni ad induzione, saldatrici ad arco, ...

# Perché Rifasare?

---

I condensatori elettrici sono una delle fonti di risparmio più economiche attualmente conosciute in grado di far risparmiare sia l'ente distributore sia l'azienda.

Il rifasamento, proponendosi lo scopo di diminuire le perdite di energia e le potenze apparenti a cui proporzionare macchinari e linee elettriche, determina un **razionale utilizzo dell'energia elettrica**, riducendo gli effetti indesiderati delle correnti dei carichi come motori, trasformatori, ecc., e le **perdite per effetto joule** nei cavi e nei dispositivi (interruttori, trasformatori) presenti sul sistema di trasporto dell'energia.

I costi aggiuntivi conseguenti alla mancata installazione di un impianto di rifasamento, sono talmente elevati da determinare mediamente un rientro dell'investimento nell'arco di 12/15 mesi. Infatti, aumentare il fattore di potenza dei sistemi elettrici offre i seguenti vantaggi:

## Riduzione dei costi delle utenze elettriche

La differenza tra potenza attiva e apparente costringe l'azienda erogatrice di energia elettrica a sovralimentare il sistema di distribuzione: le penali vogliono quindi incentivare il cliente a migliorare il basso fattore di potenza.



## Aumento della potenza disponibile

Riducendo la richiesta di kvar dal lato del carico e installando i condensatori si rende disponibile la massima potenza erogabile dai generatori e dai trasformatori.



## Miglioramento della tensione

La richiesta di kvar a carico elevato aumenta le cadute di tensione tra i trasformatori, i cavi e altri componenti del sistema, con conseguente riduzione della tensione di utilizzo delle apparecchiature.



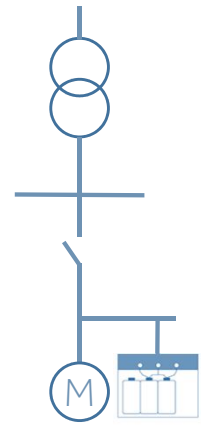
## Riduzione delle perdite per riscaldamento dei cavi

La corrente del circuito è ridotta in proporzione diretta all'aumento del fattore di potenza, la perdita  $I^2R$  o la perdita resistiva nel circuito è inversamente proporzionale al quadrato del fattore di potenza.



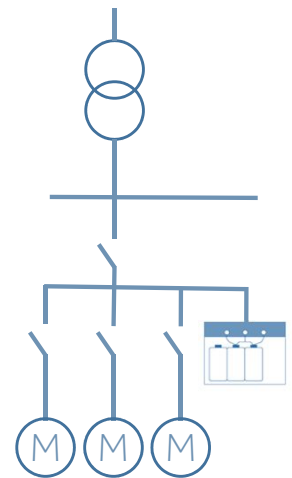
## Rifasamento distribuito

Le apparecchiature di rifasamento sono installate a ridosso dei singoli carichi e dimensionate per la potenza reattiva necessaria. Considerando che l'effetto dei condensatori si risente a monte del punto d'installazione, risulta la soluzione ideale per compensare elevate correnti induttive.



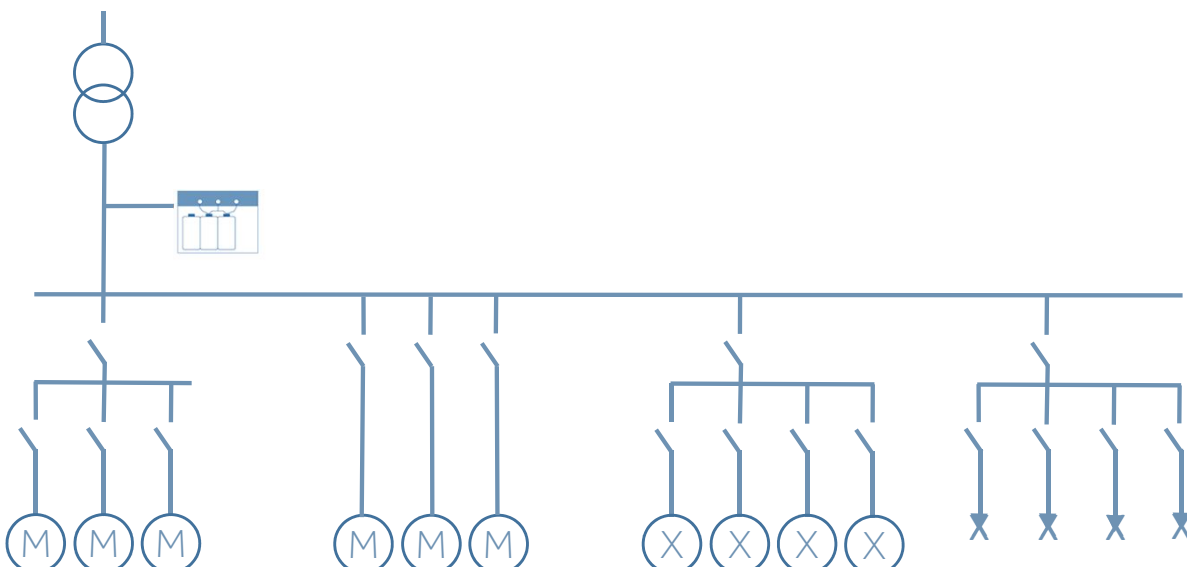
## Rifasamento di gruppi di carichi

Impianti automatici, garantiscono il rifasamento di più utilizzatori, seguendone la richiesta di energia reattiva. Per aziende che hanno utilizzatori di elevata potenza, la scelta di rifasare localmente i grossi carichi e centralmente la potenza rimanente, risulta di solito la soluzione tecnico-economica più vantaggiosa.



## Rifasamento centralizzato

Installazione di un unico quadro automatico, tipicamente in corrispondenza del trasformatore o del punto di consegna dell'energia, risulta la soluzione più utilizzata e la più semplice da attuare. È ideale per aziende di piccola e media dimensione e il risparmio per l'utilizzatore è indirizzato sostanzialmente all'eliminazione delle penali presenti sulle bollette.



# Dimensionamento dei Rifasatori

La potenza reattiva può essere bilanciata dalla presenza di rifasatori utilizzando la seguente formula:

$$kvar_{Rif} = kW_{Carico} \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) = kW_{Carico} \cdot M$$

Attraverso la seguente tabella è possibile calcolare il valore di M:

		cosφ2																
		0,62	0,59	0,57	0,54	0,51	0,48	0,46	0,43	0,4	0,36	0,33	0,29	0,25	0,2	0,14	0	
		0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1	
tanφ1	cosφ1																	
	4,9	0,2	4,28	4,31	4,33	4,36	4,39	4,41	4,44	4,47	4,5	4,54	4,57	4,61	4,65	4,7	4,76	4,9
3,87	0,25	3,25	3,28	3,31	3,33	3,36	3,39	3,42	3,45	3,48	3,51	3,54	3,58	3,62	3,67	3,73	3,87	
3,18	0,3	2,56	2,59	2,61	2,64	2,67	2,7	2,72	2,75	2,78	2,82	2,85	2,89	2,93	2,98	3,04	3,18	
2,68	0,35	2,06	2,08	2,11	2,14	2,16	2,19	2,22	2,25	2,28	2,31	2,35	2,38	2,43	2,47	2,53	2,68	
2,29	0,4	1,67	1,7	1,72	1,75	1,78	1,81	1,84	1,87	1,9	1,93	1,96	2	2,04	2,09	2,15	2,29	
1,98	0,45	1,36	1,39	1,42	1,44	1,47	1,5	1,53	1,56	1,59	1,62	1,66	1,69	1,73	1,78	1,84	1,98	
1,73	0,5	1,11	1,14	1,17	1,19	1,22	1,25	1,28	1,31	1,34	1,37	1,4	1,44	1,48	1,53	1,59	1,73	
1,52	0,55	0,9	0,93	0,95	0,98	1,01	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,19	1,23	1,27	1,32	1,38	1,52	
1,33	0,6	0,71	0,74	0,77	0,79	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	1	1,04	1,08	1,13	1,19	1,33	
1,23	0,63	0,613	0,639	0,666	0,693	0,72	0,748	0,777	0,807	0,837	0,87	0,904	0,941	0,982	1,03	1,09	1,233	
1,17	0,65	0,55	0,58	0,6	0,63	0,66	0,68	0,71	0,74	0,77	0,81	0,84	0,88	0,92	0,97	1,03	1,17	
0,14	0,66	0,519	0,545	0,572	0,599	0,626	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,81	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	0,75	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	0,72	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049	
1,02	0,7	0,4	0,43	0,45	0,48	0,51	0,54	0,56	0,59	0,62	0,66	0,69	0,73	0,77	0,82	0,88	1,02	
0,99	0,71	0,37	0,4	0,43	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,6	0,63	0,66	0,7	0,74	0,79	0,85	0,99	
0,96	0,72	0,34	0,37	0,4	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,6	0,64	0,67	0,71	0,76	0,82	0,96	
0,94	0,73	0,32	0,34	0,37	0,4	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,61	0,64	0,69	0,73	0,79	0,94	
0,91	0,74	0,29	0,32	0,34	0,37	0,4	0,42	0,45	0,48	0,51	0,55	0,58	0,62	0,66	0,71	0,77	0,91	
0,88	0,75	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,4	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,59	0,63	0,68	0,74	0,88	
0,86	0,76	0,24	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,4	0,43	0,46	0,49	0,53	0,56	0,6	0,65	0,71	0,86	
0,83	0,77	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,4	0,43	0,47	0,5	0,54	0,58	0,63	0,69	0,83	
0,8	0,78	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,51	0,55	0,6	0,66	0,8	
0,78	0,79	0,16	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,45	0,48	0,53	0,57	0,63	0,78	
0,75	0,8	0,13	0,16	0,18	0,21	0,24	0,27	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,5	0,55	0,61	0,75	
0,72	0,81	0,1	0,13	0,16	0,18	0,21	0,24	0,27	0,3	0,33	0,36	0,4	0,43	0,47	0,52	0,58	0,72	
0,7	0,82	0,08	0,1	0,13	0,16	0,19	0,21	0,24	0,27	0,3	0,34	0,37	0,41	0,45	0,49	0,56	0,7	
0,67	0,83	0,05	0,08	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,38	0,42	0,47	0,53	0,67	
0,65	0,84	0,03	0,05	0,08	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,32	0,35	0,4	0,44	0,5	0,65	
0,62	0,85		0,03	0,05	0,08	0,11	0,14	0,16	0,19	0,22	0,26	0,29	0,33	0,37	0,42	0,48	0,62	
0,59	0,86			0,03	0,05	0,08	0,11	0,14	0,17	0,2	0,23	0,26	0,3	0,34	0,39	0,45	0,59	
0,57	0,87				0,03	0,05	0,08	0,11	0,14	0,17	0,2	0,24	0,28	0,32	0,36	0,42	0,57	
0,54	0,88					0,03	0,06	0,08	0,11	0,14	0,18	0,21	0,25	0,29	0,34	0,4	0,54	
0,51	0,89						0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,22	0,26	0,31	0,37	0,51	
0,48	0,9							0,03	0,06	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23	0,28	0,34	0,48	
0,46	0,91								0,03	0,06	0,09	0,13	0,16	0,2	0,25	0,31	0,46	
0,43	0,92									0,03	0,06	0,1	0,13	0,18	0,22	0,28	0,43	
0,4	0,93										0,03	0,07	0,1	0,14	0,19	0,25	0,4	
0,36	0,94											0,03	0,07	0,11	0,16	0,22	0,36	

Esempio:

$\cos\varphi_1 = 0,71$  , fattore di potenza originario (prima della correzione)

$\cos\varphi_2 = 0,95$  , fattore di potenza atteso (dopo la correzione)

$M = 0,66$

Quindi, dato un carico di 1000kW, sarà necessario utilizzare una potenza rifasante di 660kvar.

La presenza di correnti non sinusoidali negli impianti industriali produce fenomeni indesiderati e in alcune situazioni vere e proprie anomalie di funzionamento, che sono tanto maggiori quanto maggiore è l'intensità delle **componenti armoniche**.

Per quantificare la presenza di tutte le armoniche è stato introdotto il fattore di distorsione totale **THD (Total Harmonic Distorsion)**:

$$\text{THD}\% = 100 \times \sqrt{\sum_{n=2}^N \left(\frac{A_n}{A_1}\right)^2}$$

$A_1$  = ampiezza della  
fondamentale

$A_n$  = ampiezza dell'armonica  
di ordine  $n$

$N$  = ordine di armonica di  
grado più elevato

Per poter rifasare in presenza di elevate armoniche in corrente è necessario ricorrere ad apparecchiature dotate di **induttanze di blocco** che vengono disposte in serie ai condensatori, così da comporre un ramo LC che ha frequenza di accordo ad un valore inferiore a quella della armonica più bassa presente nell'impianto. Tipicamente è pari a:

- **189 Hz (7%)** quando la più bassa è la **5<sup>a</sup> armonica**
- **138 Hz (14%)** quando la più bassa è la **3<sup>a</sup> armonica**

Nel caso di impianti industriali, in cui le potenze dei carichi possono essere molto elevate, le eventuali componenti armoniche potrebbero non essere accettabili: si deve quindi effettuare una vera e propria azione di riduzione, se non eliminazione, delle armoniche.

A questo scopo, i **filtri passivi** costituiscono il tradizionale mezzo di risoluzione. L'apparecchiatura si compone di più rami LC in ognuno dei quali la frequenza di risonanza coincide con una delle frequenze armoniche di interesse.

Il sistema così composto costituisce un percorso preferenziale attraverso il quale le correnti armoniche trovano una via di richiusura e non interessano la rete a monte.

Occorre una progettazione adeguata, per evitare fenomeni di risonanza.

Ulteriori informazioni sulle armoniche sono disponibili alla sezione «Guide al Rifasamento» del sito [www.comarcond.com](http://www.comarcond.com).