



Zeno Martini (admin)

RIFASAMENTO IN PRESENZA DI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

21 April 2017

Premessa

Un impianto fotovoltaico in scambio aggiunto in un impianto industriale, introduce variazioni nei flussi delle potenze viste al punto di consegna, che rendono necessaria la riconsiderazione e l'eventuale modifica dell'impianto di rifasamento esistente.

Inoltre introduce un aumento della distorsione armonica che può comportare la necessità di condensatori di rifasamento speciali e con induttanze di blocco delle armoniche.

In questo articolo sarà esaminato dal punto di vista teorico solo il primo aspetto.

L'articolo nasce da una discussione sviluppata nel forum e che, come capita a volte, rischiava, diciamo così, di trasformarsi in una inutile ed interminabile polemica.

Spero di riuscire a chiarire con schemi e formule quanto sostenevo nel thread [Delibera 180/2013/R/EEL](#).

Generalità

Un impianto fotovoltaico fornisce, in genere, solo potenza attiva. Tutta la potenza reattiva di cui necessita l'impianto utilizzatore, occorre prelevarla dalla rete. Si deve poi fare in modo che la potenza reattiva prelevata dalla rete sia inferiore ad un certo valore percentuale della potenza attiva, per i problemi che pone il transito della potenza reattiva in rete, fondamentalmente relativi al controllo del valore di tensione. A ciò si provvede installando nell'impianto utilizzatore batterie di condensatori dimensionati per fornire l'energia reattiva stabilita. L'ideale sarebbe fornirla tutta, ma di solito se ne fornisce una frazione più o meno consistente di quella necessaria. La tendenza è quella di renderla sempre più consistente.

Se la potenza reattiva prelevata dalla rete supera una percentuale della potenza attiva stabilita dal distributore, quest'ultimo addebita all'utente l'energia reattiva eccedente. Il distributore effettua la valutazione con il suo contatore di energia valutando l'**assorbimento mensile di energia attiva e reattiva**. Inoltre controlla anche che il rifasamento avvenga seguendo l'andamento del carico, e vieta che sia immessa in rete, potenza reattiva.

Indichiamo con P_R e Q_R rispettivamente la potenza attiva e la potenza reattiva prelevata dalla rete.

Supponiamo si imponga che $Q_R \leq 0,5P_R$

A tale condizione corrisponde il fattore di potenza

$$\cos \varphi = \cos \arctan \frac{Q_R}{P_R} = \cos \arctan 0,5 \approx 0,9$$

Se la misura del fattore di potenza effettuata dal distributore è inferiore a tale valore, l'energia

reattiva in eccesso viene addebitata all'utente.

L'ideale sarebbe fornire localmente ad ogni utilizzatore dell'impianto, l'energia reattiva necessaria, realizzando in questo modo quello che si chiama rifasamento distribuito, che elimina anche gli inconvenienti della potenza reattiva che fluisce nelle linee interne all'impianto. Tale soluzione può però essere molto onerosa ed in genere si ricorre al rifasamento centralizzato. L'utente predispone una centralina all'ingresso dell'impianto, che monitora costantemente il valore del fattore di potenza nel punto di installazione ed inserisce i condensatori della batteria predisposta in modo che il fattore di potenza misurato dal distributore non scenda sotto il valore stabilito. Tale valore costituirà quello minimo di taratura della centralina stessa.

Se non esiste un impianto fotovoltaico, per soddisfare tale esigenza basta tarare la centralina al valore richiesto dal distributore. Certo, non è vietato tararla pure ad un valore superiore, ma bisogna tener presente che questo comporta la presenza di una batteria di condensatori più capace. La potenza reattiva che la centralina deve essere in grado di fornire è infatti data da

$$Q_{rif} = P_i (\tan \varphi_i - \tan \varphi_{tar}) \quad [a]$$

(una dimostrazione si può trovare [qui](#))dove P_i e $Q_i = P_i \tan \varphi_i$ sono, rispettivamente, le potenze, attiva e reattiva, richieste dall'impianto e tenute costantemente sotto controllo dalla centralina nel punto di installazione; φ_i è l'angolo di sfasamento tra la tensione e la corrente (le componenti fondamentali a 50 Hz, in caso di forme d'onda distorte), φ_{tar} l'angolo di sfasamento che la centralina impone.

Il rapporto tra la potenza reattiva fornita dalla batteria di condensatori della centralina e la potenza reattiva necessaria all'impianto è dato da

$$\frac{Q_{rif}}{Q_i} = \frac{P_i (\tan \varphi_i - \tan \varphi_{tar})}{P_i \tan \varphi_i} = 1 - \frac{\tan \varphi_{tar}}{\tan \varphi_i} \quad [b]$$

Se, ad esempio, l'impianto avesse un fattore di potenza pari a $\cos \varphi_i = 0,8$, tarando la centralina a $\cos \varphi_{tar} = 0,9$ si ha

$$\frac{Q_{rif}}{Q_i} = 1 - \frac{\tan \varphi_{tar}}{\tan \varphi_i} = 1 - \frac{0,5}{0,75} = 0,33$$

la batteria di condensatori necessaria avrebbe una potenza pari al 33% della potenza reattiva massima necessaria all'impianto.

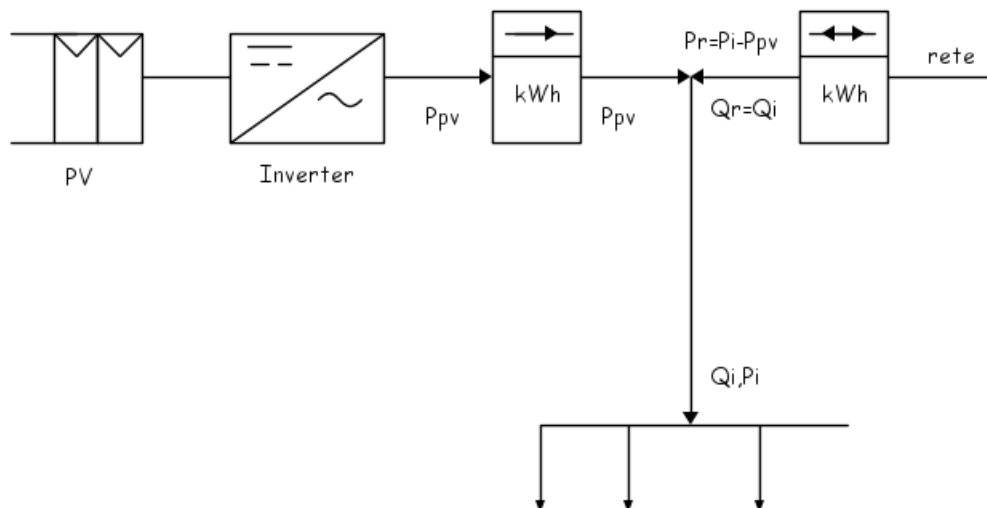
Tarando a $\cos \varphi = 0,98$ si ha

$$\frac{Q_{rif}}{Q_i} = 1 - \frac{\tan \varphi_{tar}}{\tan \varphi_i} = 1 - \frac{0,2}{0,75} = 0,73$$

la batteria andrebbe dimensionata per il 73% della potenza massima necessaria. E superfluo dire che per un rifasamento completo la batteria dei condensatori deve avere una potenza reattiva pari al 100% di quella massima richiesta dall'impianto.

L'inserzione dei condensatori di rifasamento da parte della centralina automatica avviene dunque in base alla misura del fattore di potenza nel punto in cui è installata la centralina.

Impianto senza rifasamento



Q_i : potenza reattiva assorbita dall'impianto

P_i : potenza attiva assorbita dall'impianto

P_{PV} : potenza attiva generata dall'impianto fotovoltaico

Q_r : potenza reattiva fornita dalla rete

P_r : potenza attiva assorbita dall'impianto

Per non incorrere nel pagamento dell'energia reattiva, detto brevemente "la penale", la potenza reattiva prelevata dalla rete con deve superare una percentuale stabilita della potenza attiva. Ciò corrisponde a fissare un fattore di potenza limite al di sotto del quale scatta la penale. Fino all'anno scorso il distributore richiedeva che la percentuale di energia reattiva fosse il 50% di quella attiva. A tale condizione corrisponde un fattore di potenza pari a poco meno 0,9. Attualmente l'Autorità per l'energia elettrica ed il gas, ha fissato la percentuale al 33%, cui corrisponde un fattore di potenza pari a 0,95.

Indichiamo il rapporto massimo stabilito dal distributore con

$$N = \left(\frac{Q_r}{P_r} \right)_{max}$$

Per quanto scritto in precedenza **$N=0,5$** se il fattore di potenza stabilito è **$fp=0,9$** ; **$N=0,33$** se il fattore di potenza stabilito è **$fp=0,95$** .

L'addebito di energia reattiva si ha se

$$\frac{Q_r}{P_r} > N$$

In presenza di impianto fotovoltaico si ha

$$\frac{Q_r}{P_i - P_{PV}} > N \rightarrow Q_r > N(P_i - P_r)$$

Dividendo per P_i si ha

$$\frac{Q_r}{P_i} = \tan \varphi_i > N \left(1 - \frac{P_{PV}}{P_i} \right)$$

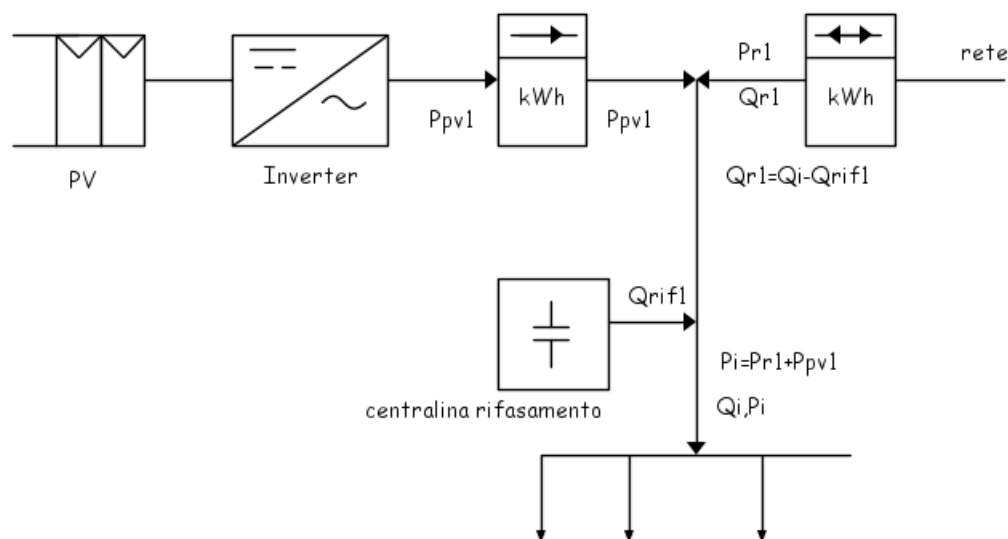
quindi l'energia reattiva si paga se il fattore di potenza dell'impianto è

$$\cos \varphi_i < \cos \varphi_{lim} = \arctan \left[N \left(1 - \frac{P_{PV}}{P_i} \right) \right] \quad [1]$$

Se era un impianto che poteva fare senza una centralina di rifasamento, l'aggiunta di un impianto fotovoltaico la rende praticamente necessaria, tanto più quanto più consistente è la potenza dell'impianto fotovoltaico.

Il fattore di potenza limite, $\cos \varphi_{lim}$, al di sotto del quale è addebitato il costo dell'energia reattiva, varia in funzione della potenza del fotovoltaico, con andamento crescente al suo crescere. Se il fotovoltaico fornisce tutta la potenza attiva $\cos \varphi_{lim} = 1$

Centralina di rifasamento a valle del parallelo rete-PV



P_i : potenza attiva assorbita dall'impianto utilizzatore

Q_i : potenza reattiva assorbita dall'impianto utilizzatore

Q_{rif1} : potenza reattiva fornita dalla centralina di rifasamento

Q_r : potenza reattiva fornita dalla rete quindi misurata dal distributore

P_r : potenza attiva fornita dalla rete quindi misurata dal distributore

P_{PV1} : potenza attiva fornita dall'impianto fotovoltaico

Il distributore ricava il fattore di potenza dal transito di potenza attiva e reattiva attraverso il contatore, quindi dalla lettura delle energie rispettive, quindi trova

$$\cos \varphi_{r1} = \frac{P_{r1}}{\sqrt{P_{r1}^2 + Q_{r1}^2}} = \frac{P_{r1}}{\sqrt{P_{r1}^2 + P_i^2 \tan^2 \varphi_{tar}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{P_i^2}{P_{r1}^2} \tan^2 \varphi_{tar1}}}$$

essendo

$$Q_{r1} = Q_i - Q_{rif1} = Q_i - P_i (\tan \varphi_i - \tan \varphi_{tar1}) = P_i \tan \varphi_{tar1}$$

Per il distributore deve essere

$$\cos \varphi_{r1} \geq \cos \arctan \left(\frac{Q_r}{P_r} \right)_{\max}$$

$$\text{dove } N = \left(\frac{Q_r}{P_r} \right)_{\max} \text{ è stabilito dal distributore}$$

Posto

$$M = \cos^2 (\arctan N)$$

deve essere

$$\frac{1}{1 + \frac{P_i^2}{P_{r1}^2} \tan^2 \varphi_{tar1}} \geq M$$

quindi

$$1 \geq M + M \left(\frac{P_i^2}{P_{r1}^2} \tan^2 \varphi_{tar1} \right)$$

$$\tan^2 \varphi_{tar1} \leq \frac{1-M}{M} \frac{P_{r1}^2}{P_i^2}$$

$$\tan \varphi_{tar1} \leq \sqrt{\frac{1}{M} - 1} \left(1 - \frac{P_{PV}}{P_i} \right)$$

essendo

$$P_{r1} = P_i - P_{PV}$$

Deve dunque essere

$$\varphi_{tar1} \leq \arctan \left[\sqrt{\frac{1}{M} - 1} \left(1 - \frac{P_{PV}}{P_i} \right) \right]$$

quindi

$$\cos \varphi_{tar1} \geq \cos \varphi_{lim} = \cos \arctan \left[\sqrt{\frac{1}{M} - 1} \left(1 - \frac{P_{PV}}{P_i} \right) \right] \quad [2]$$

Se la potenza reattiva di rete non può superare il 50% della potenza attiva di rete

$$N = 0,5 \Rightarrow M = \cos^2 \arctan 0,5 = 0,8$$

$$\tan \varphi_{tar1} \leq 0,5 \left(1 - \frac{P_{PV}}{P_i} \right)$$

Alcuni esempi a seconda della potenza prodotta dall'impianto fotovoltaico

$$P_{PV} = 0$$

$$\cos \varphi_{tar1} \geq \arctan 0,5 \cong 0,9$$

$$P_{PV} = 50\% P_i$$

$$\cos \varphi_{tar1} \geq \arctan 0,25 \cong 0,97$$

$$P_{PV} = 75\% P_i$$

$$\cos \varphi_{tar1} \geq \arctan 0,125 \cong 0,99$$

Se la potenza reattiva non può superare il 33%

$$\left(\frac{Q_r}{P_r}\right)_{\max} = 0,33 \Rightarrow M = \cos^2 \arctan 0,33 = 0,9$$

$$\tan \varphi_{tar1} \leq 0,33 \left(1 - \frac{P_{PV}}{P_i}\right)$$

per cui, a seconda della potenza prodotta dall'impianto fotovoltaico

$$P_{PV} = 0$$

$$\cos \varphi_{tar1} \geq \arctan 0,33 \cong 0,95$$

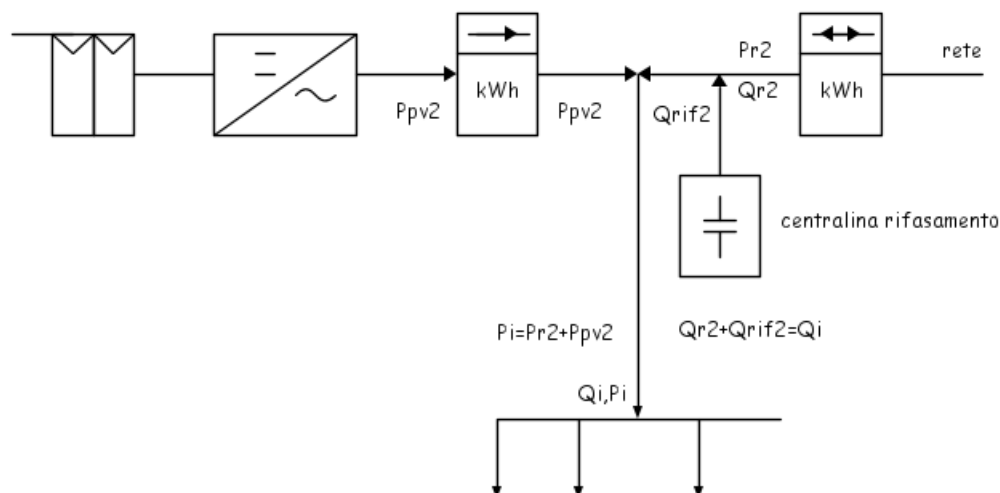
$$P_{PV} = 50\%P_i$$

$$\cos \varphi_{tar1} \geq \arctan 0,165 \cong 0,99$$

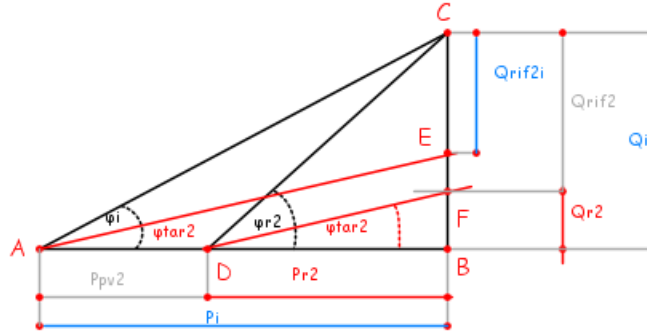
Osservazioni

1. I valori da inserire nella formula non sono i valori istantanei, che sono variabili, ma i **valori medi mensili** delle potenze. Il distributore come già detto, calcola il fattore di potenza proprio considerando i valori medi mensili registrati dal contatore. I valori medi da considerare sono quelli dei mesi in cui il fotovoltaico ha la maggiore produzione.
2. Se la potenza del fotovoltaico è rilevante, ora che la delibera 180/2013/R/EEL dell'Autorità dell'energia elettrica ha portato il valore del fattore di potenza sotto cui non scendere a 0,95 a partire dal 2016, in pratica si imposterà il valore di taratura pari ad uno, dimensionando quindi la batteria di condensatori per la potenza reattiva massima dell'impianto.

Centralina di rifasamento a monte del parallelo



Nella seguente figura sono mostrati i triangoli di potenza prima e dopo il rifasamento senza fotovoltaico, rispettivamente **ABC** ed **ABE** e quelli con fotovoltaico, rispettivamente **DBC** e **DBF**. In entrambi il fattore di potenza finale è lo stesso ed è il coseno dell'angolo φ_{tar2}



Innanzitutto verifichiamo che

$$Q_i = P_i \tan \varphi_i = P_{r2} \tan \varphi_{r2} \quad [4]$$

per cui si ha

$$Q_{r2} = Q_i - Q_{rif2} = Q_i - P_{r2} (\tan \varphi_{r2} - \tan \varphi_{tar2}) = P_{r2} \tan \varphi_{tar2}$$

quindi il fattore di potenza misurato dal distributore è

$$\begin{aligned} \cos \varphi_{r2} &= \frac{P_{r2}}{\sqrt{P_{r2}^2 + Q_{r2}^2}} = \frac{P_{r2}}{\sqrt{P_{r2}^2 + P_{r2}^2 \tan^2 \varphi_{tar2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_{tar2}}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sin^2 \varphi_{tar2}}{\cos^2 \varphi_{tar2}}}} = \frac{\cos \varphi_{tar2}}{\sqrt{\cos^2 \varphi_{tar2} + \sin^2 \varphi_{tar2}}} = \cos \varphi_{tar2} \end{aligned}$$

In questo caso non occorre intervenire sulla taratura della centralina in quanto il fattore di potenza misurato dal distributore coincide proprio con quello di taratura della centralina.

D'altra parte non era difficile da prevedere: il fattore di potenza misurato dalla centralina che agisce in modo da portarlo al valore di taratura, è rilevato nella stessa sezione di misura del fattore di potenza del distributore.

Però osserviamo che la potenza di rifasamento Q_{rif2} in presenza del fotovoltaico per raggiungere $\cos \varphi_{tar2}$ è maggiore di Q_{rif2i} , cioè quella che il rifasatore avrebbe erogato per arrivare allo stesso fattore di potenza senza fotovoltaico. Quindi la batteria di condensatori esistente potrebbe non avere capacità sufficiente.

Supponiamo infatti che la batteria di condensatori abbia una capacità tale da produrre una potenza reattiva pari al 73% della potenza reattiva del carico. Questo corrisponde al caso, descritto nel paragrafo generalità, in cui si vuole portare il fattore di potenza da $\cos \varphi_i = 0,8$ a $\cos \varphi_{tar} = 0,98$. Il fattore di potenza 0,8 corrisponde ad una potenza reattiva pari a 3/4 di quella attiva. Se il fotovoltaico produce, ad esempio, metà della potenza attiva, la potenza reattiva, che rimane invariata, diventa 3/2 di quella attiva ed il fattore di potenza nel punto di consegna misurato dal distributore diventa $\cos \arctan \frac{3}{2} = 0,555$.

Quindi per portare il fattore di potenza a 0,98 a partire da 0,555 occorre una potenza di rifasamento che, applicando la formula [b] è data da

$$Q_{rif2} = Q_i \left(1 - \frac{0,2}{1,5} \right) = 0,87 Q_i$$

cioè l'87% della Q_i per cui la batteria esistente dimensionata come il 73% della Q_i è insufficiente.

Nota: nella $[b]$ al posto di P_i c'è P_{r2} ed al posto di $\tan \varphi_i$ c'è $\tan \varphi_{r2}$ e si tien conto della $[4]$ e per l'esempio è $\tan \varphi_{r2} = 3/2 = 1,5$ mentre $\tan \varphi_{tar2} = 0,2$

Conclusioni

In presenza di un impianto fotovoltaico si hanno dunque tre casi

- se non esiste per qualche ragione l'impianto di rifasamento, si renderà necessario installarlo. Inoltre se la potenza del fotovoltaico è paragonabile a quella dell'impianto, la centralina conviene tararla con il fattore di potenza unitario.
- se esiste e la centralina di rifasamento è a valle del punto di parallelo ed è tarata sul valore minimo imposto dal distributore, si rende necessaria la ritaratura, aumentandone il valore secondo la $[2]$. La cosa può richiedere un aumento della capacità della batteria di condensatori e, come già osservato, se la potenza del fotovoltaico è rilevante in pratica la centralina sarà tarata e dimensionata per il fattore di potenza unitario.
- se la centralina è a monte del parallelo ed è tarata sul valore minimo imposto dal distributore, non c'è bisogno di ritarla. E' indubbio che questa sia l'installazione migliore, ma occorre tenere presente che comunque potrebbe essere necessario aumentare la capacità della batteria di condensatori
- Infine la sola ritaratura o meno della centralina di rifasamento, il suo potenziamento od il suo riposizionamento non sono l'unico problema che si pone con l'installazione di un impianto fotovoltaico in scambio. La distorsione armonica introdotta dagli inverter può richiedere accorgimenti per quel che riguarda il tipo di condensatori da installare, con l'eventualità di provvedere per il rifasatore induttanze di blocco delle armoniche.

Sarà dunque il progettista a stabilire, in base alla situazione esistente, quale sia la soluzione migliore per quel che riguarda l'impianto di rifasamento ed adottare tutti i provvedimenti per la soluzione migliore.

Bibliografia

- Fotovoltaico - Le Guide blu - Edizioni TNE, 1/2010
- Impianti elettrici - R. Benato - L. Fellin - ed. Wloters Kluwer Italia, 2014

Link

- [costo penali](#)
- [Rifasamento:nuove regole](#)
- [Rifasamento in presenza di fotovoltaico](#)
- [Quaderno tecnico ABB sul rifasamento](#)

- [rifasamento e fotovoltaico](#)

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Admin:rifasamento-in-presenza-di-impianto-fotovoltaico>"