



# Sistemi per il rifasamento dei carichi elettrici industriali

*Ing. Silvano Compagnoni*  
**ANIE Energia**  
*Sotto Gruppo Condensatori*  
*Bergamo, 28 Novembre 2019*

# Contenuti

- ☀️ Brochure ANIE
- ☀️ Rifasamento ed efficienza energetica
- ☀️ Le direttive dell'ARERA
- ☀️ Dimensionamento e scelta
- ☀️ Rifasamento in presenza di impianto di generazione in scambio sul posto

# Brochure ANIE Energia

“Rifasamento Elettrico Industriale  
Efficientamento Energetico e  
riduzione CO2”

The image shows the cover of a brochure titled "RIFASAMENTO ELETTRICO INDUSTRIALE" (Industrial Electrical Power Factor Correction). The cover features the logos of ANIE Federazione, CONFINDUSTRIA, and ANIE ENERGIA at the top. The main title is in large green and blue letters, with the subtitle "Efficientamento energetico e riduzione CO<sub>2</sub>" below it. The central graphic consists of two parts: a schematic diagram of an electrical circuit and a power triangle diagram. The schematic shows a power source (P) connected to a motor (M) through a cable (Q). A capacitor (C) is connected in parallel with the motor to correct the power factor. The power source is labeled with  $Q_R$  (reactive power) and  $Q_C$  (capacitive reactive power). The power triangle diagram shows a right-angled triangle with a hypotenuse labeled 'A' (apparent power), a vertical side labeled 'Q' (reactive power), and a horizontal side labeled 'P' (active power). The angle between the hypotenuse and the horizontal side is labeled  $\varphi_i$  (initial power factor angle), and the angle between the hypotenuse and the vertical side is labeled  $\varphi_r$  (corrected power factor angle).

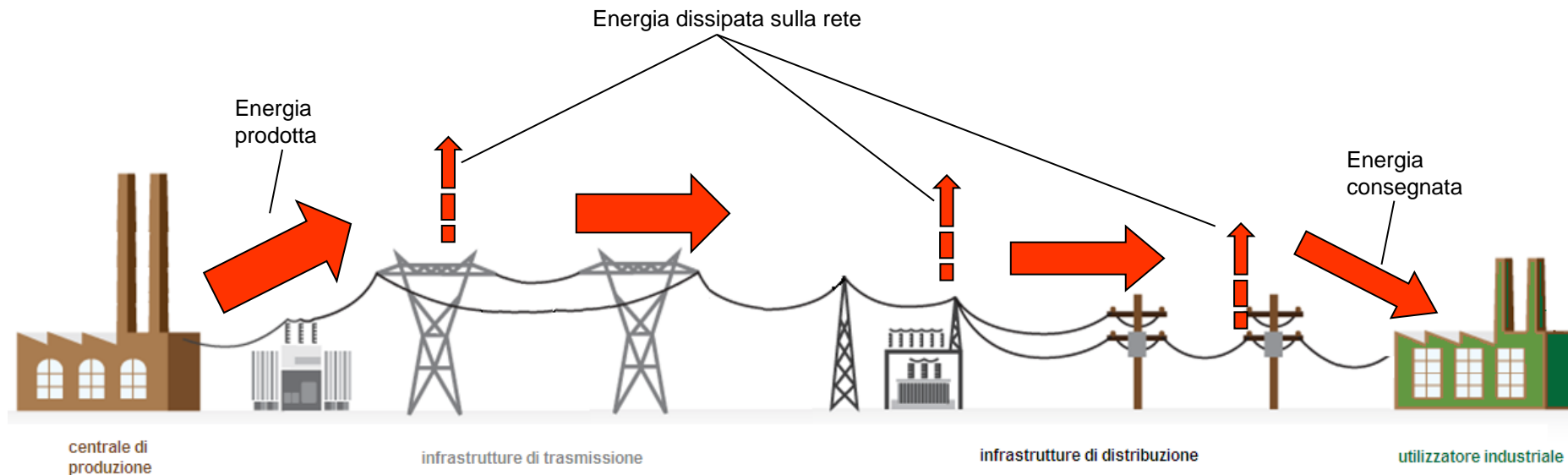
## Brochure ANIE Energia

“Raccomandazioni per l’impiego, in condizioni di sicurezza, dei condensatori statici per rifasamento, delle batterie e degli apparati di rifasamento”



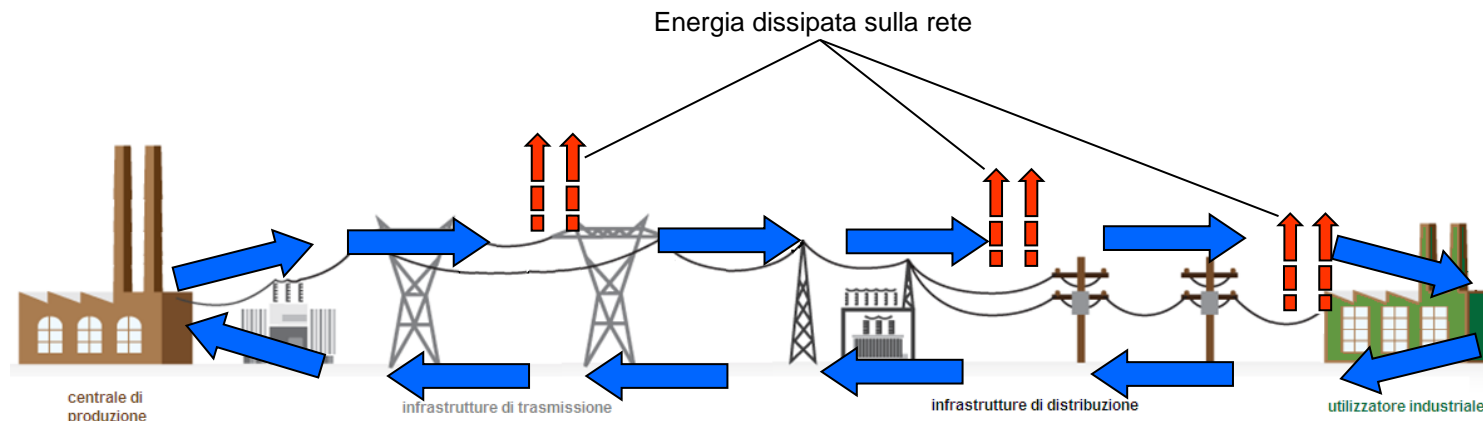
# Rifasamento ed Efficienza Energetica

- ☀ L'energia elettrica prodotta nelle centrali percorre le reti di trasmissione e di distribuzione fino all'utilizzatore. Si definisce **energia attiva (Ea)**.



## Rifasamento ed Efficienza Energetica

- Gli impianti elettrici degli utenti industriali necessitano di **energia reattiva (Er)**.
- Questa energia non viene consumata, ma viene continuamente “scambiata” tra la centrale di produzione e l’utenza causando **perdite di energia attiva** per effetto joule.



$$\frac{E_r}{E_a} = \tan \phi$$

Il **cosφ** è il valore numerico che fornisce un’indicazione dell’induttività di un carico o di un impianto

## Rifasamento ed Efficienza Energetica

- ☛ L'energia reattiva può essere scambiata anche localmente con opportuni dispositivi da installare nell'impianto dell'utente, e che funzionano da “scambiatori locali” di energia reattiva: **i rifasatori.**
- ☛ **E' obbligatorio rifasare l'impianto elettrico? SI**
- ☛ **ARERA emana regole** relative al comportamento degli utenti per quanto riguarda l'impegno di energia reattiva.
- ☛ **Queste regole** sono molto importanti, perché
  - ☛ **impattano sulla bolletta dell'energia elettrica degli utenti industriali** e civili (grossi condomini)
  - ☛ permettono di avere una rete elettrica nazionale più **efficiente**, riducendo i flussi di energia reattiva e le conseguenti **perdite joule**

# Rifasamento ed Efficienza Energetica

Un impianto elettrico ben rifasato è percorso da una corrente ottimizzata con conseguenti:

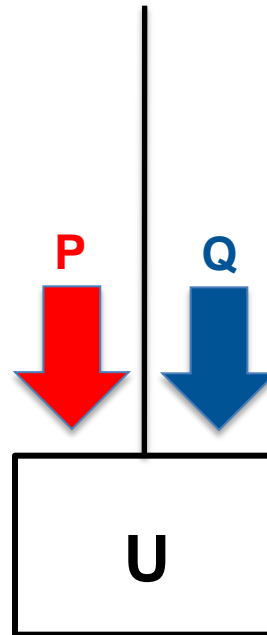
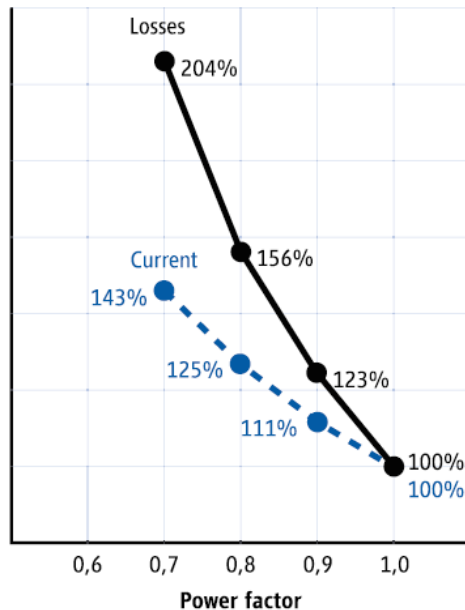
- ❁ minori **perdite di energia** per effetto Joule (riscaldamento di cavi, sbarre, trasformatori, etc)
- ❁ minore **caduta di tensione** lungo le linee elettriche
- ❁ ottimizzazione della **taglia dei componenti** (cavi, barre, organi di manovra e protezione, trasformatori...)



# Rifasamento ed Efficienza Energetica

$$f_{dp} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

$$P_P = RI^2 \rightarrow P_P \propto \frac{1}{f_{dp}^2}$$

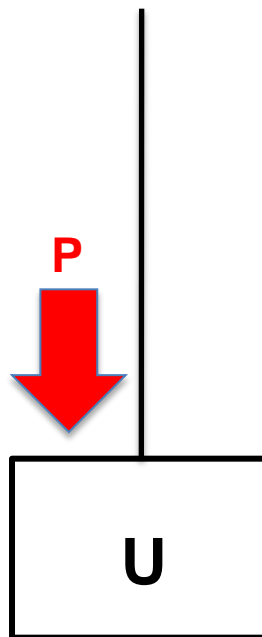
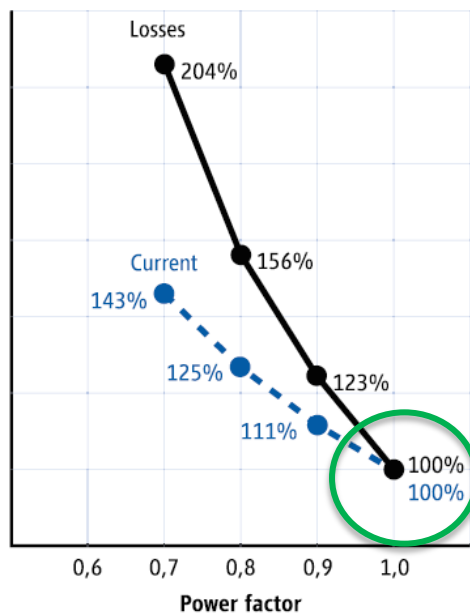


Una determinata utenza elettrica U ha un suo comportamento caratteristico in termini di potenza attiva P e potenza reattiva Q, e quindi di fdp.

# Rifasamento ed Efficienza Energetica

$$f_{dp} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

$$P_P = RI^2 \rightarrow P_P \propto \frac{1}{f_{dp}^2}$$

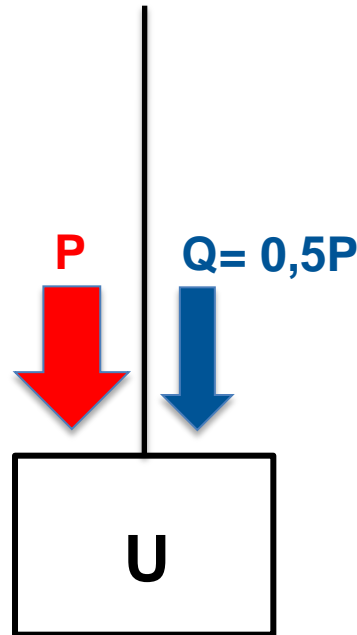
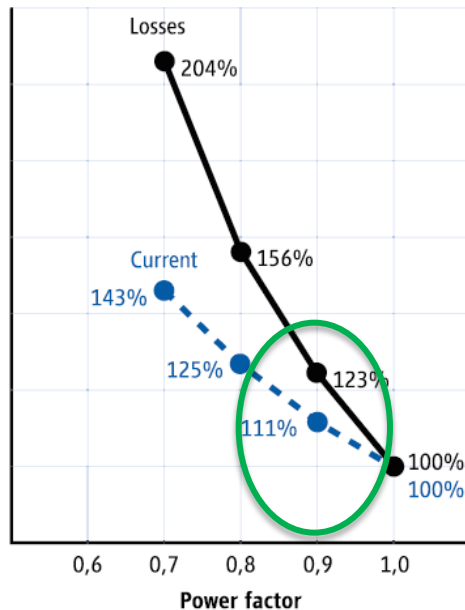


Una determinata utenza elettrica  $U$  ha un suo comportamento caratteristico in termini di potenza attiva  $P$  e potenza reattiva  $Q$ , e quindi di  $f_{dp}$ .

# Rifasamento ed Efficienza Energetica

$$f_{dp} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

$$P_P = RI^2 \rightarrow P_P \propto \frac{1}{f_{dp}^2}$$

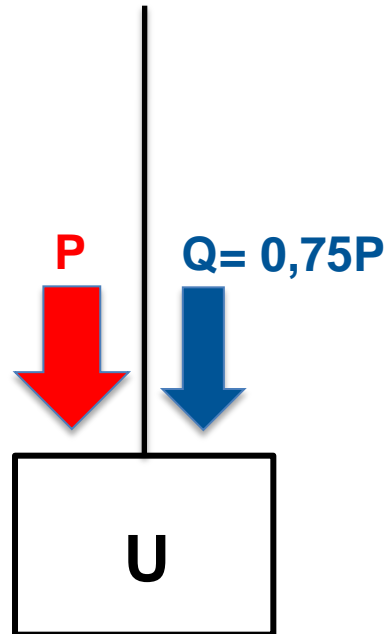
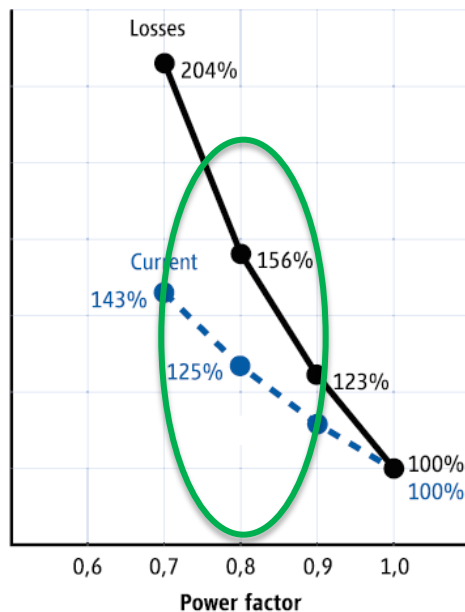


Una determinata utenza elettrica U ha un suo comportamento caratteristico in termini di potenza attiva P e potenza reattiva Q, e quindi di fdp.

# Rifasamento ed Efficienza Energetica

$$f_{dp} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

$$P_P = RI^2 \rightarrow P_P \propto \frac{1}{f_{dp}^2}$$

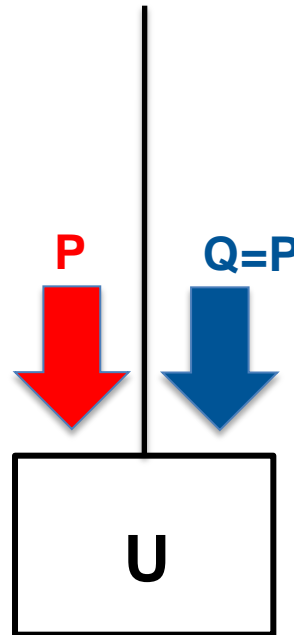
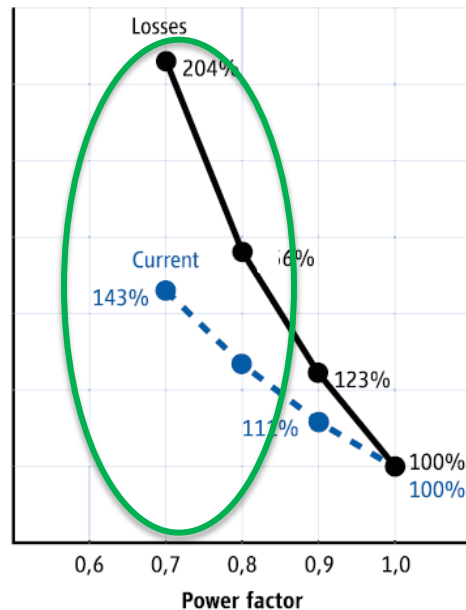


Una determinata utenza elettrica U ha un suo comportamento caratteristico in termini di potenza attiva P e potenza reattiva Q, e quindi di fdp.

# Rifasamento ed Efficienza Energetica

$$f_{dp} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

$$P_P = RI^2 \rightarrow P_P \propto \frac{1}{f_{dp}^2}$$



Una determinata utenza elettrica U ha un suo comportamento caratteristico in termini di potenza attiva P e potenza reattiva Q, e quindi di fdp.

## Direttive ARERA

- ❁ I flussi di energia reattiva degradano la stabilità e l'efficienza della rete elettrica: ARERA con opportune delibere (**654/15/R/EEL** in vigore nel periodo 2016/2023) indica le regole da seguire.
- ❁ Per le **utenze bt e MT** (con potenza impegnata **>16,5kW**):
  - ❁ chiede agli utenti di limitare il «consumo» di energia reattiva a non più del **33%** dell'energia attiva. Eventuali consumi in eccesso sono fatti pagare in bolletta, con costi al kvarh pubblicati di anno in anno
  - ❁ definisce delle **disposizioni obbligatorie** che, se non rispettate, possono portare il gestore di rete a chiedere l'adeguamento degli impianti, pena il distacco dalla rete

# Direttive ARERA

## ■ Obblighi:

- Il valore minimo del fattore di potenza «istantaneo» in corrispondenza del massimo carico, è pari a 0,9
- Il valore minimo del fattore di potenza medio mensile è pari a 0,7
- Non è consentita l'immissione in rete di energia reattiva

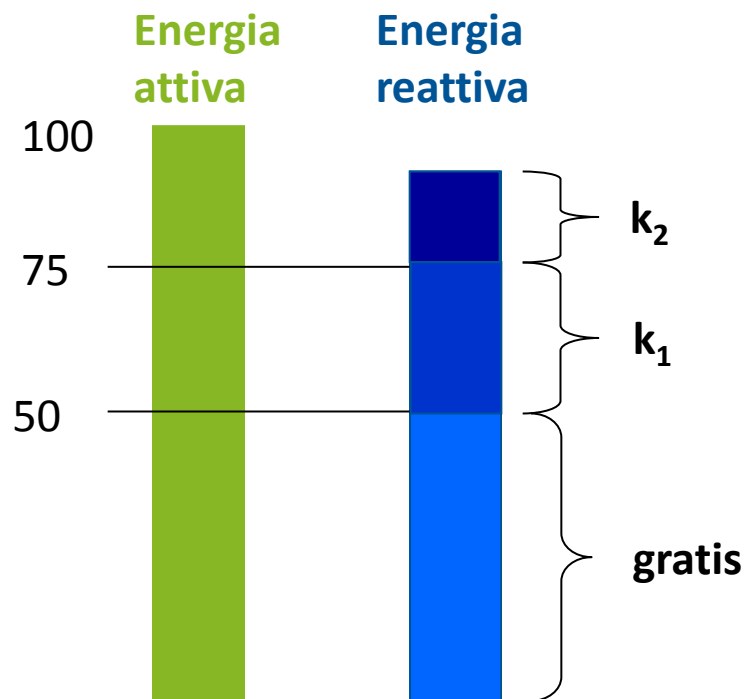


## Direttive ARERA

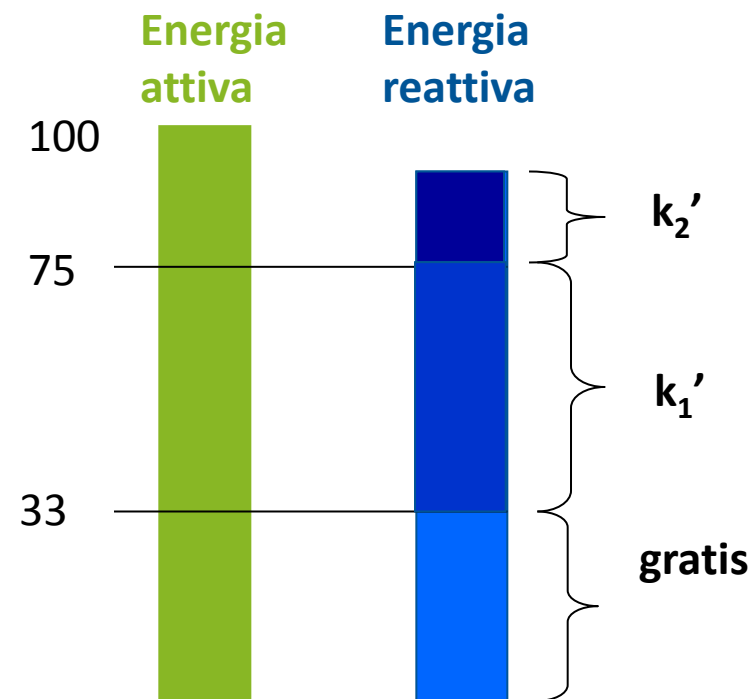
- Per le utenze **AT** (tensione tra 35kV e 150kV) e **AAT** (>150kV) le regole sono ancora quelle del vecchio periodo di regolazione:
  - Nessun vincolo tecnico
  - Penali applicate se  $E_r > 50\%$  di  $E_a$ , con un secondo scaglione, più gravoso, se  $E_r > 75\%$  di  $E_a$
- ARERA ha deciso di emettere delibera dedicata: prevista entro fine 2019.



# Direttive ARERA



Utenze AT e AAT (fino al 31 dicembre 2019?)



Utenze bt e MT dal 1 gennaio 2016

## Dimensionamento e scelta

Per il dimensionamento, si parte:

- ☀ dai dati di energia attiva e reattiva in bolletta, per impianti semplici
- ☀ da **campagne di misura**, per impianti complessi

Esempio

- ☀  $E_a$  = energia attiva = 68.344 kWh
- ☀  $E_r$  = energia reattiva = 75.864 kvarh
- ☀  $P$  = 1000 kW

$$\cos \phi = \frac{E_a}{\sqrt{E_r^2 + E_a^2}} = \frac{68344}{\sqrt{75864^2 + 68344^2}} \cong 0,67$$

## Dimensionamento e scelta

Noto il cos phi dell'impianto (0,67), il cos phi da ottenere (es 0,98), e la potenza installata nell'impianto (1000kW), si usano le tabelle

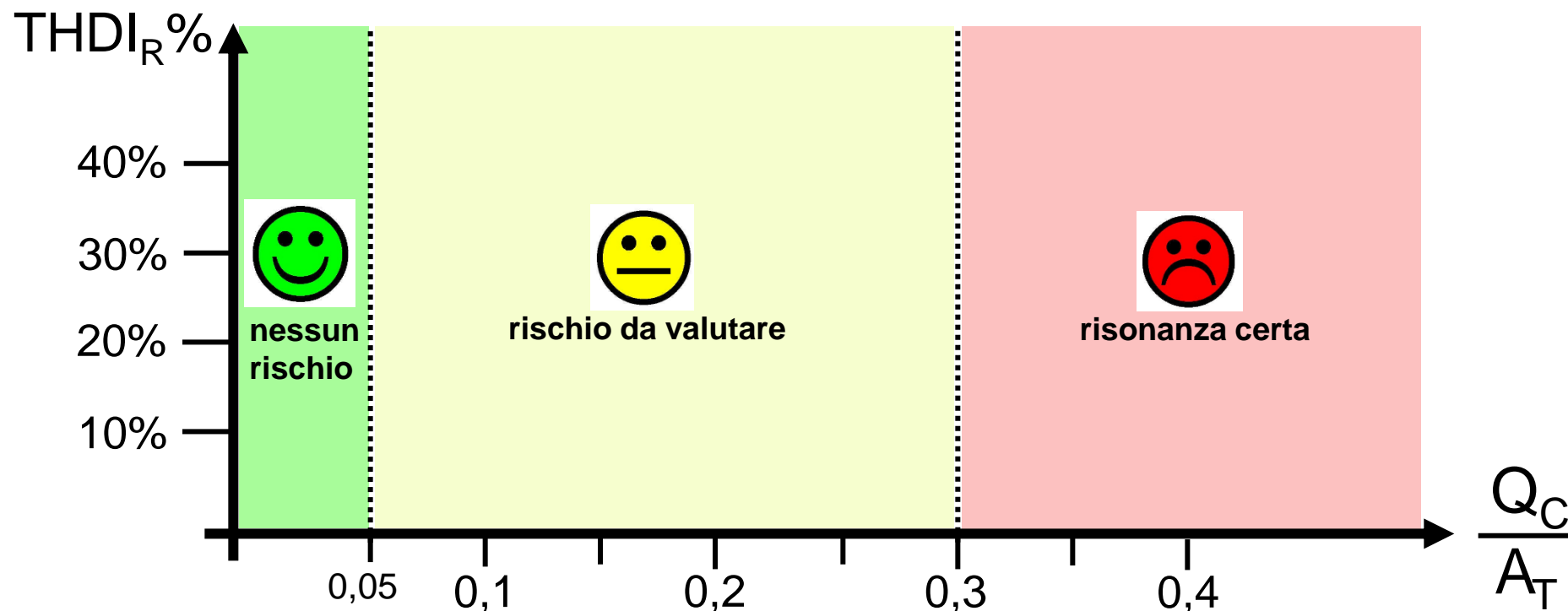
Fattore di potenza iniziale	Fattore di potenza finale								
	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
0,64	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998
0,65	0,685	0,714	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966
0,66	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935
0,67	0,624	0,652	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905
0,68	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875
0,69	0,565	0,593	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846
0,70	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817
0,71	0,508	0,536	0,566	0,597	0,629	0,663	0,700	0,741	0,789
0,72	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761
0,73	0,452	0,481	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733
0,74	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706
0,75	0,398	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679
0,76	0,371	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652

$$Q_r = P \times k = 905 \text{ kvar}$$

$$k = 0,905$$

## Dimensionamento e scelta

La scelta della tipologia è fatta sulla base del contenuto armonico della corrente dell'impianto, e valutando il **rischio di risonanza** con il trafo MT/bt

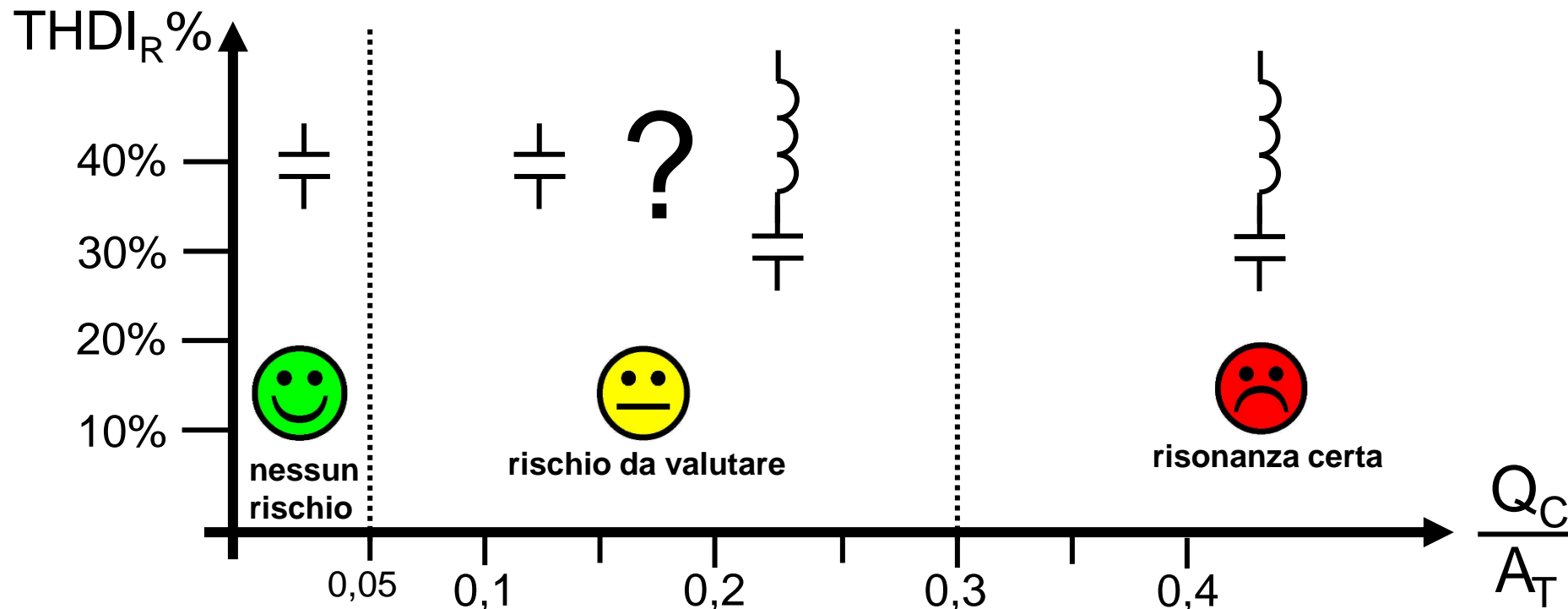


$Q_C$  = potenza in kvar del rifasamento necessario

$A_T$  = potenza apparente in kVA del trafo MT/BT che alimenta l'impianto

# Dimensionamento e scelta

La scelta della tipologia è fatta sulla base del contenuto armonico della corrente dell'impianto, e valutando il **rischio di risonanza** con il trafo MT/bt



$Q_C$  = potenza in kvar del rifasamento necessario

$A_T$  = potenza apparente in kVA del trafo MT/BT che alimenta l'impianto

## Dimensionamento e scelta

A rigore, dovremmo calcolare l'ordine dell'armonica su cui risuona il sistema

$$N = \sqrt{\frac{A_T \times 100}{Q_C \times v_{CC}\%}}$$

$Q_C$  = potenza in kvar del rifasamento necessario

$A_T$  = potenza apparente in kVA del trafo MT/BT che alimenta l'impianto

$v_{CC}\%$  = dato del trafo

## Dimensionamento e scelta

Ad esempio con

$$Q_C = 900 \text{ kvar}$$

$$A_T = 1600 \text{ kVA}$$

$$v_{CC}\% = 6\%$$

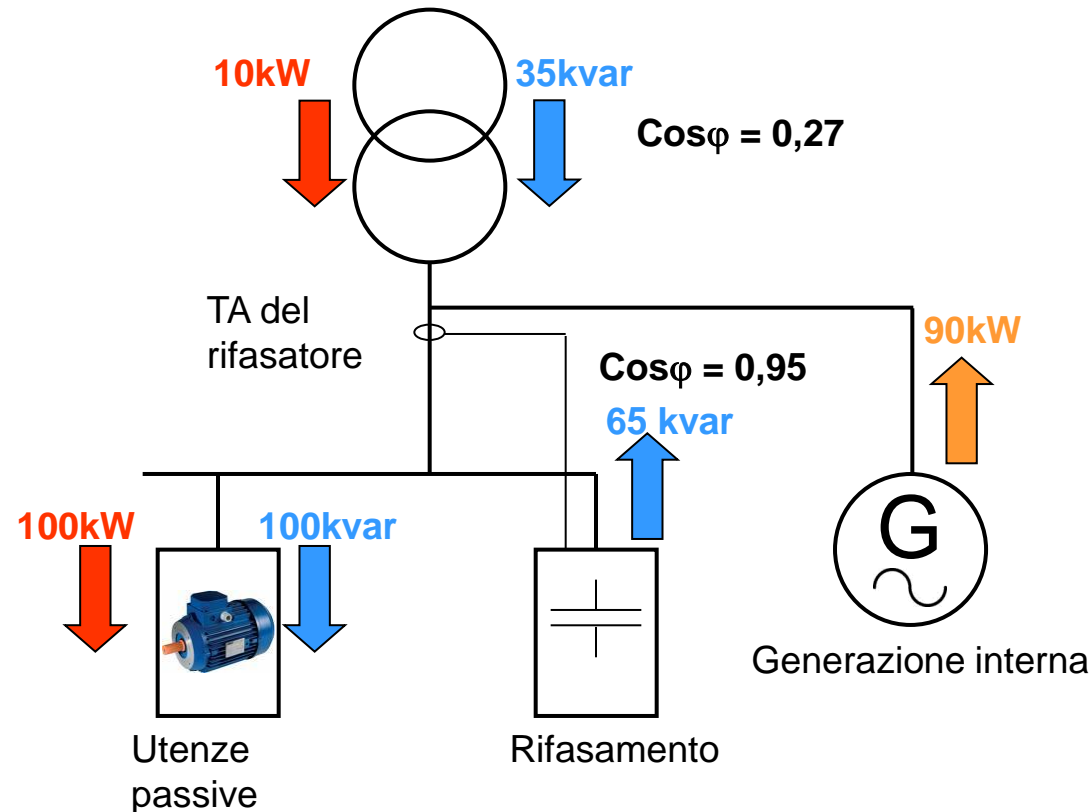
$$N = \sqrt{\frac{A_T \times 100}{Q_C \times v_{CC}\%}} \quad \rightarrow \quad N = 5,44$$



**Rischio di amplificazione della corrente armonica di rango 5.**

## Impianto con generazione in scambio sul posto

- Questi impianti pongono problemi ove  $P_g \sim P_u$
- Se il TA è posizionato a valle del punto di connessione del generatore...

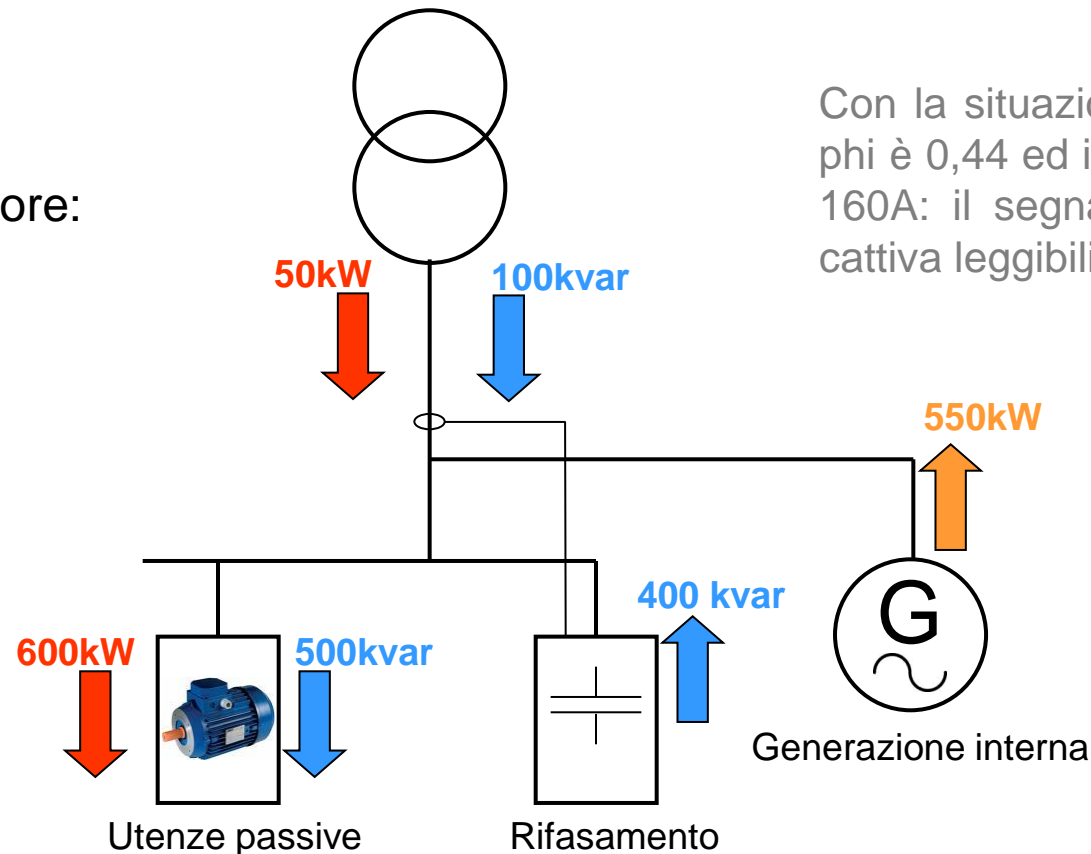




## Impianto con generazione in scambio sul posto

- TA posizionato a monte del generatore: sarà percorso da una corrente ridotta. Il rifasatore può funzionare «a singhiozzo».

TA del rifasatore:  
1000/5

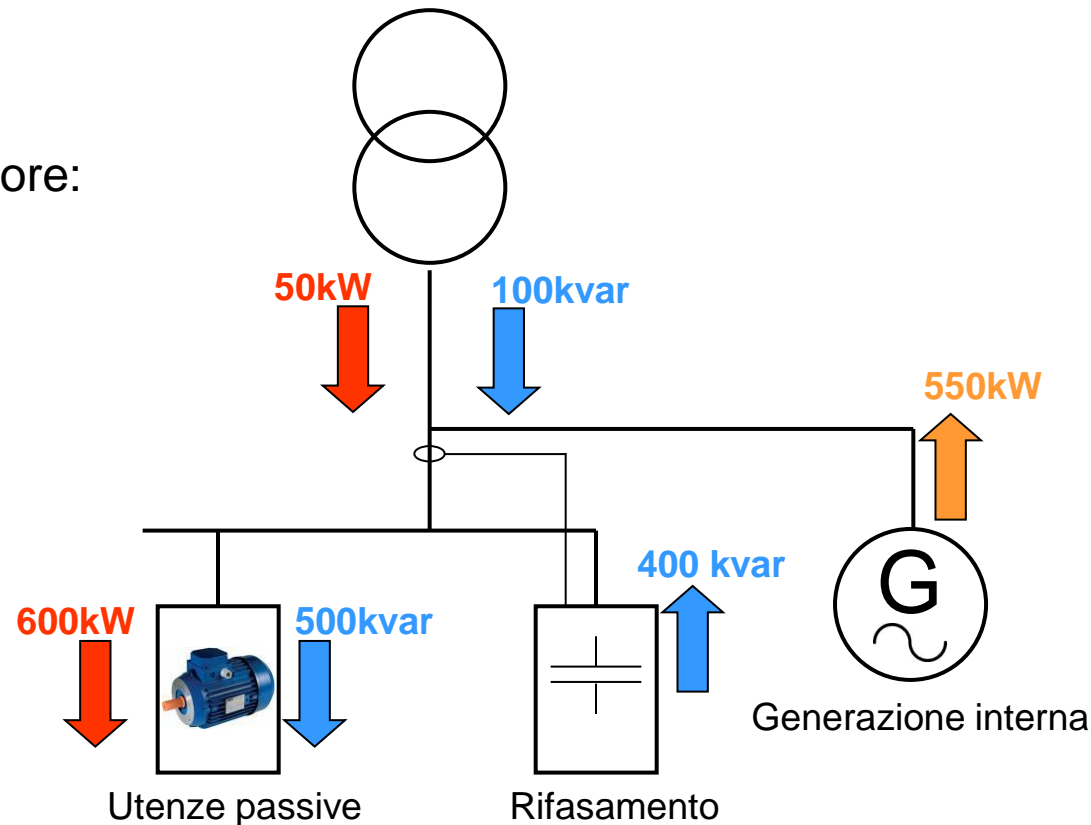


Con la situazione indicata il cos phi è 0,44 ed il TA è percorso da 160A: il segnale è debole e di cattiva leggibilità.

## Impianto con generazione in scambio sul posto

- La soluzione consigliata: dimensionare il rifasatore per portare a  $\cos\phi=1$  le utenze, e posizionare il TA a valle della derivazione del generatore.

TA del rifasatore:  
1000/5





Grazie per l'attenzione  
[anienergia.anie.it](http://anienergia.anie.it)

