



Risparmia l'**Energia.**

# Armoniche e Filtri Attivi



RIFASAMENTO  
IN MEDIA TENSIONE



RIFASAMENTO  
IN BASSA TENSIONE



MONITORAGGIO  
REMOTO DEI RIFASATORI



CONDENSATORI  
DI RIFASAMENTO



FILTRI  
ARMONICI PASSIVI



FILTRI  
ARMONICI ATTIVI



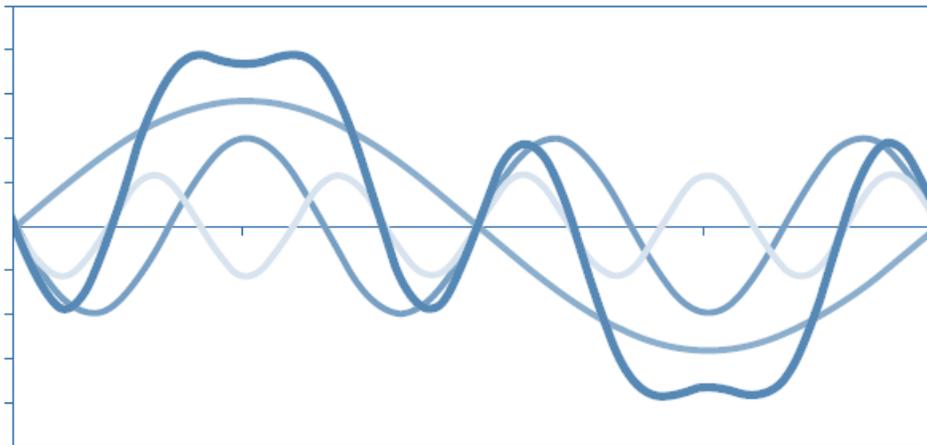
CONDENSATORI  
PER ELETTRONICA DI POTENZA



CONDENSATORI  
PER APPLICAZIONI MOTORE

# Introduzione

I sistemi elettrici hanno un gran numero di **carichi non lineari** che generano, a partire dalla forme d'**onda sinusoidali** e con la frequenza della rete, altre onde di frequenze diverse, che a loro volta causano il fenomeno noto come **armoniche**. Le armoniche sono un fenomeno che genera problemi sia per gli utenti che per l'ente distributore di energia elettrica e causano vari effetti dannosi sulle apparecchiature di rete. Vediamo in dettaglio quali problemi e quali danni provocano.



Caption:

- nonsinusoidal waveform
- first harmonic (fundamental)
- third harmonic
- fifth harmonic

La **distorsione armonica totale** (in inglese total harmonic distortion, da cui l'acronimo **THD**) è un parametro che informa della distorsione che un dispositivo introduce nei segnali elettrici che lo attraversano.

# Armoniche: cosa sono?

Le armoniche rappresentano un tipo di disturbo presente negli impianti elettrici.

## Definizione di Armonica (EN61642):

*«Una delle componenti ottenute dalla composizione nella serie di Fourier di un'onda periodica di tensione o di corrente».*

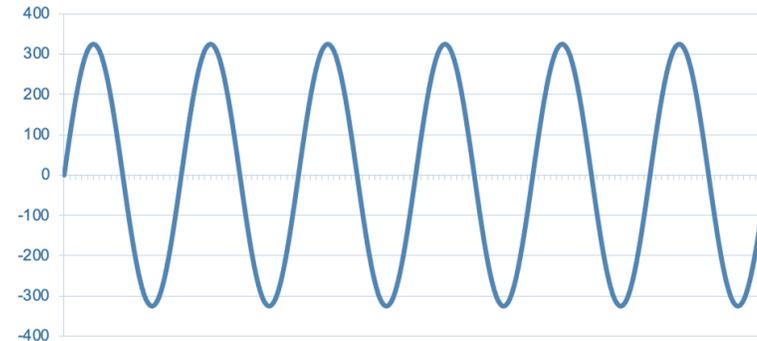
Le armoniche sono prodotte dal funzionamento delle apparecchiature elettriche - sia generatori sia utilizzatori – e la loro presenza può produrre malfunzionamenti e rotture sui dispositivi elettrici connessi all'impianto.



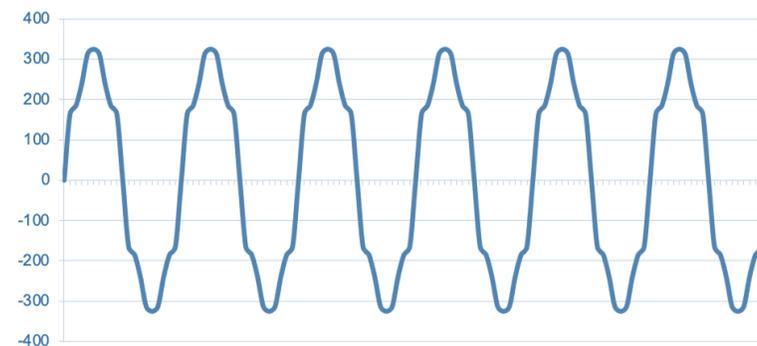
# Forme d'onda di Tensione e Corrente

Le armoniche rappresentano un tipo di disturbo presente negli impianti elettrici.  
La tensione ideale ha una forma d'onda regolare, chiamata sinusoidale.

Se il carico è di tipo **lineare**, anche la forma d'onda della corrente assorbita è sinusoidale.



Se il carico è di tipo **non lineare**, la forma d'onda della corrente assorbita è non sinusoidale.

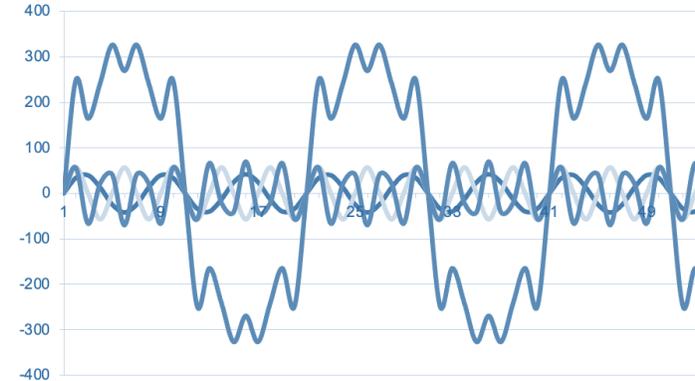


# Teorema di Fourier

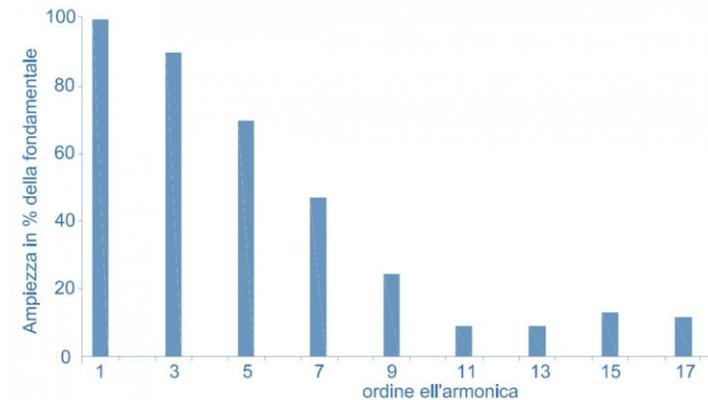
Consente di considerare l'onda non sinusoidale come sommatoria di onde di tipo sinusoidale.  
 Ogni onda sinusoidale, addendo della sommatoria di onde, è chiamata armonica.

Ogni componente armonica è caratterizzata da una ampiezza e da una frequenza propria (ordine):

- Armonica ordine 1 ( $f_1$  frequenza fondamentale), ampiezza  $I_1$
- Armonica ordine 5, frequenza  $5 \cdot f_1$ , ampiezza  $I_5$
- Armonica ordine 7, frequenza  $7 \cdot f_1$ , ampiezza  $I_7$
- Armonica ordine 11, frequenza  $11 \cdot f_1$ , ampiezza  $I_{11}$



Il contenuto armonico è rappresentabile graficamente con un diagramma a barre, detto «**spettro armonico**», che mostra l'ampiezza di ogni singola componente armonica.



## Definizioni

---

Ogni armonica contribuisce alla definizione della ampiezza complessiva (valore efficace rms):

$$IRMS = \sqrt{I1^2 + I2^2 + I3^2 + I4^2 + I5^2 + \dots \dots}$$

La presenza complessiva di armoniche è misurata con il parametro THD:

$$THDI = \frac{\sqrt{I2^2 + I3^2 + I4^2 + I5^2 + \dots \dots}}{I1} \times 100$$

E tramite il parametro TDD (Total Demand Distorsion):

$$TDD = \frac{\sqrt{I2^2 + I3^2 + I4^2 + I5^2 + \dots \dots}}{ILmax} \times 100$$

## Armoniche: cosa causano?

---

Di seguito vengono riportate le principali conseguenze delle armoniche:

- Surriscaldamento e vibrazioni con invecchiamento precoce di tutte le parti, con effetti a breve e medio termine sull'aspettativa di vita
- Guasti sulle apparecchiature di elettronica di potenza (es. VFD)
- Sovraccarichi del motore elettrico
- Danni ai componenti dei circuiti stampati
- Condensatori invecchiamento precoce e danni a causa della risonanza
- Sovraccarico del cavo neutro
- Riduzione del fattore di potenza
- Influenze elettromagnetiche
- Errori di misura sui contatori di energia (non elettronici)
- Guasti di interruzione MCCB e contattori
- Intervento errato dell'interruttore



# Armoniche: cosa le genera?

Di seguito vengono riportati gli apparecchi generatori di armoniche più comuni:

- Alimentatori a commutazione
- Saldatrici
- UPS
- Vecchi convertitori di frequenza con tecnologia del convertitore di potenza a tiristori
- Azionamenti a motore
- Convertitori con raddrizzatori controllati
- Controller CC per azionamenti CC
- Forni ad induzione



# Armoniche: dove trovarle?

Di seguito vengono riportati i luoghi dove è più frequente riscontrare una elevata presenza di armoniche:

- Ospedali
- Università, ministeri,
- Centri commerciali
- Laboratori
- Industrie pesanti
- Radio, TV, Broadcasting
- Industria alimentare
- Hotel e casinò
- Industria altamente automatizzata
- Impianti trattamento acque



Di seguito vengono riassunti i principali riferimenti legislativi posti a contenimento delle più frequenti perturbazioni nella rete di alimentazione:

- o Le norme europee **EN 61000-2-2**, **61000-2-4**, **EN 61000-3-2**, **61000-3-4**, **EN 61000-3-12** stabiliscono valori soglia per le oscillazioni armoniche di reti e dispositivi;
- o La raccomandazione del settore **IEEE 519** fornisce tabelle per correnti e tensioni armoniche nel punto di accoppiamento comune (PCC);
- o I fornitori di energia nella maggior parte dei paesi hanno stabilito standard di Power Quality e sono determinati a farli rispettare;
- o La Norme **EN 50160** descrive i limiti entro i quali le caratteristiche della tensione possono essere attesi ai punti di alimentazione da reti elettriche pubbliche europee.

La Norma EN 50160 definisce i seguenti limiti di **tensione armonica**:

- o la distorsione armonica totale (THD) della tensione di alimentazione non deve superare l'**8%**.
- o valori efficaci di ogni singola tensione armonica, devono rientrare nei limiti in tabella

Armoniche dispari				Armoniche pari	
Non multiple di 3		Multiple di 3			
Ordine h	Ampiezza relativa $u_h$	Ordine h	Ampiezza relativa $u_h$	Ordine h	Ampiezza relativa $u_h$
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6 ... 24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

La Norma IEEE519 definisce i seguenti limiti di **corrente armonica**:

<b>Maximum harmonic current distortion in percent of <math>I_L</math></b>						
<b>Individual harmonic order (odd harmonics)<sup>a, b</sup></b>						
$I_{SC}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$> 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

- o  $I_{SC}$  è la corrente di corto circuito impianto
- o  $I_L$  è la corrente massima impianto

## Limiti Correnti Armonica: Calcolo dei valori $I_{sc}$ e $I_L$

Trasformatore = 630kva | vcc=6% | Un 400V

Carico = potenza massima 480kVA | 450kW PF0,937

$$I_{sc} = \frac{100}{v_{cc}\%} \times \frac{A_T}{\sqrt{3} \times U_n} \rightarrow I_{sc} = \frac{100}{6} \times \frac{630000}{\sqrt{3} \times 400} = 15155 \cong 15kA$$

$$I_L = \frac{1000 \times kVA_{MAX}}{\sqrt{3} \times U_n} \rightarrow I_L = \frac{480000}{\sqrt{3} \times 400} \cong 693A$$

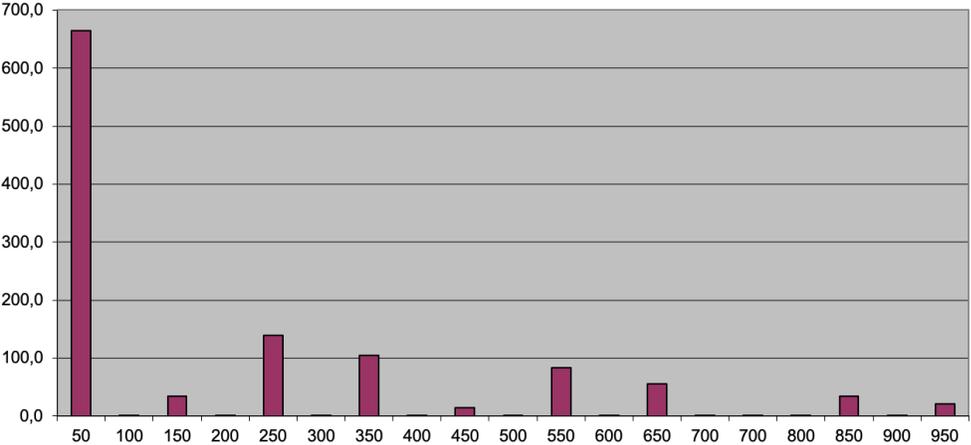
# Soluzioni per la riduzione delle Armoniche

$$I_L = 693A$$

$$I_{SC} = 15000A$$

$$I_{SC}/I_L = 21,6$$

Analisi armonica carico: TDD=29,9%



Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$						
Individual harmonic order (odd harmonics) <sup>a, b</sup>						
$I_{SC}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 <sup>c</sup>	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

TDD massimo ammesso = 8% -> bisogna ridurre le armoniche

# Soluzioni per la riduzione delle Armoniche

L'offerta di COMAR prevede sia soluzioni di filtraggio passivo sia attivo:



**Filtraggio per singole armoniche** o per singoli carichi non lineari (es. per raddrizzatori a 6 impulsi).

Questi sistemi possono essere progettati solo in modo passivo e non si adattano attivamente alla situazione.



**Compensazione attiva** delle correnti armoniche a spettro di frequenze, fino al 49° ordine.

Applicazioni: saldatrici, forni ad induzione, carichi continui, tutti i tipi di azionamenti a motore.

I filtri passivi per armoniche rappresentano una soluzione economica alla sfida della mitigazione delle armoniche applicata al carico nei sistemi di alimentazione trifase.

Tutte le configurazioni di filtri armonici passivi hanno un carattere capacitivo in quanto sono costruite con elementi induttivi, capacitivi e resistivi configurati e sintonizzati per essere utilizzati per controllare le armoniche.

L'approccio tecnico di tali filtri sintonizzati consiste nel fornire un percorso a bassa impedenza alle correnti armoniche a determinate frequenze.

I filtri armonici passivi non possono assorbire altre armoniche rispetto a quelle per cui sono progettati.

Pertanto, i filtri armonici passivi sono una **soluzione efficiente ed efficace se è necessario mitigare specifiche frequenze armoniche** solitamente prodotte da un'apparecchiatura specifica.



I filtri armonici attivi sono dispositivi di qualità dell'energia che **forniscono dinamicamente una corrente controllata che ha la stessa ampiezza della corrente armonica, che viene iniettata in opposizione alle armoniche presenti.**

Questo annulla le correnti armoniche nel sistema elettrico.

Di conseguenza, la corrente fornita dalla fonte di alimentazione rimarrà sinusoidale poiché le armoniche si annulleranno a vicenda e la distorsione armonica sarà ridotta a valori molto bassi (tipicamente a meno del 5%).

I filtri attivi possono essere installati in qualsiasi punto di una rete e offrono molte funzionalità:

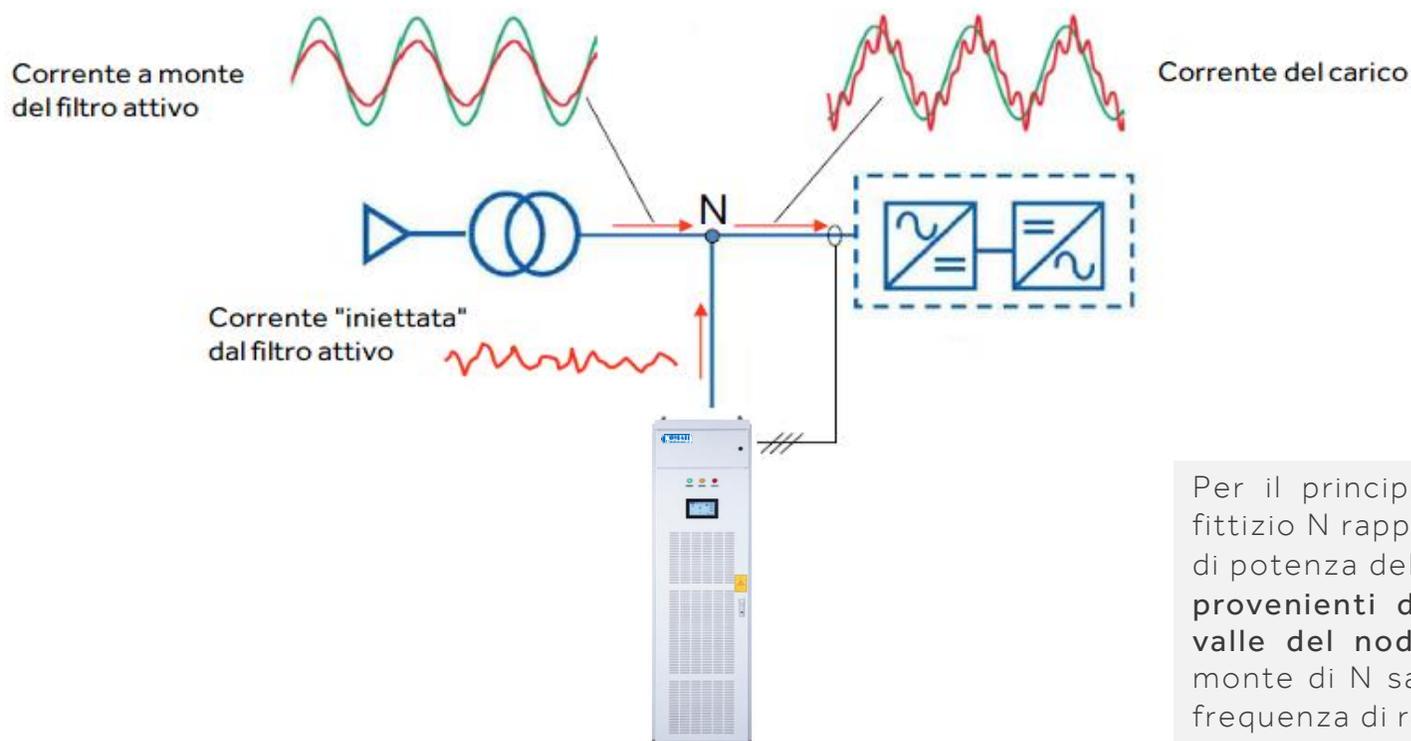
- o Eliminare tutte le correnti armoniche dai carichi non lineari\*
- o Compensare la potenza reattiva e correggere il fattore di potenza
- o Compensare lo sfarfallio (flicker) causato dalla potenza reattiva

\*fino al 50° ordine



# Filtri Attivi: Principio di Funzionamento

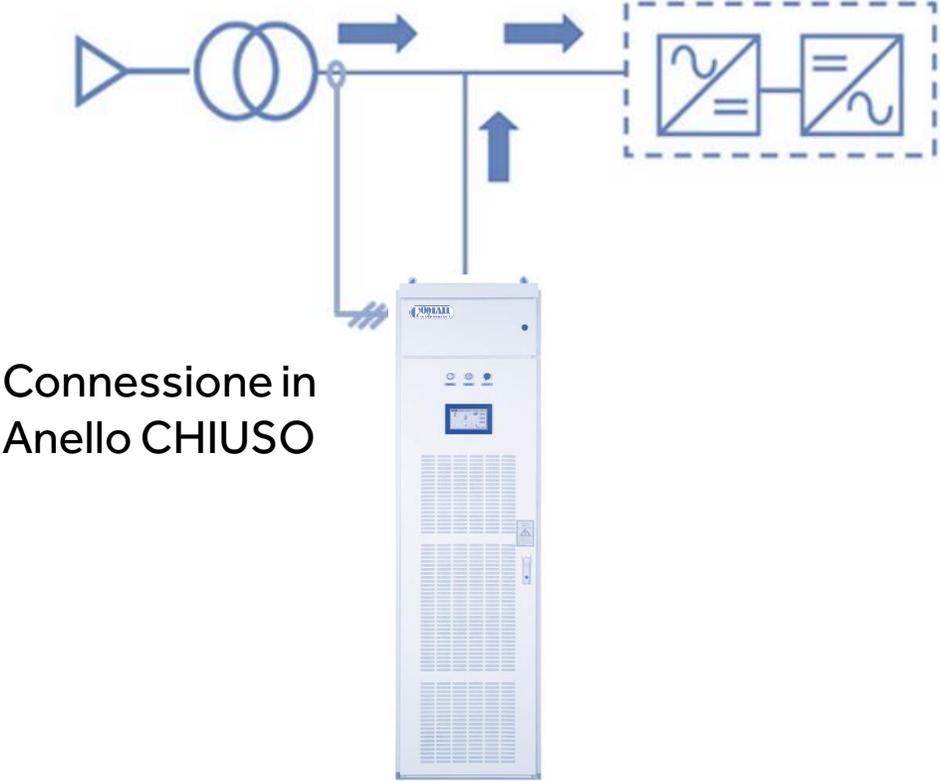
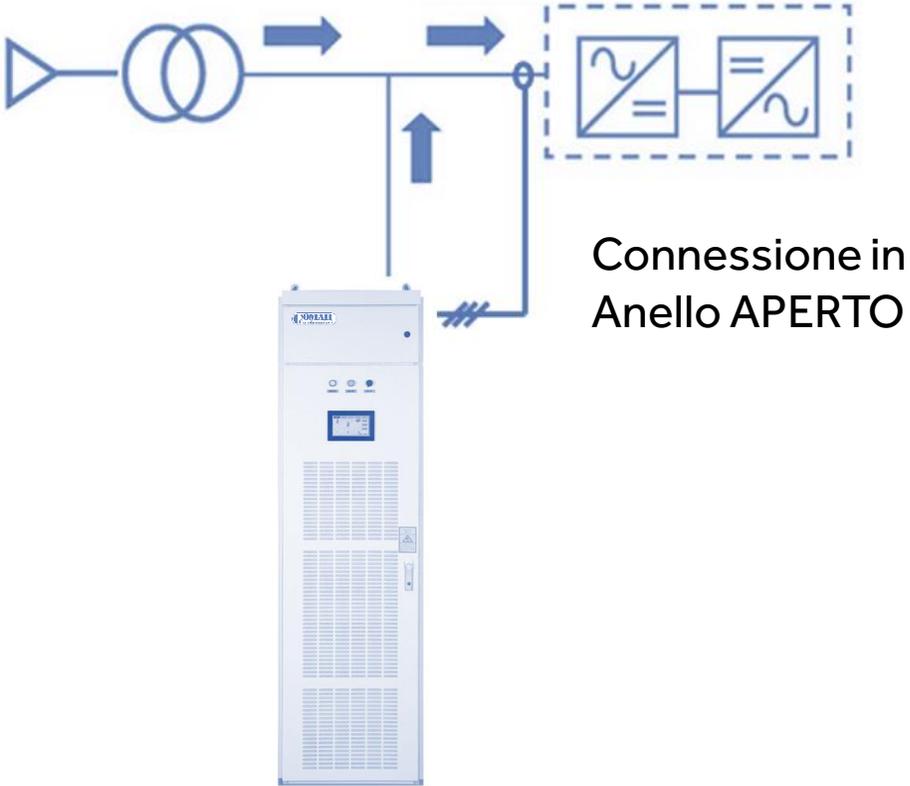
Allo stesso modo di un rifasatore, il filtro attivo è un sistema che si collega in derivazione all'impianto ed agisce come un generatore «ideale» di corrente, in grado di generare simultaneamente correnti con frequenza differente (tipicamente nel range tra 50Hz e 2500Hz). Tramite TA esterni, montati nel punto dell'impianto dove si vuole effettuare la riduzione della distorsione della corrente, il filtro attivo misura le correnti armoniche ed «inietta» (con angolo di  $180^\circ$  e quindi in controfase) correnti armoniche uguali, per modulo e frequenza, a quelle misurate.



Per il principio di Kirchhoff, applicato al nodo fittizio N rappresentato dal punto di connessione di potenza del filtro attivo, **le correnti armoniche provenienti dalle utenze non lineari situate a valle del nodo saranno annullate**, e dunque a monte di N sarà presente solo la componente a frequenza di rete.

# Filtri Attivi: Schema di Collegamento

La misura della corrente viene eseguita con appositi TA, in open loop o close loop:



## Filtri Attivi: Dimensionamento

Per il dimensionamento del filtro attivo è necessario conoscere l'entità della **corrente armonica** da compensare. Normalmente viene eseguita una analisi di rete per rilevare:

- THDI o TDD del carico da filtrare
- $I_L$  Corrente massima del carico da filtrare

La corrente armonica per il dimensionamento del filtro attivo vale:

$$I_{filtro} = I_{armonica} = TDD \times I_L \quad \text{oppure:} \quad I_{filtro} = I_{armonica} = THD \times I_1$$

*In condizioni di massimo carico*

### Esempio

Carico = potenza massima 480kVA | 450kW PF0,937 |  $I_L = 693A$

Analisi armonica carico = TDD = 29,9%

La corrente armonica per il dimensionamento del filtro attivo vale

$$I_{filtro} = I_{armonica} = TDD \times I_L = 0,299 \times 693 = 207Amp$$

# Contatti



Contattateci per una consulenza gratuita:



Telefono  
[051 733383](tel:051733383)



E-mail  
[italy@comarcond.com](mailto:italy@comarcond.com)

