

Nell'analisi e nella gestione degli impianti elettrici si rende sempre più indispensabile tenere conto della presenza di armoniche di tensione e corrente, conseguenti all'incremento dei carichi elettronici.

In questo articolo si presenterà il problema dell'inquinamento armonico, dalla sua origine fino alle possibili soluzioni

**Elisabetta Tedeschi**

## Seconda Parte

**T**rattando del rifasamento, in un precedente articolo, si è accennato al fatto che, attualmente, anche nell'affrontare problemi classici dell'impiantistica elettrica, progettisti e installatori si trovano a confrontarsi con una realtà diversa rispetto al passato, come conseguenza soprattutto di due aspetti, ovvero la crescente diffusione di generatori distribuiti e la presenza di armoniche di tensione e di corrente nelle reti elettriche. Obiettivo di questo articolo è quello di evidenziare in particolare come il problema dell'inquinamento armonico si ripercuota sul funzionamento degli impianti elettrici e quali siano i provvedimenti tradizionali, ma anche innovativi, per la sua limitazione, con i relativi vantaggi e svantaggi. Con l'occasione si ricorda in particolare agli installatori che ogni intervento pur di semplice rifasamento, cioè di compensazione della potenza reattiva, anche alla luce di quanto più oltre osservato, presenta

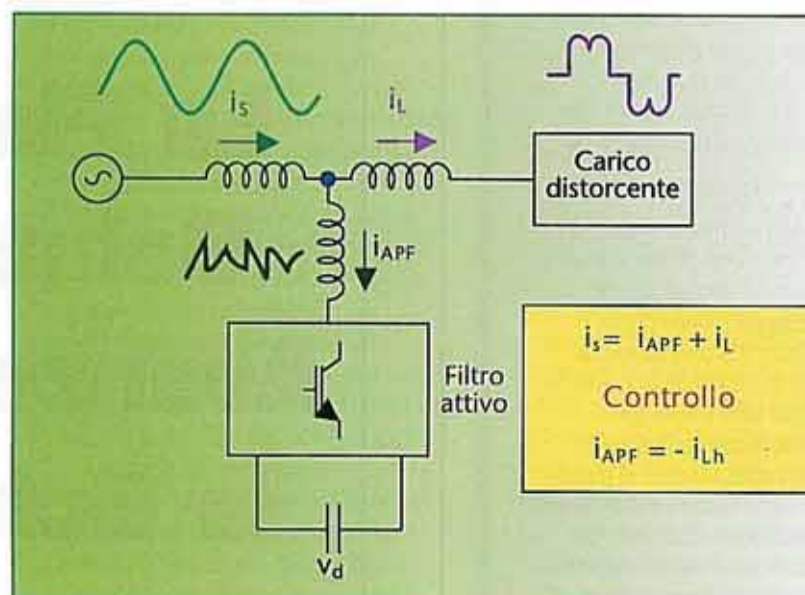
aspetti delicati sotto vari punti di vista e deve essere condotto su indicazioni di un preciso e dettagliato progetto, redatto da professionista abilitato (ex lege 37/2008), che sotto tutti i profili, non certo ultimo quello della sicurezza, si rende responsabile delle stesse. Negli ultimi decenni si è assistito a una diffusione sempre più capillare di carichi elettronici distorcenti, sia monofasi (dispositivi per l'illuminazione e il riscaldamento domestico, TV, computer, condizionatori ecc.), che trifasi (motori a velocità variabile, carichi industriali come forni ad arco ecc.). Come conseguenza la rete si è trovata a operare in condizioni sempre meno ideali, per una specie di effetto domino; infatti se un carico assorbe una corrente con molte armoniche, come è tipico di tutte le utenze sopra citate, si registrano effetti negativi anche per tutti gli altri carichi collegati alla stessa linea di alimentazione. Questo perché la rete non è ideale ed è caratterizzata da un'impedenza non nulla. L'assorbimento, da parte di un carico, di una corrente non sinusoidale causa una corrispondente caduta di tensione su tale

impedenza di linea, così la tensione che si rende disponibile agli utilizzatori collegati a valle di tale impedenza non è più sinusoidale, ma anch'essa distorta.

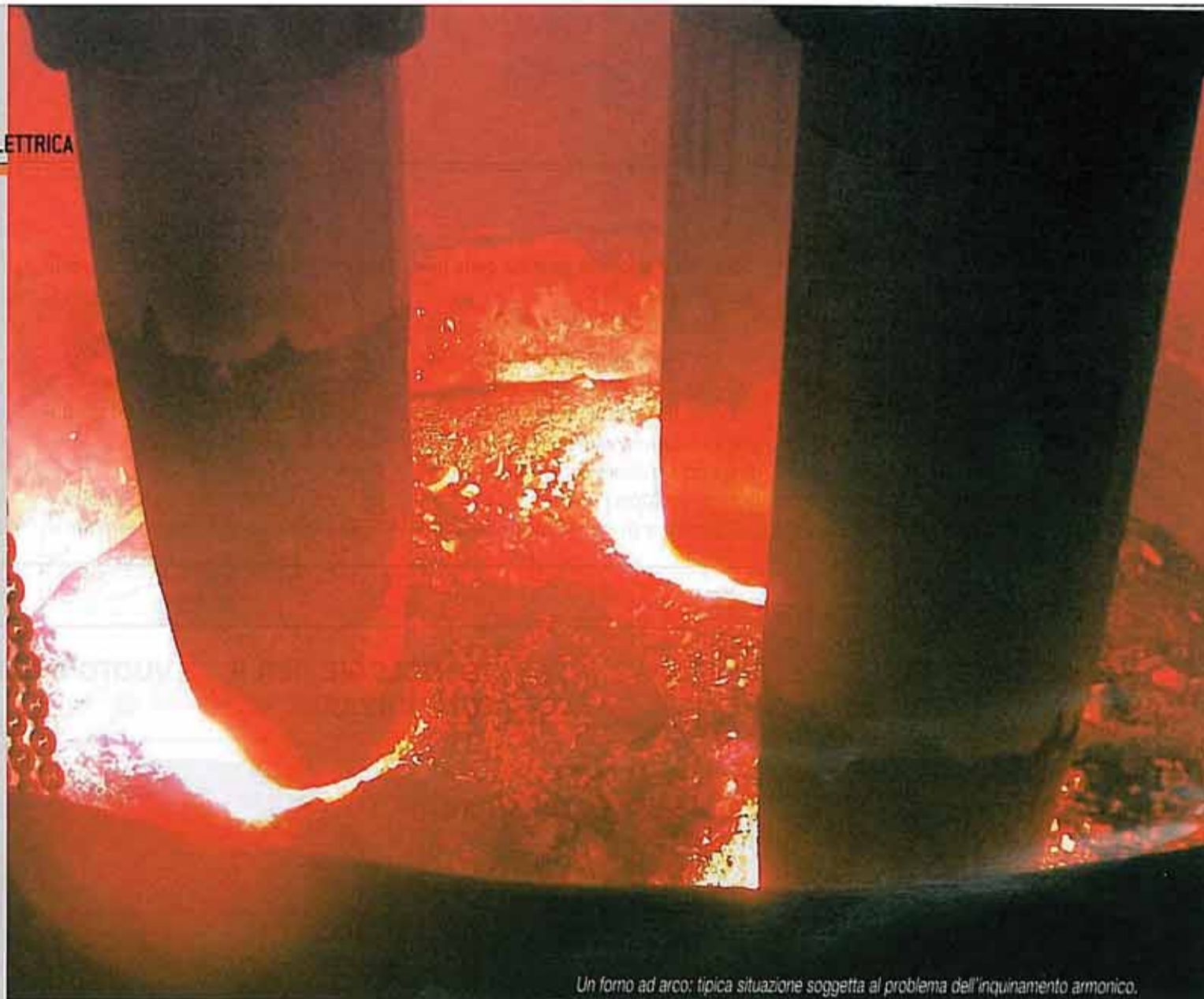
### Conseguenze indesiderate

Per questo anche carichi che di per sé non sono distorcenti (come pure gli stessi

condensatori di rifasamento) risultano essere alimentati da una tensione distorta e ciò con molte conseguenze indesiderate. Tra queste le principali sono: malfunzionamenti nelle apparecchiature elettriche, surriscaldamenti, vibrazioni indesiderate ma anche veri e propri guasti. È interessante in particolar modo considerare cosa

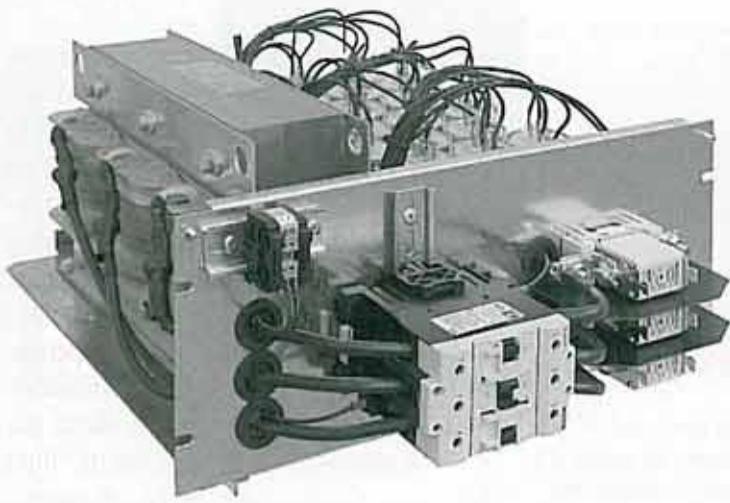


Filtro attivo: convertitore di potenza che, con un adeguato controllo, elimina le componenti armoniche indesiderate (ed esegue potenzialmente anche il rifasamento).

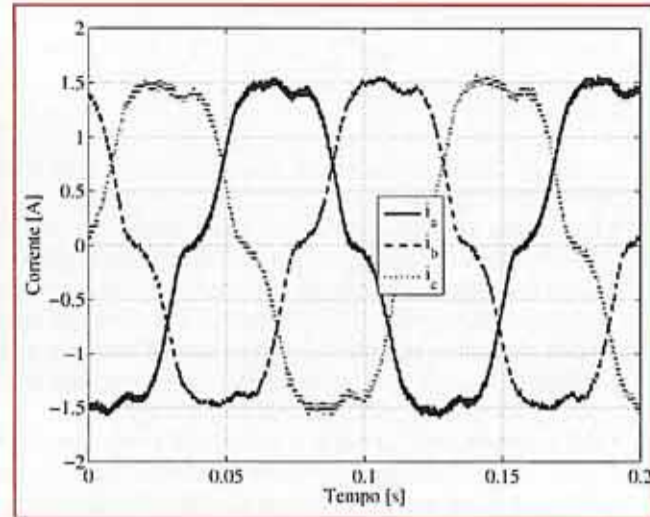


Un forno ad arco: tipica situazione soggetta al problema dell'inquinamento armonico.

# Rifasamento: nuovi scenari



Condensatori con induttanza di sbarramento (Fonte: Icar).



Correnti distorte: schema rappresentativo.

accade ai condensatori di rifasamento che siano inseriti in una rete con elevato inquinamento armonico. I condensatori sono particolarmente sensibili al problema delle armoniche, poiché la loro impedenza decresce all'aumentare dell'ordine delle armoniche presenti. Ciò determina un aumento della corrente assorbita dai condensatori (con conseguenti problemi di surriscaldamento), la quale, pertanto, già in sede progettuale, va cautelativamente maggiorata del 30% (oltre a un 10% per tener conto delle tolleranze sul valore della capacità dei condensatori) nel dimensionamento di cavi e dispositivi di protezione, come accennato nella prima parte di questo articolo. Per tenere conto dell'elevato contenuto armonico, la cui origine verrà meglio chiarita più avanti, si ricorre a una maggiorazione in tensione degli stessi, ad esempio del 10%. In questo caso potranno essere scelti condensatori con tensione nominale di 440 V per reti esercite a 400 V. A questo proposito, tuttavia, è utile far osservare che la potenza reattiva che il banco di rifasamento mette in gioco, va però calcolata tenendo conto dell'effettiva tensione di lavoro del dispositivo (400 V) ed è pertanto ridotta rispetto a quella nominale, che si avrebbe invece se il condensatore fosse alimentato alla tensione di 440V. I molti e indeside-

rati effetti che le armoniche hanno sugli apparecchi elettrici spingono alla ricerca di soluzioni per la loro riduzione.

**Filtri passivi**

Uno dei provvedimenti più diffusi per la cosiddetta "compensazione armonica" è l'inserimento di filtri passivi, caratterizzati da un alto livello di standardizzazione e da un costo contenuto. Il modo più semplice per evitare che le armoniche di corrente prodotte da un carico distorto influenzino il resto della rete è quello di inserire un semplice filtro LC serie, in parallelo al carico stesso. È utile richiamare che un filtro LC ideale è costituito dalla connessione in serie di un induttanza, L, e di un condensatore, C, ed è caratterizzato da una frequenza di risonanza calcolata come:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

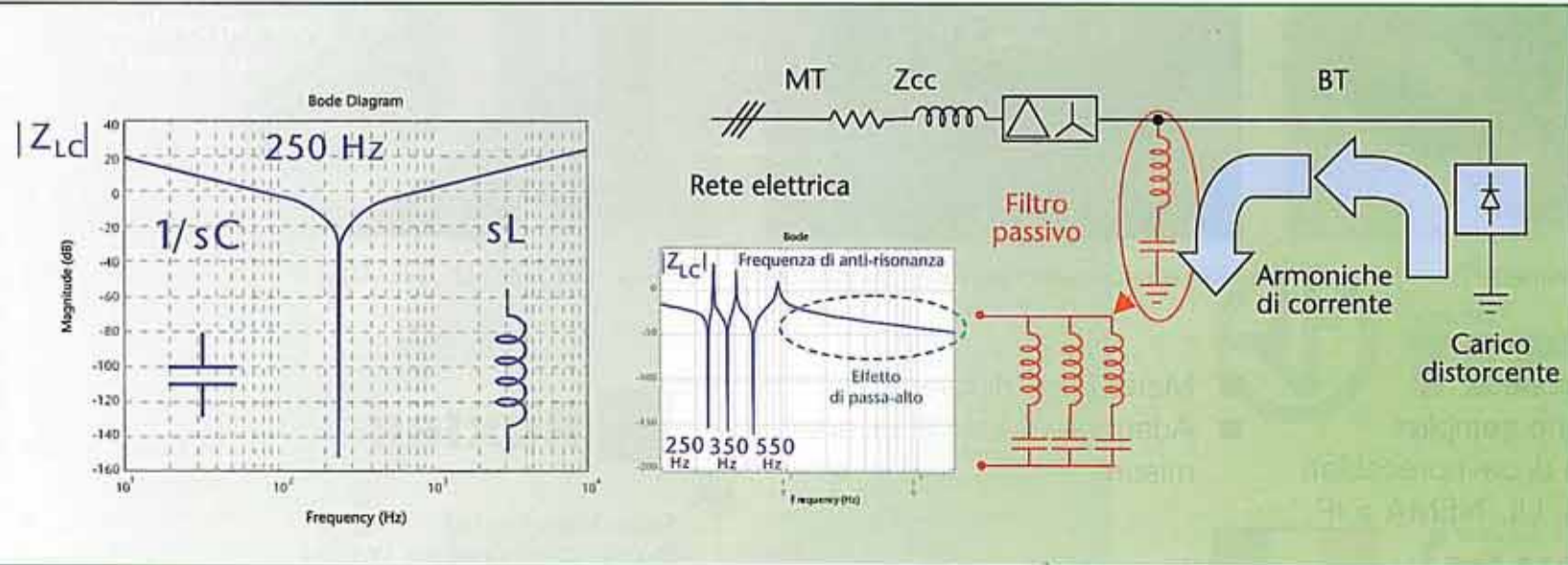
La frequenza di risonanza rappresenta la frequenza alla quale il filtro LC si comporta idealmente come un corto circuito. Nella pratica il filtro LC risulta un'impedenza molto bassa a quella frequenza (la frequenza di accordo del filtro) e pertanto le armoniche generate dal carico e prossime a tale frequenza

si richiuderanno attraverso il filtro LC senza interessare la rete a monte. Ciò che è interessante notare è che alle frequenze inferiori a quelle di accordo, il filtro LC si comporta di fatto come un condensatore, pertanto esso può essere praticamente impiegato per il rifasamento che è associato alla frequenza fondamentale di 50 Hz. Nelle applicazioni pratiche per la riduzione dell'inquinamento armonico si usano in genere molti rami LC accordati a diverse frequenze (tipicamente quelle delle armoniche prevalenti nel carico) e collegati tra loro in parallelo. Dal momento che i rami accordati sono in numero limitato per ragioni di costo, a essi si associa un filtro passa alto, per eliminare le armoniche di ordine più elevato. Nonostante l'inserimento di filtri passivi LC sia il provvedimento più diffuso per la riduzione dell'inquinamento armonico, esso è associato ad alcuni aspetti negativi non trascurabili. Il primo è relativo al fatto che i filtri passivi hanno un elevato livello di interazione con la rete elettrica nella quale sono inseriti, ed in particolare possono originare condizioni di risonanza parallelo con essa. Ciò significa che, se la frequenza di accordo del filtro (in cui il valore dell'induttanza L venga stavolta addizionata anche del contributo dato dall'impedenza di rete) risulta prossi-

ma ad una delle armoniche di corrente generate dal carico, il filtro è soggetto a sovratensioni estremamente elevate. Nell'installazione dei filtri passivi bisogna inoltre fare attenzione ad altri aspetti. Il primo riguarda il fatto che il filtro LC connesso alla rete offre una via a bassa impedenza per le armoniche prodotte da tutti i carichi distorti che si trovano in sua prossimità, anche quelli eventualmente non previsti. Ciò deve essere accuratamente tenuto in considerazione fin dalla fase progettuale e richiede normalmente un sovradimensionamento del filtro LC. Inoltre, all'atto dell'inserimento di un filtro LC, bisogna tenere conto che, se esso viene a trovarsi in parallelo a un altro filtro dello stesso tipo, dal momento che costruttivamente i due non possono avere esattamente la stessa frequenza di accordo, si possono verificare due situazioni egualmente indesiderabili. Nel caso in cui uno dei due filtri sia esattamente accordato sull'armonica di interesse e l'altro no, ciò determina un sovraccarico del primo dispositivo e uno scarso impiego del secondo. Ancor peggio, se uno dei due filtri ha una frequenza di risonanza leggermente inferiore al previsto e l'altro leggermente superiore, si finisce per ottenere l'effetto esattamente opposto a quello desiderato, ovvero una significativa amplificazione della corrente armonica (condizione di risonanza parallelo).

**Condensatori di rifasamento**

È utile osservare che le considerazioni fatte per i filtri armonici e i problemi legati alla possibile interazione con la rete elettrica possono interessare anche i condensatori di rifasamento, per la presenza dell'induttanza di rete che di fatto dà origine ad un circuito di tipo LC. Proprio per evitare condizioni incontrollate di risonanza con la rete, spesso i condensatori sono provvisti di una reattanza serie che permette (oltre che di limitare le correnti di inserzione) di spostare la frequenza di risonanza al di sotto della più bassa delle armoniche che sono presenti nel circuito, ovvero generalmente tra i 135 e i 210 Hz. Fino ad ora si è fatto cenno prevalentemente alla presenza di condizioni di lavoro non sinusoidali per la presenza di armoniche di corrente generate dai carichi. Si vuole tuttavia accennare al fatto che anche la possibile presenza di componenti armoniche nella tensione ha degli effetti negativi sul



**Tipologie di filtri LC**

Filtro passivo: dispositivo per la compensazione armonica costituito da soli componenti passivi (induttanze, condensatori e resistenze), opportunamente collegati.

funzionamento dei dispositivi elettrici e dei filtri passivi. In quest'ultimo caso il rischio è che si verifichi una condizione di risonanza serie con l'impedenza della rete elettrica per cui alla frequenza di risonanza il ramo LC è parte di un circuito a bassa impedenza, così che, se la tensione di alimentazione contiene componenti armoniche proprio a quella frequenza, queste determinano elevati valori di corrente.

### Per una scelta corretta

Tutte le considerazioni fatte fin qui sono importanti perché il tecnico possa correttamente orientare le proprie decisioni, ad esempio in relazione alla scelta dei condensatori. È noto ad esempio che i condensatori in polipropilene metallizzato (condensatori standard) presentano una diminuzione della capacità con l'invecchiamento, che può portare a variazioni del 5% in 2 o 3 anni. Per quanto detto sopra, la variazione della capacità in gioco fa variare anche la frequenza di risonanza e ciò può rischiare di avvicinare il sistema ad una condizione di risonanza parallelo, con i conseguenti problemi. Per evitare

## Le armoniche

Di seguito, l'elenco dei principali effetti indesiderati delle armoniche sui principali carichi elettrici e sulla rete.

- **Per la non idealità** della rete elettrica le distorsioni della corrente si accompagnano a corrispondenti distorsioni nelle tensioni.
- **Nelle linee elettriche** circolano correnti maggiori che richiedono sovradimensionamenti non solo dei cavi ma anche dei dispositivi di protezione.
- **Nelle macchine rotanti** si generano coppie parassite e vibrazioni che ne riducono la durata meccanica, oltre a surriscaldamenti dovuti all'aumento delle perdite con relativo danneggiamento dell'isolamento.
- **Nei trasformatori** aumentano sia le perdite nel rame che nel ferro con possibile surriscaldamento e danneggiamento degli avvolgimenti. Se inoltre vi è presenza di componenti continue queste possono determinare la saturazione del nucleo magnetico determinando l'aumento della corrente magnetizzante.
- **I condensatori** ne risentono per l'aumento del riscaldamento e della tensione che ne provocano una riduzione della vita media.
- **Si corre il rischio** di risonanze e sovraccarico dei filtri.

questo rischio e garantire un valore costante di capacità nel tempo è invece necessario utilizzare condensatori di tipo diverso, come quelli realizzati in carta bimetallizzata e polipropilene totalmente impregnato.

In definitiva quando si decide di ricorrere a un filtro passivo per ridurre l'inquinamento armonico in una rete elettrica è necessario considerare attentamente:

- l'impedenza della rete, legata alla potenza di cortocircuito della stessa
- la presenza di altri carichi distorcenti ed eventuali altri filtri installati in prossimità
- la tipologia dei condensatori da utilizzare.

Tuttavia proprio i vari inconvenienti legati all'inserimento dei filtri passivi in una rete elettrica hanno incoraggiato la ricerca di soluzioni tecniche differenti per



Filtro attivo BT (Fonte: Icar).

la compensazione armonica. In particolar modo la soluzione che sta riscuotendo crescente interesse e che è destinata a costituire il futuro della compensazione armonica è quella offerta dai

cosiddetti "filtri attivi (di potenza)". Si tratta di dispositivi elettronici, inseriti in parallelo al carico generatore di armoniche e opportunamente controllati, i quali iniettano in rete, con il segno opposto, tutte le armoniche indesiderate generate dal carico. Così la corrente che viene fornita dalla rete risulta perfettamente sinusoidale. Rispetto ai filtri passivi, i filtri attivi sono caratterizzati da maggiore flessibilità e realizzano la compensazione armonica (nonché, potenzialmente e senza oneri aggiuntivi, il rifasamento) senza il rischio di interazioni indesiderate con la rete elettrica a monte. Ciò che fino ad ora ne ha limitato l'utilizzo è il loro costo più elevato. ■