

Connessione alla **rete elettrica** e protezioni

1ª PARTE

NORMATIVA, LINEE GUIDA E DISPOSITIVI PER LA CONNESSIONE ALLA RETE DEGLI IMPIANTI FOTOVOLTAICI

■ di FRANCESCO GROPPI

L'inverter, come si è visto, assolve il compito fondamentale di convertire l'energia prodotta, in corrente continua, dal generatore fotovoltaico in energia compatibile con la rete elettrica e i carichi elettrici a questa allacciati.

Attualmente, più del 99% degli impianti fotovoltaici sono del tipo per servizio in rete o *grid-connected*. Per questi risulta fondamentale non soltanto produrre energia elettrica in modo compatibile

con i parametri elettrici della rete a cui sono allacciati, ma anche soddisfare tutte le prescrizioni che consentono di evitare il verificarsi di condizioni di inefficienza, disservizio o pericolo per la rete stessa e gli altri utenti allacciati.

Gli inverter utilizzati nel fotovoltaico hanno l'uscita in bassa tensione, in particolare a 230 V monofase o 400 V trifase se si vuole avere una connessione diretta con la rete di bassa tensione. Nei casi in cui invece è necessario fornire energia alla rete di media tensione o a quella di alta tensione è necessario ricorrere ad uno o più trasformatori in grado di portare la tensione al livello desiderato.

Le connessioni alle reti elettriche di media e alta tensione hanno attualmente come riferimento le Regole Tecniche di Connessione (RTC). Queste sono nate principalmente con lo scopo di uniformare l'accesso alla rete agli utenti attivi (produttori) e passivi (normali utilizzatori), indi-



pendentemente dal distributore locale di riferimento.

A tale scopo, l'Autorità per l'energia elettrica e il gas ha emesso la delibera ARG/elt 33/08 poi integrata e modificata dalla delibera ARG/elt 119/08. Quest'ultima contiene come allegato la norma CEI 0-16 seconda edizione "Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica".

La norma CEI 0-16 sostituisce tutti i documenti tecnici emanati dalle società elettriche in merito alla connessione alle reti di media e alta tensione. I documenti Enel DK5600, DK 5740, DK 5940 e DK 5640 sono quindi ritenuti non più validi.

È tuttavia facoltà delle società elettriche emettere delle guide tecniche, purché queste non siano in contrasto con i documenti emanati dall'Autorità per l'energia elettrica e il gas e dal CEI. Di grande interesse è la "Guida per le connessioni

alla rete elettrica di Enel distribuzione" di 213 pagine uscita nel dicembre 2008 e successivamente aggiornata nel dicembre 2009.

Poiché non è ancora uscita la norma, relativa alle connessioni in bassa tensione, ma che attualmente è in inchiesta pubblica e la cui pubblicazione sarà quindi imminente, la guida Enel prima citata costituisce di fatto, con carattere transitorio, il riferimento tecnico per i produttori sulla rete elettrica di bassa tensione. A questo proposito non sono da segnalare novità di rilievo rispetto al documento DK 5940.

Per via della vastità degli argomenti trattati, le modifiche introdotte dalla norma CEI 0-16, rispetto ai regolamenti esistenti, sono molteplici e riguardano, come si è detto sia le connessioni passive che quelle attive alle reti di media e alta tensione.

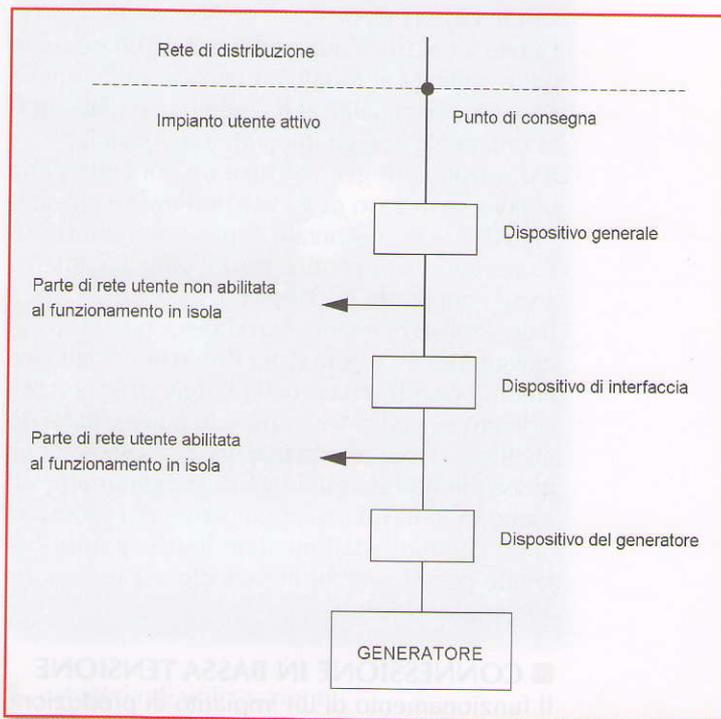
Gli aspetti procedurale e amministrativi delle connessioni attive sono invece trattati nella delibera ARG/elt 99/08, successivamente integrata e modificata dalle 179/08, 130/09 e 125/10, che prende il nome di Testo Integrato delle Connessioni Attive (TICA). In particolare, la delibera 125/10 con i propri allegati A e B, costituisce il testo completo che entrerà in vigore dal 1° gennaio 2011. La tabella 1 riporta i valori indicativi dei livelli di potenza che è possibile connettere alle reti di distribuzione secondo la norma CEI 0-16.

Come si può vedere, fino a 100 kVA la connessione è in bassa tensione, mentre tra 100 e 200 kVA il tipo di connessione può essere in bassa o media tensione. La scelta, in genere, dipende dalle condizioni della rete e dai carichi sulle linee nel sito considerato. A prescindere dagli aspetti normativi contenuti nella CEI 0-16, validi per utenti attivi e passivi, la TICA fissa dei limiti ai livelli di potenza per ciascun livello di tensione di rete, anche se nella sua ultima versione (Delibera ARG/elt 125/10) sono esplicitamente consentite delle deroghe ai valori indicati (100 kW massimi in BT e 6 MW massimi in MT).

TABELLA 1: Valori indicativi di potenza che è possibile connettere sui differenti livelli di tensione delle reti di distribuzione

Potenza MVA	Livello di tensione alla rete
< 0,1	BT
0,1 - 0,2	BT
	MT
0,2 - 3	MT
	AT
3 - 10	MT
	AT
10 - 100 impianti di utilizzazione	AT
10 - 200 impianti di produzione	

Figura 1: Schema generale di connessione di un impianto di produzione alla rete di distribuzione



Le connessioni monofase sono consentite in bassa tensione per potenze fino a 6 kW. E' inoltre possibile realizzare impianti trifasi con generatori monofasi purché lo squilibrio tra le fasi non superi i 6 kW.

Se l'utente è allacciato in media tensione, è possibile utilizzare inverter monofasi con protezione di interfaccia integrata, purché di potenza non superiore a 10 kW. Lo squilibrio massimo è quindi, in questo caso, di 10 kW per fase. È però necessario inserire all'uscita dell'impianto fotovoltaico un contattore onnipolare, con funzioni di interruzione e sezionamento, con la bobina alimentata dalla tensione di rete e che quindi funge anche da protezione di rincalzo (foglio di interpretazione F1 della norma CEI 0-16).

Se la potenza dell'impianto non supera i 50 kW, non è necessario che il Dispositivo Generale (DG) e il Sistema di Protezione Generale (SPG) siano adeguati alle Regole Tecniche di Connessione (RTC) per la media tensione.

Indipendentemente dal livello di tensione considerato (BT, MT o AT), sia la norma CEI 11-20 che la norma CEI 0-16 prevedono tre livelli di protezione per gli impianti allacciati alla rete pubblica, che in sintesi possono essere così elencati:

- dispositivo di generatore, per intervento su guasto del sistema di produzione;
- dispositivo di interfaccia, per intervento su guasto della rete pubblica;
- dispositivo generale, per intervento su guasto del sistema elettrico del produttore.

La figura 1 mostra la configurazione generale riportata nella norma, con indicata la collocazione dei dispositivi di protezione da inserire tra l'u-

scita del gruppo di conversione della potenza (sistema di produzione) e il punto di consegna alla rete BT, MT o AT.

La rete locale (rete auto produttore) può essere in parte abilitata al funzionamento in isola, anche se questa eventualità al momento si verifica molto raramente con gli impianti fotovoltaici.

Il dispositivo di generatore è un contattore che interviene in caso di guasto dell'inverter, mentre il dispositivo generale è spesso costituito dall'interruttore automatico posto immediatamente a valle del punto di consegna.

Il dispositivo di interfaccia è invece quello su cui maggiormente si concentra l'attenzione delle società di distribuzione dell'energia, perché considerato di maggiore importanza per il servizio elettrico. La sua mancata apertura a seguito di un guasto della rete pubblica potrebbe infatti, almeno in teoria, far sì che il generatore fotovoltaico continui ad alimentare il guasto, introducendo così situazioni di pericolo per le persone e le apparecchiature.

■ CONNESSIONE IN BASSA TENSIONE

Il funzionamento di un impianto di produzione in parallelo alla rete Enel è subordinato ad alcune condizioni di esercizio, tra le quali hanno particolare rilevanza le seguenti:

- Non devono causare disturbi alla continuità e alla qualità del servizio sulla rete pubblica, in caso contrario il collegamento con la rete si deve interrompere immediatamente ed automaticamente. Pertanto, ogniqualvolta si verifici un guasto nell'impianto del produttore, questo deve scollegarsi senza provocare l'intervento delle protezioni installate sulla rete Enel.
- Il parallelo deve inoltre interrompersi immediatamente ed automaticamente ogniqualvolta manchi l'alimentazione della rete o i valori di tensione e frequenza della stessa non siano compresi entro i limiti consentiti. Tale condizione di distacco deve proseguire fintanto

che permane la condizione di mancanza tensione o di valori di tensione e frequenza sulla rete non risultino compresi nel campo di variabilità consentito.

- L'interruzione immediata ed automatica del parallelo deve inoltre verificarsi ogniqualvolta il valore di squilibrio della potenza generata da impianti trifase realizzati con generatori monofase non sia compreso entro il valore massimo consentito per gli allacciamenti monofase. Tale condizione di distacco deve proseguire fintanto che i valori dello squilibrio non risultano compresi nel campo consentito.

A tale scopo, lo schema di base del collegamento alla rete pubblica di un impianto di produzione deve essere conforme a quello di figura 1. Esso non riporta la posizione di inserimento del sistema di misura dell'energia e delle ulteriori apparecchiature (servizi ausiliari, protezioni, rifasamento ecc.) ma evidenzia i confini di competenza, ai fini dell'esercizio e manutenzione, fra l'impianto (o rete) del produttore e la rete, nonché le funzioni dei dispositivi richiesti per la connessione.

Alcuni organi di manovra presenti in figura 1 possono essere accorpati fra di loro, purché fra il punto di consegna della rete pubblica ed il singolo generatore sia sempre presente almeno un organo di interruzione automatico conforme alle prescrizioni specificate nel seguito.

■ DISPOSITIVO DI INTERFACCIA IN BASSA TENSIONE

Il dispositivo di interfaccia (DDI) è installato nel punto di collegamento della porzione di impianto eventualmente abilitata al funzionamento in isola alla restante parte dell'impianto del produttore. L'apertura del dispositivo d'interfaccia assicura la separazione di tutto l'impianto di produzione dalla rete pubblica.

Il dispositivo di interfaccia deve essere "a sicurezza intrinseca" cioè essere dotato di bobina di apertura a mancanza di tensione. Tale bobina, ali-



mentata in serie ai contatti di scatto del sistema di protezione di interfaccia, deve provocare l'apertura del dispositivo in uno dei seguenti casi:

- corretto intervento delle protezioni,
- guasto interno alle protezioni,
- mancanza di alimentazione.

Qualora il dispositivo di interfaccia sia posizionato internamente ad altre apparecchiature, quali ad esempio gli inverter, la conformità alle presenti prescrizioni e la caratteristica "a sicurezza intrinseca" deve essere certificata per tale apparecchiatura secondo le modalità prescritte nell'allegato AIB della "Guida per le connessioni alla rete elettrica di Enel Distribuzione", che prevede la stesura di un'apposita "dichiarazione di conformità" da parte di un laboratorio screditato a seguito delle prove specificate nel documento. Il dispositivo di interfaccia deve essere scelto e dimensionato sulla base della configurazione d'impianto; in particolare esso deve stabilire ed interrompere le correnti che, in condizioni di normale funzionamento, di perdita di rete e di guasto sulla rete pubblica, lo possono attraversare. In particolare, qualora lo schema elettrico dell'impianto non preveda la presenza di carichi privilegiati alimentati in isola dal generatore (o dai generatori), le caratteristiche del dispositivo di interfaccia devono tenere conto del fattore di potenza dell'energia prodotta.

In situazioni impiantistiche che prevedono l'alimentazione di carichi privilegiati a cura dei generatori, il dispositivo di interfaccia (posto a monte, lato rete) deve essere almeno in grado di interrompere correnti a $\cos \phi = 0,8$.

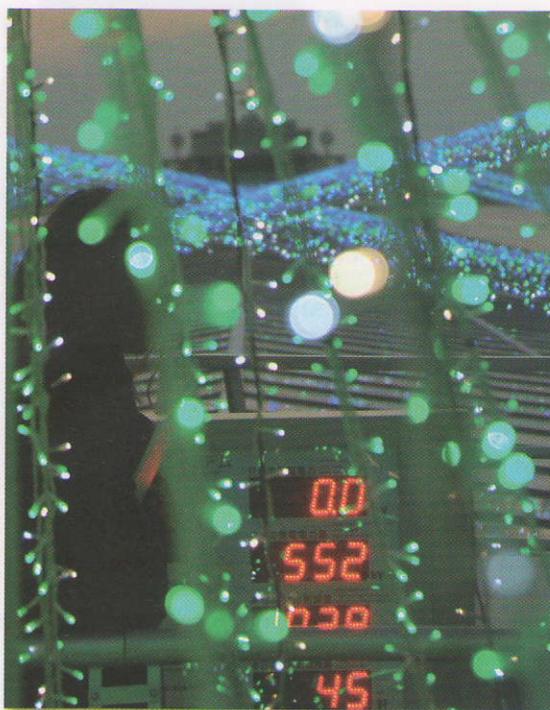
L'esecuzione del dispositivo di interfaccia deve inoltre soddisfare i requisiti sul sezionamento della Norma CEI 64-8.

Sono pertanto ammesse le seguenti tipologie:

- interruttore automatico con bobina ausiliaria a mancanza di tensione;
- contattore con bobina di apertura a mancanza di tensione, combinato con fusibile o con interruttore automatico;
- commutatore (inteso come interruttore di manovra CEI EN 60947-3) accessoriatato con bobina di apertura a mancanza di tensione combinato con fusibile o con interruttore automatico.

Solamente nel caso di dispositivo di interfaccia posizionato internamente al sistema di conversione, è ammesso l'impiego di tipologie diverse (ad esempio relè elettromeccanici) purché sia verificata e certificata, da laboratorio accreditato EA, l'equivalenza alle tipologie sopra indicate almeno per le seguenti caratteristiche:

- corrente e tensione nominale;
- potere nominale di chiusura e interruzione e relativi fattori di potenza;
- prestazioni in servizio;
- modalità di sezionamento e caratteristiche dei contatti principali;



- categoria di utilizzazione;
- sicurezza intrinseca;
- tensione d'isolamento e di tenuta.

In assenza di carichi elettrici del produttore o se tutto l'impianto del produttore può funzionare in isola, il dispositivo generale può svolgere le funzioni di dispositivo di interfaccia; in tal caso il dispositivo deve essere equipaggiato con doppi circuiti di apertura comandati rispettivamente da:

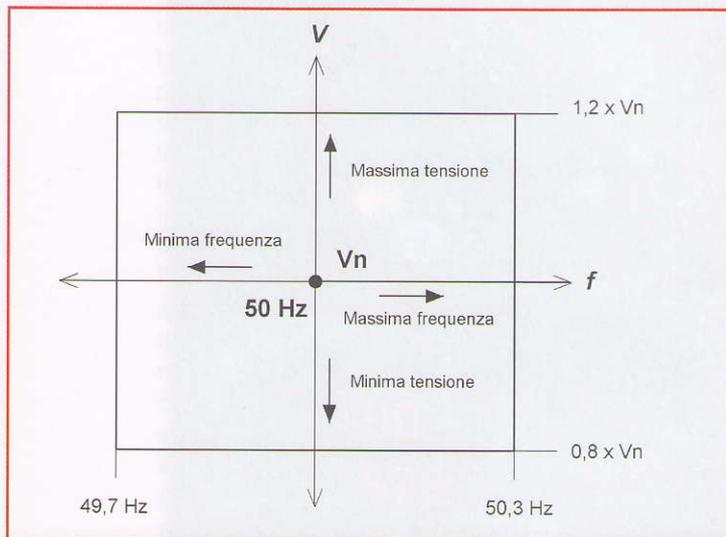
- sganciatori di massima corrente;
- bobina a mancanza di tensione, collegata al sistema di protezione di interfaccia.

Conformemente alle prescrizioni CEI 11-20;V1, la funzione di dispositivo di interfaccia deve essere svolta da un unico dispositivo che deve essere asservito alle protezioni di interfaccia. Qualora però l'impianto preveda una configurazione multi-generatore in cui siano presenti più sistemi di protezione di interfaccia associati a diversi generatori, questi dovranno comandare un unico dispositivo di interfaccia esterno, che escluda tutti i generatori dalla rete pubblica o, in alternativa, si dovrà impiegare una protezione dedicata ed esterna.

Tale requisito è richiesto al duplice scopo di migliorare l'affidabilità del sistema a garanzia della rete e consentire al produttore di rispettare le condizioni di funzionamento anche in caso di mancato intervento di uno o più sistemi di protezione SPI associati ai singoli generatori.

Tuttavia, per impianti di produzione collegati alla rete BT e di potenza complessiva ≤ 20 kW, se alimentati da inverter, e ≤ 50 kW, se alimentati da generatori rotanti, la funzione di interfaccia può essere svolta da più dispositivi distinti fino ad un massimo di tre, anche interni ad altri apparati ove previsto.

▼ **Figura 2:** Rappresentazione schematica delle soglie di intervento per le protezioni di interfaccia



■ **SISTEMA DI PROTEZIONE DI INTERFACCIA (SPI) IN BASSA TENSIONE**

Attualmente, le protezioni che devono intervenire sul dispositivo di interfaccia negli impianti di produzione connessi alla bassa tensione, come da norma CEI 11-20, sono le seguenti:

- minima frequenza;
- massima frequenza;
- minima tensione;
- massima tensione;
- eventuale altra protezione di perdita di rete da concordare con il distributore.

Tenendo conto dei valori di taratura e dei tempi di intervento indicati, per tutti i tipi di guasto sulla rete pubblica si ha di regola l'intervento del relè di frequenza; i relè di tensione, invece, assolvono ad una funzione prevalentemente di rinalzo.

La stessa norma non riporta invece le soglie di intervento per le protezioni, ne' i tempi di intervento, specificando solo che nell'intervento delle protezioni, ad esclusione di quella di minima tensione, non devono esserci ritardi intenzionali. Questi dati sono invece contenuti nei documenti delle società elettriche di distribuzione.

Le soglie di intervento, contenute nel documento "Guida per la connessione alla rete elettrica di

Enel Distribuzione", sono rappresentabili graficamente come in figura 2, mentre la tabella 2 riporta più in dettaglio le tarature delle protezioni. Con riferimento alla figura, è quindi sufficiente uscire dal rettangolo rappresentato dalle 4 soglie di tensione e frequenza per provocare l'intervento del dispositivo di interfaccia.

In condizioni particolari (ad esempio con alta probabilità di equilibrio fra potenza assorbita dai carichi e prodotta dai generatori sulla stessa linea BT o sullo stesso trasformatore MT/BT) la società elettrica può richiedere al produttore una protezione a derivata di frequenza.

Il sistema di protezione (SPI) dedicato è inoltre necessario nel caso di impianti di potenza complessiva ≤ 20 kW costituiti da generatori collegati alla rete tramite più di 3 apparati di conversione dotati di funzioni SPI implementate internamente.

Nel caso di dispositivo di interfaccia unico è comunque possibile utilizzare sistemi di protezione di interfaccia dedicati ai singoli generatori purché i segnali delle singole protezioni siano riportati al dispositivo di interfaccia e ne determinino l'apertura per intervento di almeno una di esse (collegamento in logica OR).

Inoltre, in fase di realizzazione dell'impianto, devono essere adottati tutti quei provvedimenti tali da attenuare i disturbi di origine elettromagnetica che possono alterare il funzionamento delle protezioni come generalmente indicato nei manuali d'uso delle apparecchiature.

■ **ENERGIA REATTIVA E FATTORE DI POTENZA**

La società elettrica è tenuta a mantenere la tensione di fornitura ai propri clienti quanto più stabile possibile e comunque entro il ± 10 % del valore nominale, come stabilito nelle condizioni contrattuali e nella norma CEI EN 50160.

Al fine di limitare l'assorbimento di corrente all'avviamento dei gruppi rotanti (e le eventuali variazioni rapide di tensione conseguenti sulla rete), il produttore è tenuto ad applicare quanto previsto dalla norma CEI 11-20.

Il produttore deve inoltre scambiare energia reattiva con la rete entro i limiti prescritti dalla legislazione e dalla normativa vigente. In particolare, per gli impianti dotati di convertitori statici (in-

TABELLA 2: Funzioni delle protezioni di interfaccia e relative tarature

Protezione	Esecuzione	Valore di taratura	Tempo di intervento
Massima tensione	Unipolare/tripolare	$\leq 1,2 V_n$	$\leq 0,1$ s
Minima tensione	Unipolare/tripolare	$\geq 0,8 V_n$	$\leq 0,2$ s
Massima frequenza	Unipolare	50,3 o 51 Hz	Senza ritardo intenzionale
Minima frequenza	Unipolare	49 o 49,7 Hz	Senza ritardo intenzionale
Derivata di frequenza (se richiesta)	Unipolare	0,5 Hz/s	Senza ritardo intenzionale

verter) il fattore di potenza medio mensile dell'energia consegnata deve assumere i seguenti valori (riferiti alla componente fondamentale):

- non inferiore a 0,8 in ritardo (cioè assorbimento di potenza reattiva) quando la potenza attiva erogata è compresa tra il 20 % ed il 100 % della potenza complessiva installata;
- in fase (cioè, costante pari ad 1);
- in anticipo, quando erogano una potenza reattiva complessiva non superiore al minor valore tra 1 kVAr e $(0,05 + P/20)$ kVAr, dove P è la potenza complessiva installata espressa in kW.

In alternativa, il cliente produttore è tenuto ad adottare idonei provvedimenti (sistemi di rifasamento e/o di filtraggio armonico) per portare il fattore di potenza al valore prescritto.

Nei periodi in cui i generatori sono inattivi, gli impianti del produttore devono comportarsi come impianti passivi, per i quali vale la regola generale relativa all'assorbimento di energia reattiva induttiva ed il divieto di immettere energia reattiva induttiva in rete.

■ REQUISITI EMC

Alcune tipologie di apparecchiature di conversione dell'energia possono essere fonte di possibile disturbo per gli altri utenti connessi alla rete e compromettere il regolare funzionamento delle apparecchiature elettriche collegate. È quindi necessario che vengano rispettati i limiti previsti dalle norme applicabili riguardo alle fluttuazioni e gli squilibri di tensione e, nel caso di impianti collegati alla rete mediante inverter, siano soddisfatte alcune prescrizioni riguardanti contenuto armonico dell'energia prodotta.

Relativamente alle componenti armoniche della corrente immessa nella rete pubblica, i convertitori devono soddisfare le prescrizioni CEI EN 61000-3-2 o CEI EN 61000-3-12 in base alla potenza dell'impianto.

Per quanto riguarda le fluttuazioni di tensione ed il flicker, l'impianto di produzione deve soddisfare la CEI EN 61000-3-3 o CEI EN 61000-3-11 in base alla potenza dell'impianto.

■ SEPARAZIONE TRA I CIRCUITI

Per impianti di produzione collegati alla rete mediante convertitori statici, deve essere garantita la separazione metallica fra la rete pubblica in corrente alternata e la parte in corrente continua dei convertitori mediante trasformatore di isolamento a frequenza industriale. Tale compo-



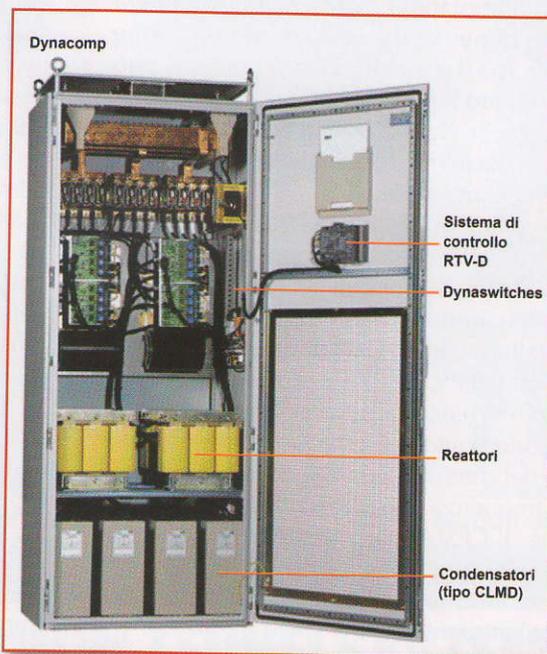
◀ **Figura 3:** Interruttori per la protezione dalle sovracorrenti delle batterie di condensatori

nente può essere interno o esterno agli apparati di conversione. Non è necessaria l'installazione di un trasformatore di isolamento esterno nei seguenti casi:

- Qualora l'impianto abbia potenza complessiva ≤ 20 kW ed esso sia realizzato mediante inverter connessi alla rete pubblica BT dotati di una protezione sensibile alla componente continua della corrente erogata. La norma CEI 11-20;V1, infatti, prescrive che per questi impianti, la separazione metallica può essere sostituita da una protezione che interviene, agendo sul dispositivo di generatore o interfaccia, quando la componente in corrente continua della corrente immessa nella rete pubblica supera lo 0,5% del valore efficace della componente fondamentale della corrente massima complessiva dei convertitori.

- Qualora l'impianto abbia potenza complessiva superiore a 20 kW e sia realizzato mediante convertitori connessi alla rete pubblica BT che racchiudono al loro interno un trasformatore di isolamento a frequenza industriale;
- Qualora l'impianto di produzione sia realizzato mediante convertitori connessi lato BT di un impianto di utenza allacciato alla rete MT di Enel e dotato di propria trasformazione MT/BT.

Nei restanti casi, come già visto, deve essere installato un trasformatore di disaccoppiamento BT/BT a 50 Hz.



◀ **Figura 4:** Compensatori automatici per il rifasamento di carichi variabili (ABB)