

# CONFRONTO FRA LIMITATORI DI CORRENTE SUPERCONDUTTIVI DI DIVERSA TIPOLOGIA PER IMPIEGHI NELLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE

*A. Morandi<sup>1</sup>, M. Fabbri<sup>1</sup>, G. Mariani<sup>1</sup>, L. Martini<sup>2</sup>, F. Negrini<sup>1</sup>, P. L. Ribani<sup>1</sup>*

1. Dipartimento di Ingegneria Elettrica - DIE  
Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

2. Energie Rinnovabili e Superconduttività, CESI  
Via R. Rubattino 54, 20134 Milano, Italy

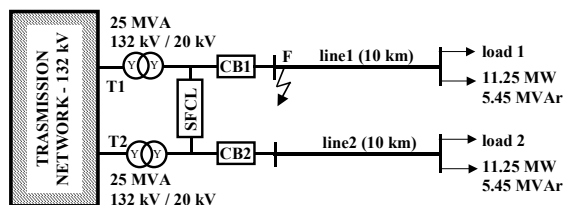
I limitatori di corrente superconduttivi (SFCL) sono dispositivi in grado di apportare considerevoli benefici tecnici ed economici all'interno dei sistemi elettrici di potenza. La fattibilità delle principali tipologie di questi limitatori è stata ampiamente dimostrata nel corso degli ultimi quindici anni attraverso la realizzazione di numerosi prototipi di laboratorio. Alcuni prototipi in media tensione hanno oggi raggiunto un grado di sviluppo precompetitivo e sono stati sottoposti con successo a test sul campo di lunga durata. Si precisa che la scelta della media tensione è stata dettata sia dalla effettiva necessità tecnica di dispositivi di limitazione nelle reti di distribuzione (operanti a 10-20 kV) che dall'esigenza di sviluppare le competenze di base necessarie per poi scalare i dispositivi al livello di tensione proprio delle reti di trasmissione (110-200 kV) dove, a causa dell'aumentato grado di interconnessione e dell'aggiunta di nuove unità di generazione, il livello di corrente di guasto raggiunto è ormai vicino al potere di interruzione degli interruttori oggi giorno disponibili.

Le tipologie di limitatore maggiormente sviluppate sono quelle resistiva, induttiva e con ponte di diodi. Tutti questi limitatori sono in grado di produrre un efficace effetto di limitazione della corrente di corto circuito e le loro prestazioni in fase di guasto sono soddisfacenti. Tuttavia la scelta della tipologia maggiormente adeguata per una data applicazione non è un problema di semplice soluzione perché coinvolge sia aspetti tecnici che economici (come l'effetto limitante, il tempo di recupero, l'energia passante, i costi di esercizio e l'ingombro) ed inoltre è strettamente legata al livello di tensione del punto considerato ed ai dispositivi e alle procedure di protezione di rete.

In questa memoria si presentano i risultati di uno studio, condotto in collaborazione col CESI, finalizzato scelta del limitatore ottimale per una posizione di interesse nella rete in media tensione. Il caso di riferimento è il bus di interconnessione tra due linee in media tensione mostrato in figura 1. Le caratteristiche della rete sono riportate in tabella 1.

**Tabella 1: dati della rete di distribuzione**

Nominal Voltage	20 kV
frequency	50 Hz
Opening time of circuit breakers	80 ms
Reclosing time of circuit breakers	300 ms
Asymmetric peak fault current	28.7 kA
Symmetric peak fault current	15 kA



*Figura 1: schema della rete di distribuzione*

Per ognuna delle tre tipologie, si sono sviluppate le metodologie di progetto ottimizzato del dispositivo avente caratteristiche adeguate per l'applicazione considerata. In tale fase si è

definito l'ingombro e si è effettuata la stima delle perdite in condizioni nominali considerando, per tutti e tre i dispositivi, lo stesso materiale superconduttore (Bi2223) e la stessa temperatura di funzionamento a regime (65 K).

Successivamente si è sviluppato un modello circuitale per ognuno dei dispositivi. Tali modelli sono stati implementati in EMTP insieme con lo schema della rete in media tensione considerata e sono state valutate le prestazioni dei limitatori in fase di guasto. La figura 2 mostra, per i tre tipi di limitatore, la corrente attraverso l'interruttore CB1 durante un corto circuito trifase franco a terra che si verifica all'inizio della linea 1 (punto F della figura 1) in corrispondenza dell'attraversamento dello zero della tensione, cioè all'istante più gravoso. L'interruttore apre il circuito dopo 80 ms. La stessa figura mostra anche la corrente di guasto in assenza di limitatore e in assenza di interconnessione tra le linee. Si può notare che tutti e tre i limitatori sono in grado di limitare il picco della corrente di guasto di circa il 40%. Il valore della corrente limitata è solo lievemente superiore alla corrente di guasto in assenza di interconnessione; di conseguenza i limitatori esibiscono la massima azione limitante possibile per il posizionamento scelto. La figura 3 mostra la tensione sulla linea 2 durante il guasto sulla linea 1. Si nota che per tutti e tre i limitatori, grazie all'effetto di disconnessione introdotto, la linea sana rimane in esercizio durante il guasto anche se con una tensione distorta. Tale distorsione è più pronunciata nel caso del limitatore con ponte di diodi; infatti nella corrispondente forma d'onda si osservano notevoli intervalli in cui la tensione si annulla a seguito dell'attraversamento dello zero.

Nella tabella 2 è riportato un confronto tra i tre limitatori che tiene conto di tutti gli aspetti rilevanti riguardanti la configurazione finale e le prestazioni in condizioni nominali e in fase di guasto. Dalla essa si evince che tutti e tre i dispositivi considerati risultano efficaci in termini di effetto limitante, effetto di disconnessione tra le due linee e tempo di recupero; un maggiore ingombro si registra per il limitatore induttivo mentre la tipologia resistiva ammette un integrale di joule elevato. Il limitatore con ponte a diodi si può ritenere favorevole per quanto riguarda le perdite e la potenza di refrigerazione.

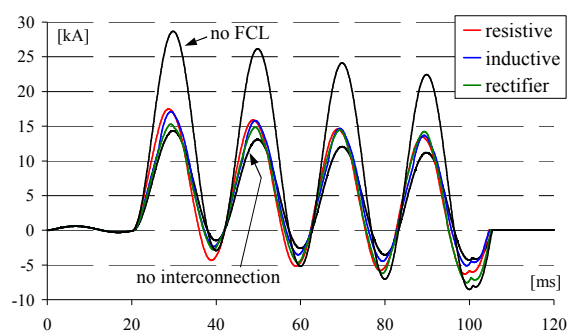


Figura 2: corrente attraverso l'interruttore CB1 durante il guasto

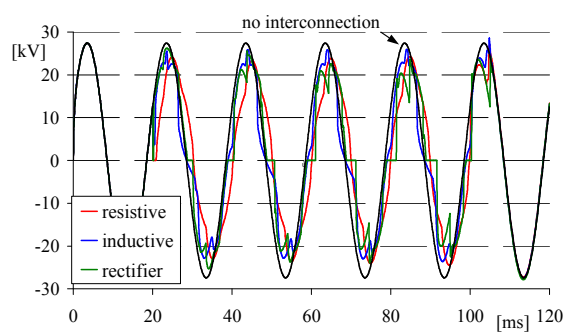


Figure 3: Tensione della linea 2 durante il guasto sulla linea 1

Tabella 2 – Confronto tra i tre limitatori considerati

	Limiting effect	Disconnecting effect	Joule integral	Recovery	Active Power	Reactive Power	Thermal load	Cooling power	Size (estimated)
<b>Resistive</b>	effective	effective	high	immediate	0	0	1267 W	25.3 kW	$0.3 \times 0.9 \times 1.2 \text{ m}^3$
<b>Inductive</b>	effective	effective	low	immediate	7 kW	85 kVAr	660 W	13.2 kW	$0.8 \times 1.8 \times 1.2 \text{ m}^3$
<b>Rectifier</b>	effective	effective	medium	immediate	0	0	270 W	5.4 kW	$0.6 \times 1.8 \times 0.4 \text{ m}^3$

[1] A. Morandi, M. Bocchi, M. Fabbri, L. Martini, F. Negrini, P. L. Ribani, "Comparison of the Performances of Three Different Types of Fault Current Limiter in the Distribution Network", *Proceedings of the 7<sup>th</sup> European Conference on Applied Superconductivity*, Eucas2006, Vienna – Austria, September 11 – 15, 2006