

Introduzione

Nel panorama in rapida evoluzione dell'utilizzo dell'energia elettrica, la sostenibilità è oggi una priorità assoluta. La produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili sta crescendo a un ritmo senza precedenti, spinta anche dall'obiettivo globale di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050, condizione essenziale per limitare il riscaldamento globale a 1,5 °C. Parallelamente, l'elettrificazione della società, attraverso tecnologie come le pompe di calore per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici, l'adozione dei veicoli elettrici (EV) e la produzione di idrogeno, sta aumentando in modo significativo la domanda di energia elettrica.

Questa doppia tendenza, caratterizzata da una crescente domanda di elettricità e da una maggiore diffusione delle fonti rinnovabili, esercita una forte pressione sulle reti elettriche, causando congestione della rete e una maggiore volatilità sia nell'utilizzo dell'energia sia nei prezzi dell'elettricità. La congestione della rete si verifica quando vengono raggiunti i limiti di capacità, impedendo il trasferimento fisico di quantità sufficienti di energia da un'area all'altra.

Un componente spesso trascurato di questa infrastruttura è il manicotto di giunzione per cavi, un elemento fondamentale nei sistemi elettrici in media e alta tensione. I manicotti sono responsabili del collegamento tra diversi tratti di cavo, in particolare nelle reti di trasmissione sotterranee e sottomarine. Le prestazioni di queste giunzioni sono determinanti per l'affidabilità e la durata dell'intero sistema elettrico, poiché sono frequentemente sottoposte a elevate sollecitazioni elettriche, meccaniche e termiche. Se non adeguatamente isolate, possono rappresentare punti deboli soggetti a guasti, soprattutto quando le reti sono sottoposte a carichi elevati e a condizioni operative variabili dovute all'integrazione delle energie rinnovabili.

Tradizionalmente, i cavi XLPE (polietilene reticolato) sono ampiamente utilizzati grazie alle loro eccellenti proprietà dielettriche e alla loro durata. Tuttavia, i manicotti con isolamento solido, come quelli con corpo cold shrink, presentano sfide significative quando sono esposti ai maggiori carichi termici ed elettrici associati all'integrazione delle energie rinnovabili. Una delle principali criticità è rappresentata dalla distorsione armonica, generata dai carichi non lineari introdotti da fonti come l'energia eolica e solare.

Le armoniche aumentano le sollecitazioni elettriche e termiche all'interno della rete, causando un'eccessiva generazione di calore nei manicotti. Ciò può portare a surriscaldamento, scariche parziali e persino al cedimento dell'isolamento solido.

Per rispondere a queste sfide, l'isolamento liquido si è affermato come una soluzione promettente, in grado di offrire prestazioni termiche superiori. I manicotti con isolamento liquido, come i giunti M-Series di Lovink, garantiscono una migliore dissipazione del calore in condizioni di elevato carico, riducendo significativamente la temperatura del connettore rispetto alle soluzioni con isolamento solido.

Inoltre, l'isolamento liquido offre ulteriori vantaggi, tra cui la resistenza alle scariche parziali e la capacità di compensare eventuali imperfezioni durante l'installazione. Questo aspetto è particolarmente importante in un contesto in cui il numero di tecnici specializzati nella giunzione dei cavi è in diminuzione, rendendo il sistema più tollerante agli errori umani. Considerata la crescente complessità delle moderne reti elettriche e il continuo aumento della quota di energie rinnovabili, è fondamentale approfondire i potenziali vantaggi dell'isolamento liquido nei manicotti di giunzione.

Domande di ricerca

- In che modo l'adozione dell'isolamento liquido nei manicotti di giunzione può contribuire a risolvere le sfide poste dall'integrazione delle energie rinnovabili e dalla congestione della rete?
- Quali vantaggi termici, elettrici e meccanici offre l'isolamento liquido per ridurre i guasti e aumentare la durata operativa?
- Come si comporta l'isolamento liquido in presenza di distorsioni armoniche rispetto all'isolamento solido nei manicotti di giunzione?

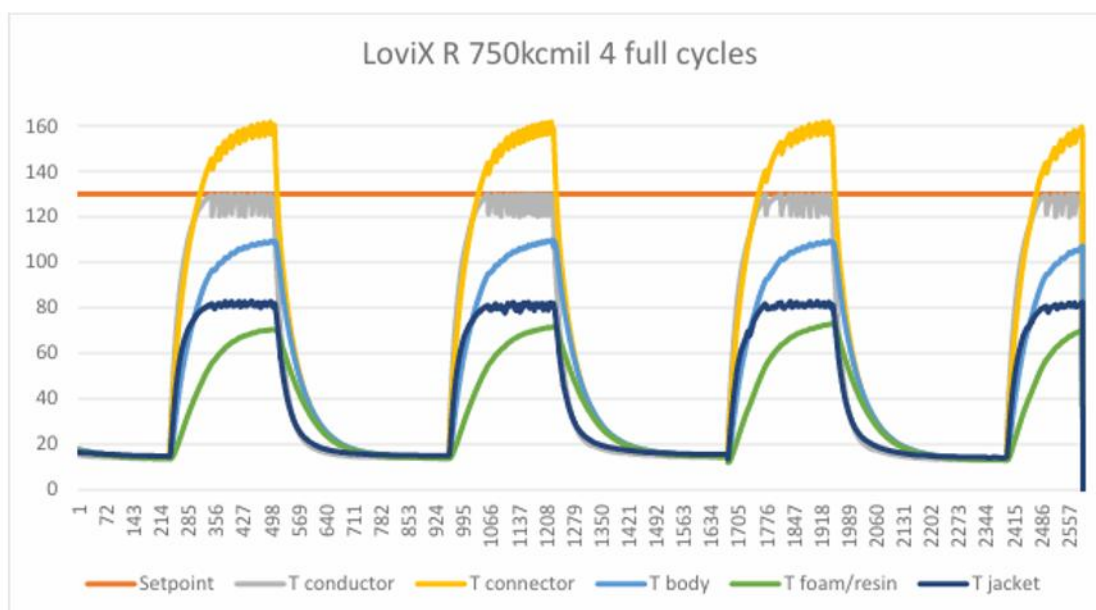
Risultati

In questo studio sono stati analizzati due tipi di manicotti di giunzione: uno con isolamento solido (corpo cold shrink) e uno con isolamento liquido (giunto M-Series di Lovink). L'attenzione principale è stata rivolta alle prestazioni termiche in condizioni operative standard, con una temperatura del conduttore di 130 °C, in linea con gli standard IEEE relativi alla massima temperatura di esercizio.

Prestazioni termiche dei giunti Cold Shrink

Per il giunto cold shrink, la temperatura del conduttore è stata misurata a 130 °C, mentre la temperatura del connettore all'interno del manicotto ha raggiunto circa 160 °C. Questo evidenzia un delta di 30 °C tra il conduttore e il connettore, dimostrando come l'isolamento solido tenda a trattenere il calore all'interno del manicotto, causando surriscaldamento.

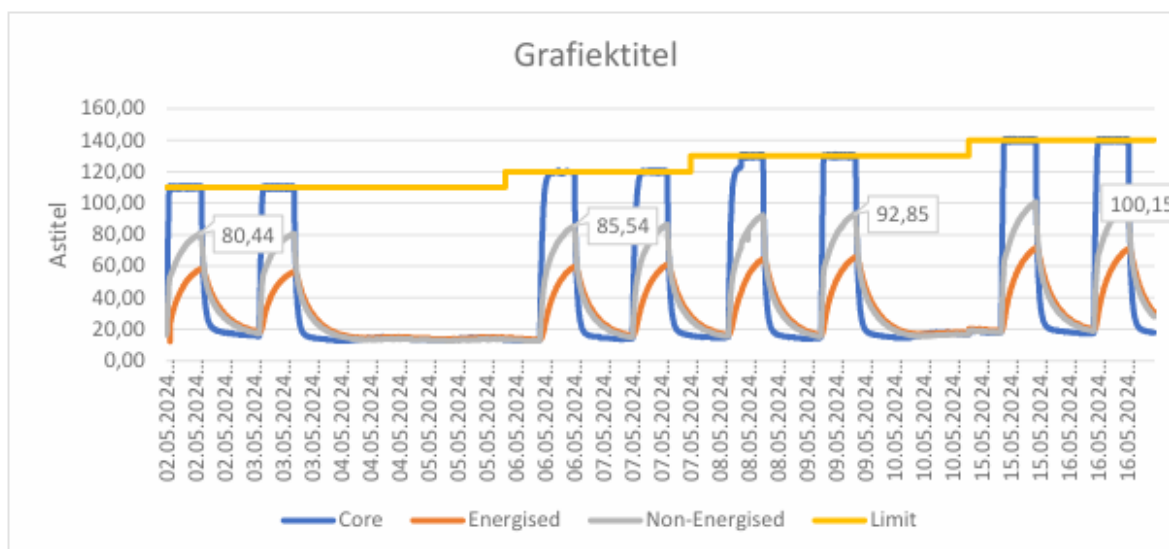
Questo fenomeno può accelerare l'invecchiamento del manicotto e aumentare il rischio di guasto, soprattutto nelle reti caratterizzate da elevate armoniche e forti carichi elettrici.



Prestazioni termiche dei manicotti M-Series con isolamento liquido

Al contrario, il giunto con isolamento liquido ha mostrato prestazioni nettamente superiori in termini di dissipazione del calore. Con una temperatura del conduttore di 130 °C, la temperatura del connettore nel giunto M-Series è stata misurata a 92,85 °C, circa 37 °C inferiore alla temperatura del conduttore.

Anche quando la temperatura del conduttore è salita a 140 °C, il connettore ha raggiunto soltanto 100,15 °C, dimostrando l'eccellente capacità dell'isolamento liquido di gestire i carichi termici.



Il delta T (differenza di temperatura) tra il giunto cold shrink e il manicotto M-Series è risultato significativo. Nei sistemi cold shrink, il connettore raggiungeva 160 °C con una temperatura del conduttore di 130 °C, mentre nel manicotto M-Series la temperatura del connettore era pari a soli 92,85 °C nelle stesse condizioni.

Ciò corrisponde a una differenza di temperatura di 67,15 °C, dimostrando chiaramente l'efficacia dell'isolamento liquido nel mantenere temperature operative significativamente più basse all'interno del manicotto.

Discussione

I risultati di questo studio evidenziano i notevoli vantaggi termici dell'isolamento liquido rispetto all'isolamento solido nei manicotti di giunzione, in particolare nelle moderne reti elettriche soggette a carichi più elevati e distorsioni armoniche dovute all'integrazione delle energie rinnovabili.

Le prestazioni termiche del giunto M-Series con isolamento liquido si sono dimostrate nettamente superiori, con temperature del connettore significativamente inferiori rispetto a quelle registrate nei sistemi con isolamento solido. Si tratta di un risultato fondamentale, poiché il surriscaldamento rappresenta una delle principali cause di guasto dei manicotti e la riduzione di questo rischio è essenziale per garantire l'affidabilità delle reti elettriche.

Le temperature più basse osservate nel manicotto con isolamento liquido possono essere attribuite alla maggiore efficienza nella dissipazione del calore. L'isolamento liquido assicura una distribuzione più uniforme del calore e può assorbire meglio le sollecitazioni termiche, riducendo la probabilità di punti caldi all'interno della giunzione.

Al contrario, l'isolamento solido tende a trattenere il calore, provocando un accumulo di energia termica che può accelerare il degrado dell'isolamento e aumentare il rischio di guasto.

Inoltre, la capacità dell'isolamento liquido di compensare eventuali imperfezioni nella preparazione del cavo durante l'installazione rappresenta un ulteriore vantaggio pratico. Errori umani, come una spelatura non uniforme del cavo, possono creare punti deboli nei sistemi con isolamento solido, aumentando la probabilità di guasto.

L'isolamento liquido è invece più tollerante, poiché riesce a riempire eventuali spazi vuoti e a compensare piccole imperfezioni di installazione, migliorando l'affidabilità complessiva del manicotto.

In conclusione, l'isolamento liquido offre un chiaro vantaggio prestazionale rispetto all'isolamento solido nei manicotti di giunzione, in particolare nelle applicazioni in media tensione. Riducendo il rischio di surriscaldamento e garantendo una maggiore tolleranza agli errori di installazione, l'isolamento liquido può svolgere un ruolo fondamentale nel migliorare l'affidabilità e la durata operativa dei manicotti nelle future reti elettriche.

Ricerca a cura di Hassan Azhar, High Voltage Development, Lovink Enertech – Terborg.