

Influenza delle connessioni crimpate nelle prove di sovratemperatura

*P.E. Roccato, L. Cinnirella, L. Bellavia, Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM), Torino
- p.roccato@inrim.it; l.cinnirella@inrim.it; l.bellavia@inrim.it
S. Manganaro, E. Le Donne, Associazione per la Certificazione delle Apparecchiature Elettriche
(ACAE), Bergamo - s.manganaro@acaecert.it; e.ledonne@acaecert.it*

Abstract

La validazione delle apparecchiature elettriche prevede anche la verifica delle sovratemperature in condizioni di lavoro nominali. Le connessioni di prova possono essere cavi intestati con capicorda crimpati, questi cavi risultano essere elementi fondamentali nell'esecuzione della prova di sovratemperatura, poiché nel caso del loro danneggiamento o non corretta crimpatura, possono portare a una dissipazione di potenza termica tale da influenzare e invalidare l'esito della prova stessa per il componente a cui sono collegati. In questo lavoro si vogliono valutare gli effetti termici dovuti ai punti caldi anomali correlandoli alla caduta di tensione sui capicorda.

La validazione delle apparecchiature elettriche, ai fini della sicurezza e della funzionalità prevede, tra le varie prove, la verifica delle sovratemperature raggiunte dalle stesse in condizioni di lavoro nominali.

Nel caso di apparecchiature, quali quadri elettrici e interruttori con correnti nominali di parecchie centinaia di ampere, le connessioni possono essere realizzate con cavi di grande sezione intestati con capicorda crimpati. Durante l'esecuzione delle prove i cavi servono alla connessione all'impianto di generazione e ai carichi per permettere la simulazione delle condizioni nominali; la sezione e il numero di cavi da utilizzarsi è tipicamente un parametro imposto, nel caso della bassa tensione, dalle normative. Le stesse normative, al fine di salvaguardare l'isolamento dei cavi e le parti delle apparecchiature durante la loro vita utile, prevedono per queste connessioni limiti di sovratemperatura rispetto all'ambiente di prova.

I cavi con capicorda crimpati risultano pertanto essere uno degli elementi fondamentali nell'esecuzione della prova di sovratemperatura, poiché nel caso del loro danneggiamento o non corretta crimpatura, possono portare a una dissipazione di potenza termica tale da influenzare e invalidare l'esito della prova stessa per il componente a cui sono collegati.

In questo contesto si è svolta un'indagine sulla caduta di tensione nei capicorda, focalizzando l'attenzione sugli effetti della crimpatura; si è infatti considerato essere questo il punto maggiormente soggetto ad usura a causa dell'uso e quindi della variazione nella tenuta del contatto pressato. L'obiettivo è la valutazione della resistenza elettrica della crimpatura, con metodologia simile a quella della norma CEI EN 61238-1, ma in particolare in funzione dell'uso in laboratorio durante l'attività di prova.

Si deve, infatti, considerare che l'utilizzo in laboratorio differisce profondamente dall'utilizzo impiantistico per la continua installazione su apparecchiature differenti; questa condizione è dissimile da quanto definito nella normativa di prodotto, ovviamente realizzata tenendo conto dell'impiego impiantistico, che rappresenta la quasi totalità delle situazioni di uso.

L'analisi è stata eseguita sui alcuni cavi di prova a disposizione del Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti dell'INRIM (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica), valutando due differenti sezioni di conduttore (240 mm^2 e 185 mm^2), tra quelle più utilizzate e soggette ad usura. La scelta dei cavi è stata casuale, cercando solamente di avere tipologie differenti di capicordatura e crimpatura.

I cavi sono stati collegati, in serie tra loro, ad un generatore di corrente continua stabilizzata e lasciati alimentati, con corrente ridotta, per circa un'ora, al fine di stabilizzarne gli effetti termici.

I cavi con sezione 240 mm^2 sono stati misurati ad una corrente pari a 217 A , mentre per la sezione 185 mm^2 è stata utilizzata una corrente di 107 A ; questi valori hanno permesso di limitare gli effetti di riscaldamento, ma contemporaneamente hanno permesso una misura attendibile e con condizioni di stabilizzazione termica tra i vari capicorda. Sono stati presi in esame trenta capicorda per la sezione maggiore e diciotto capicorda per la sezione inferiore. Un layout di prova è presentato in Figura 1.

La caduta di tensione, da cui ricavare il valore di resistenza, è stata misurata tra la fine del colletto pressato, dove presente sul foro di ispezione o punto equivalente, e l'inizio del conduttore cordato, ponendo attenzione a minimizzare gli effetti locali della caduta di tensione.



Figura 1: layout di misura e dettaglio dei punti di misura per la caduta di tensione

I risultati delle misure, Figura 2, sono presentati, in forma di resistenza, con l'andamento della loro distribuzione normale in funzione del valore di differenza di resistenza rispetto alla media, espressi in microohm. I risultati evidenziano una maggior dispersione nel caso dei cavi di sezione maggiore, ma questo può essere spiegato dal loro maggior uso, dovuto alle richieste di prova ad elevata corrente, ma anche dalla maggiore difficoltà di installazione, che comporta sforzi per il posizionamento del capicorda sulle barre di collegamento.

Distribuzione R crimpatura

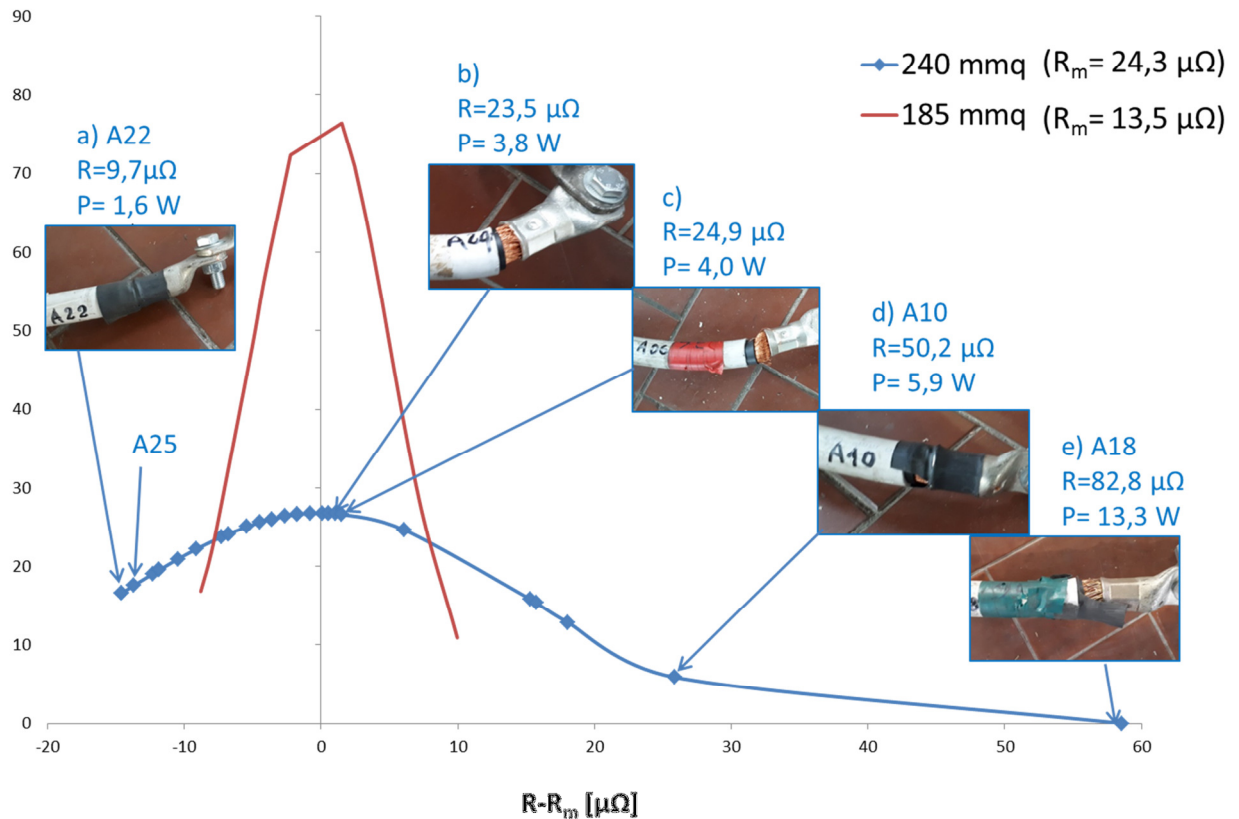


Figura 2: Distribuzione della resistenza di crimpatura per le due sezioni esaminate e fotografie di alcuni capicorda.

In particolare è importante indicare che, nel caso dei cavi da 240 mm², la differenza tra il valore minimo ed il valore massimo è di quasi un ordine di grandezza, passando da 9,6 μΩ a oltre 82,8 μΩ. Risulta inoltre rilevante analizzare l'aspetto esterno del capicorda; infatti se è attendibile, osservando la figura 2, che e) abbia valori di resistenza elevati, riconoscibili anche da un cambiamento di colore del conduttore cordato, tuttavia questo non presenta particolari differenze esteriori in confronto con b) o c), anch'essi rovinati; in maniera duale, non risultano particolari differenze tra a) e d), a fronte però di un comportamento resistivo notevolmente differente.

I cavi da 185 mm², con un numero di prove eseguite inferiore e con una maggiore flessibilità, in considerazione della minore sezione, presentano una distribuzione del valore di resistenza maggiormente contenuta ed una variazione tra massimo e minimo di cinque volte.

Considerando i valori di resistenza, sono stati calcolati i valori di potenza dissipata nella crimpatura, anch'essi riportati in Figura 2 e calcolati per il valore nominale di corrente pari a 400 A per la sezione di 240 mm²; risulta evidente che l'effetto di riscaldamento può essere di entità non trascurabile, in particolare su componenti di ridotte dimensioni.

Con l'obiettivo di valutare gli effetti termici, come sovratemperature, con lo stesso setup utilizzato per le misure (Figura 1), si è proceduto a collocare i due capicorda con comportamento meno performante su un simulacro di connessione, mentre i due migliori su un altro simulacro (Figura 3); la prova è stata eseguita in aria libera, tuttavia l'aspetto di interesse è il confronto tra le due coppie più che il valore di sovratemperatura raggiunta.

| ID | ΔT_{CRIMP} | ΔT_{CAVO} | ΔT_{BARRA} |
|-----|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| A10 | 37 K | 10 K | 32 K |
| A18 | 39 K | 10 K | |
| A22 | 19 K | 11 K | 15 K |
| A25 | 17 K | 9 K | |

Misure eseguite con $I = 404 \text{ A}$ e $T_a = 21 \text{ }^\circ\text{C}$

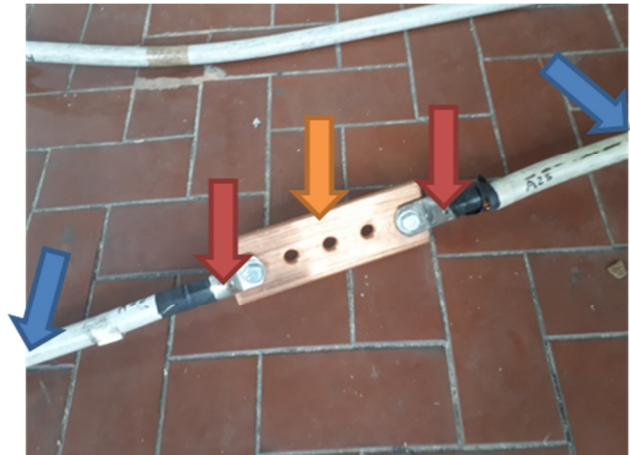


Figura 3: Sovratemperature sui capicorda (punti rossi), al centro del cavo (punti blu), al centro barra/simulacro di rame (punto arancione).

I risultati di questa misura evidenziano come l'effetto di capicorda danneggiati può comportare un'importante incremento della sovratemperatura, pari a quasi il doppio, sulla barra predisposta come simulacro; il fenomeno è confermato da una pari entità nell'aumento della sovratemperatura nel centro della barra stessa. Per confermare l'assenza di influenze dovute ai cavi si è misurata la temperatura superficiale del materiale isolante, al centro del conduttore stesso; in tabella si notano i valori pressoché equivalenti.

Cercando di valutare gli effetti in condizioni più vicine alla realtà di applicazione, si sono confrontati i risultati di una prova di sovratemperatura eseguita su un'attestazione di un'apparecchiatura elettrica, Figura 4, ponendo un cavo con capicordatura compromessa, consecutivamente sulle due fasi esterne (L1 ed L3), mantenendo invariate le altre condizioni.

| CASO 1 | | | |
|---------------|--------|--------|--------|
| Fase | L1 | L2 | L3 |
| I | 1256 A | 1267 A | 1260 A |
| ΔT | 54 K | 61 K | 67 K |

| CASO 2 | | | |
|---------------|--------|--------|--------|
| Fase | L1 | L2 | L3 |
| I | 1256 A | 1268 A | 1256 A |
| ΔT | 65 K | 64 K | 57 K |

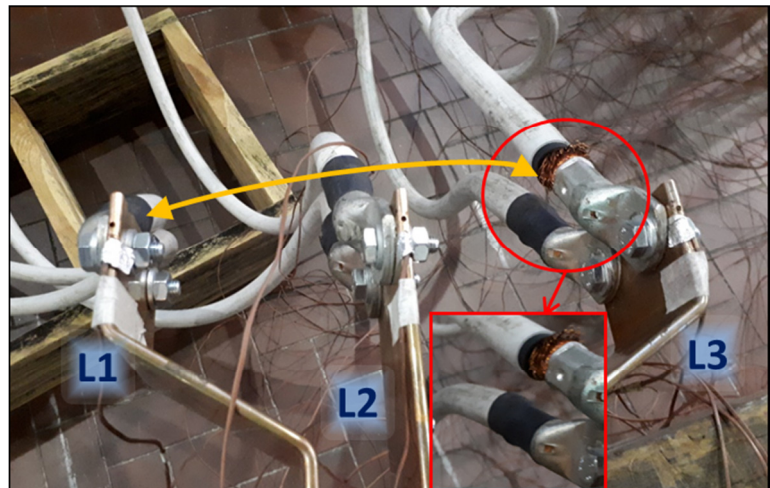


Figura 4: Confronto tra misure su un'apparecchiatura con inversione del cavo danneggiato, nel dettaglio rosso, misura in rosso.

Il risultato della prova, visibile nella tabella di Figura 4, è un'inversione della condizione di massima temperatura tra le due fasi, evidenziata in colore rosso, pur mantenendo invariate le altre condizioni, compresi i punti di misura.

Le diverse misure e prove eseguite, in particolare quest'ultime avvenute in condizioni più favorevoli rispetto a quelle riscontrabili all'interno di apparecchiature come quadri elettrici, hanno evidenziato deviazioni standard relative della resistenza di crimpatura comprese tra il 37 % (sezione 185 mm²) ed oltre il 61 % (sezione 240 mm²), nonché incrementi della sovratemperatura del contatto fino a quasi il doppio tra la condizione migliore e la peggiore. I valori riscontrati possono essere critici per alcune apparecchiature e influenzare l'esito di una prova di sovratemperatura.

In considerazione di questi risultati e della sempre maggiore presenza di apparecchiature ottimizzate, si ritiene opportuno approfondire lo studio, in particolare focalizzando l'attenzione su possibili metodi di verifica e di controllo delle connessioni crimpate, al fine di determinare l'utilizzabilità dei cavi od evidenziarne la necessità di rifacimento della connessione.