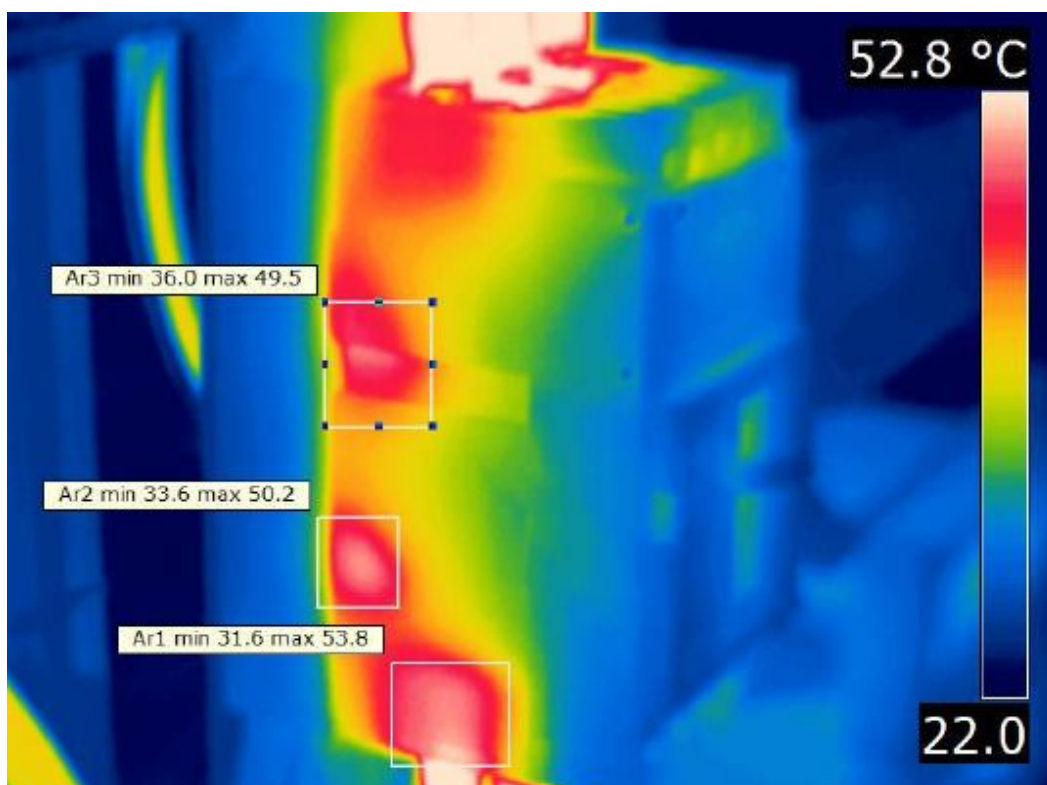


ACAE Round Robin test 2016

Confronto fra laboratori ACAE/LOVAG: rilievo delle sovratemperature dei terminali di un interruttore



Scopo:

Confrontare i risultati di prova ottenuti da diversi Laboratori ACAE.

Tipo di prova:

Verifica delle sovratemperature dei terminali di un interruttore, in accordo alla norma di riferimento IEC 60947-2 Ed. 4.2 (Clausola 7.2.2).

Oggetto in prova:

L'oggetto in prova è derivato da un interruttore e contiene, in una scatola isolante a 3 poli, per ogni polo una barra di rame stagnata, adatta al collegamento di conduttori di adeguata sezione.

Indicazioni generali per le prove:

Ogni laboratorio ha utilizzato un set nuovo di morsetti, separatori di fase e viti di fissaggio per il collegamento dei cavi all'oggetto in prova.

In conformità alla clausola di riferimento le misure sono state condotte:

- a regime termico
- con corrente di prova pari a 250A a.c. (50Hz)
- con l'oggetto in prova fissato in posizione verticale in aria libera
- con conduttori di alimentazione in rame isolati in PVC

I dati riportati sono stati:

- la misura della corrente di prova
- la misura della coppia di serraggio ai morsetti
- la misura della temperatura ambiente
- la misura delle sovratemperature rilevate nei seguenti punti:
 - sui 3 terminali superiori ed inferiori dell'oggetto in prova
 - nel punto dell'involucro con la massima temperatura.

Laboratori partecipanti:

Hanno partecipato alle prove n° 9 Laboratori di ACAE (IA01, IA02, IA03, IB01, IB02, IW01, II01, IK01, IL01).

Sintesi delle conclusioni:

Dai risultati ottenuti si riscontrano delle differenze significative delle sovratemperature rilevate fra i diversi Laboratori. L'analisi dei risultati ha portato ad associare tali differenze principalmente alle variazioni nelle metodologie di prova, tutte peraltro rispondenti alla Norma di riferimento. La Norma infatti non definisce pienamente la metodologia di prova e lascia ai Laboratori possibilità di scelte che hanno portato alle differenze nei risultati.

Le variazioni più significative sono state riscontrate nella scelta dei cavi (metrici o AWG) e nella posizione delle termocoppie sul terminale.

Rispetto ai cavi utilizzati per la prova, la tabella 9 della Norma IEC 60947-1 accetta, per una certa corrente di prova, indifferentemente cavi metrici (con sezione in mmq) e cavi AWG, ma in genere queste sezioni non sono equivalenti e questa si è rilevata la causa principale che ha prodotto le variazioni significative dei risultati. La proposta che ne consegue è di utilizzare nelle prove sempre il cavo di sezione inferiore, qualora l'apparecchio sia dichiarato idoneo per entrambi i cavi.

Risultati ottenuti ed analisi dei dati

I risultati ottenuti sono riassunti nella Tabella 1.

Tabella 1

| Prove (N°) | Med (K) | Sigma (K) | Max (K) | Min (K) | Campo di variazione medio (%) |
|------------|---------|-----------|---------|---------|-------------------------------|
| 9 | 36,08 | 5,13 | 47,00 | 26,70 | 28,1% |

Da tale tabella si evidenzia che i risultati presentano variazioni estremamente alte e pari al +-28%.

Analizzando i dati nel dettaglio ed avendo rilevato differenze significative nelle metodologie delle prove, si è proceduto a raccogliere i dati separandoli in funzione delle diverse variabili di prova utilizzate (Tabelle 2a, 2b, 2c, rappresentate nelle figure 1,2,3).

Variazioni rilevate nelle metodologie di prova:

Tipo di cavo: metrici flessibili (120 mm²) e AWG/kcmil semirigido (kcmil 250=127mm²)

Posizione termocoppie: direttamente sul terminale (foto 1); fra cavo e terminale (foto 2); sul tegolino del morsetto (foto 3)

Tipo termocoppie: K; J; T

Supporto di fissaggio: su traversa; su pannello di legno; su piastra metallica; su piastra alluminio

Spellatura cavo: a filo terminale; a 5 mm; a 10 mm

Alimentazione in c.a.: monofase, trifase

Tabella 2a: Raccolta dei valori di sovratemperatura di tutte le prove effettuate

| Tipo di cavo | Posizione Termocoppie | Supporto di Fissaggio | Prove (N°) | Med (K) | Sigma (K) | Max (K) | Min (K) | Campo di variazione medio (%) |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------|---------|-----------|---------|---------|-------------------------------|
| Tutti | Tutti | Tutti | 9 | 36,08 | 5,13 | 47,00 | 26,70 | 28,1% |
| kcmil semirigidi | sul terminale | Tutti | 3 | 30,63 | 1,75 | 34,20 | 26,70 | 12,2% |
| kcmil semirigidi | sul terminale | su traversa | 2 | 30,13 | 1,57 | 33,20 | 26,70 | 10,8% |
| kcmil semirigidi | sul terminale | su pannello in legno | 1 | 31,65 | 1,77 | 34,20 | 29,50 | 7,4% |
| Metrici flessibili | Tutti | Tutti | 6 | 38,80 | 3,94 | 47,00 | 32,00 | 19,3% |
| Metrici flessibili | sul terminale | su pannello in legno | 1 | 37,43 | 1,85 | 40,10 | 34,90 | 6,9% |
| Metrici flessibili | sul terminale | su piastra metallica | 1 | 36,80 | 3,15 | 43,00 | 34,60 | 11,4% |
| Metrici flessibili | tegolino e cavo | su pannello in legno | 1 | 33,50 | 1,52 | 36,00 | 32,00 | 6,0% |
| Metrici flessibili | tra terminale e cavo | su pannello in legno | 2 | 40,63 | 1,58 | 43,20 | 37,80 | 6,6% |
| Metrici flessibili | tra terminale e cavo | su piastra alluminio | 1 | 43,83 | 2,93 | 47,00 | 40,00 | 8,0% |

Tabella 2b: Raccolta dei valori di sovratemperatura delle prove con dispersione inferiore a 2 sigma

| Tipo di cavo | Posizione Termocoppie | Supporto di Fissaggio | Prove (N°) | Med (K) | Sigma (K) | Max (K) | Min (K) | Campo di variazione medio (%) |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------|---------|-----------|---------|---------|-------------------------------|
| Tutti | Tutti | Tutti | 7 | 34,87 | 4,63 | 43,20 | 26,70 | 23,7% |
| kcmil semirigidi | sul terminale | Tutti | 3 | 30,63 | 1,75 | 34,20 | 26,70 | 12,2% |
| kcmil semirigidi | sul terminale | su traversa | 2 | 30,13 | 1,57 | 33,20 | 26,70 | 10,8% |
| kcmil semirigidi | sul terminale | su pannello in legno | 1 | 31,65 | 1,77 | 34,20 | 29,50 | 7,4% |
| Metrici flessibili | Tutti | Tutti | 4 | 38,05 | 3,38 | 43,20 | 32,00 | 14,7% |
| Metrici flessibili | sul terminale | su pannello in legno | 1 | 37,43 | 1,85 | 40,10 | 34,90 | 6,9% |
| Metrici flessibili | tegolino e cavo | Tutti | 1 | 33,50 | 1,52 | 36,00 | 32,00 | 6,0% |
| Metrici flessibili | tra terminale e cavo | su pannello in legno | 2 | 40,63 | 1,58 | 43,20 | 37,80 | 6,6% |

Tabella 2c: Raccolta dei valori massimi di sovratemperatura delle prove con dispersione inferiore a 2 sigma

| Tipo di cavo | Posizione Termocoppie | Supporto di Fissaggio | Prove (N°) | Max Max (K) | Min Max (K) | Med Max (K) | Sigma (K) | Campo di variazione medio (%) |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------------------------|
| Tutti | Tutti | Tutti | 7 | 43,2 | 31,7 | 37,09 | 4,42 | 16% |
| kcmil Semirigidi | sul terminale | Tutti | 3 | 34,2 | 31,7 | 33,03 | 1,26 | 4% |
| kcmil Semirigidi | sul terminale | su traversa | 2 | 33,2 | 31,7 | 32,45 | 1,06 | 2% |
| kcmil Semirigidi | sul terminale | su pannello in legno | 1 | 34,2 | 34,2 | 34,20 | | 0% |
| Metrici flessibili | Tutti | Tutti | 4 | 43,2 | 36 | 40,13 | 3,03 | 9% |
| Metrici flessibili | sul terminale | su pannello in legno | 1 | 40,1 | 40,1 | 40,10 | | 0% |
| Metrici flessibili | tegolino e cavo | Tutti | 1 | 36 | 36 | 36,00 | | 0% |
| Metrici flessibili | tra terminale e cavo | su pannello in legno | 2 | 43,2 | 41,2 | 42,20 | 1,41 | 2% |

Figura 1: medie delle sovratemperature di Tabella 1b distinte per tipo di cavo (kcmil semirigido e metrico flessibile)

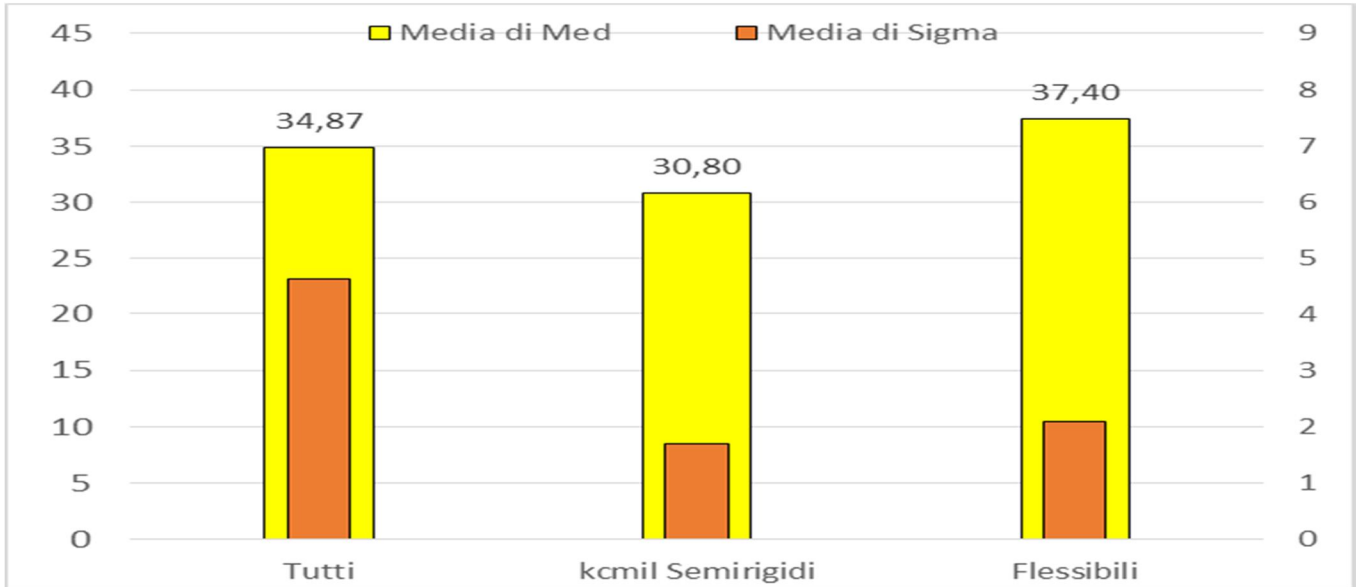


Figura 2: media delle sovratemperature di Tabella 1b con cavi metrici flessibili e diverse modalità di posizione delle termocoppie

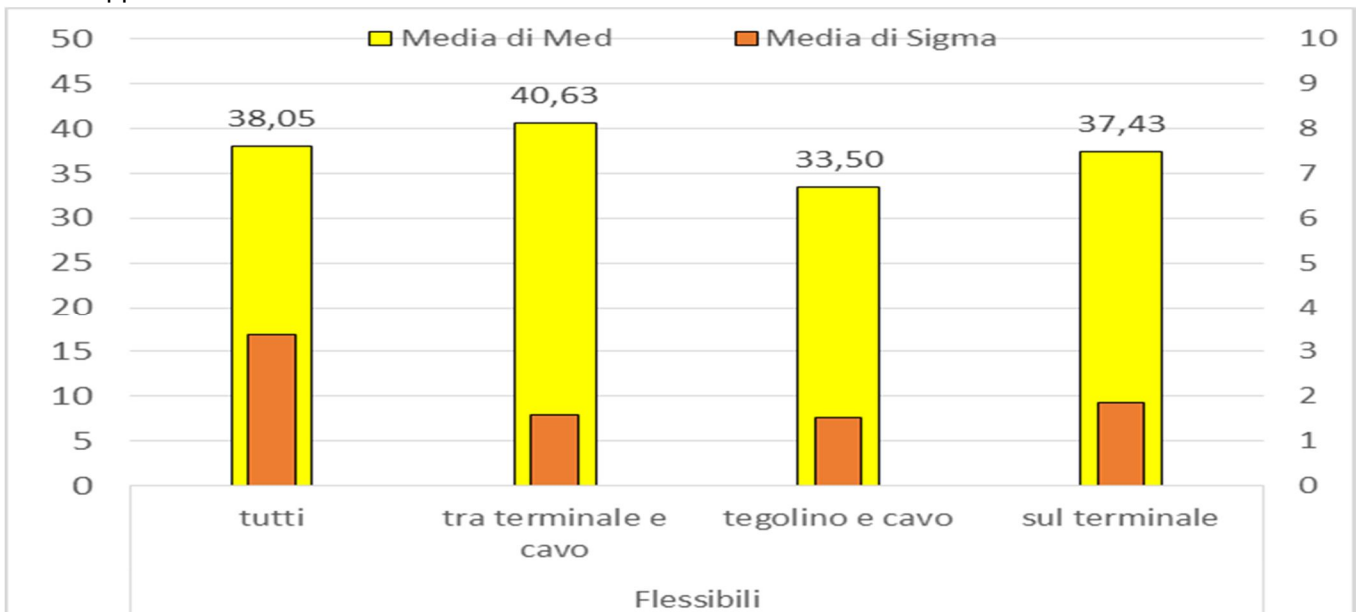
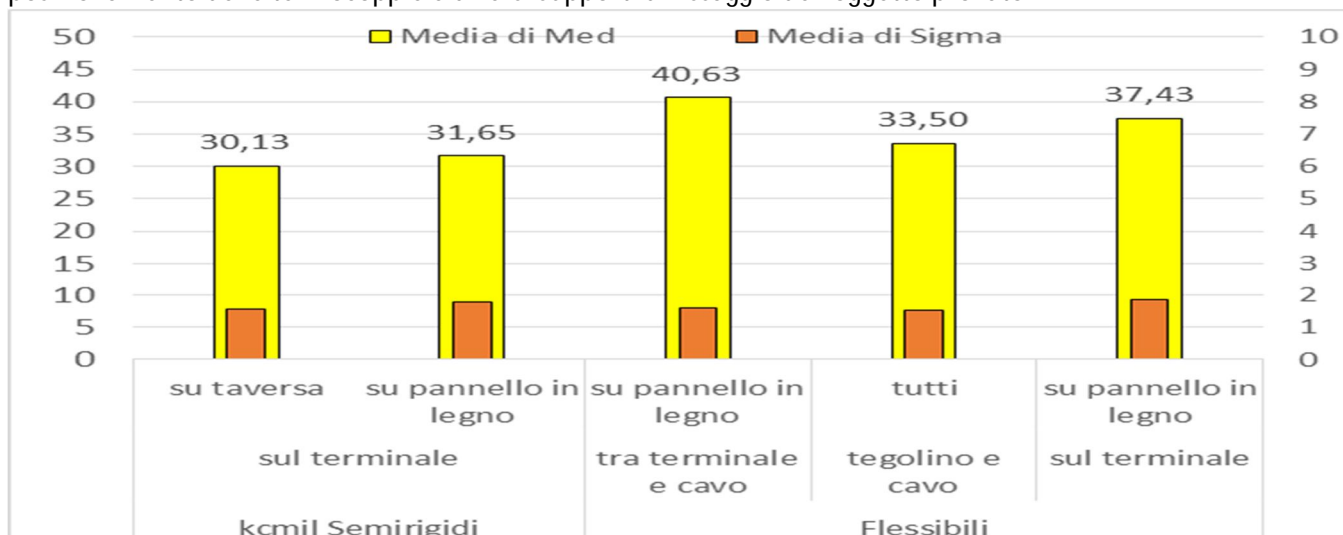


Figura 3: media delle sovratemperature di tabella 1b con cavi kcmil semirigidi e metrici flessibili, diverse modalità di posizionamento delle termocoppie e diversi supporti di fissaggio dell'oggetto provato



Raccolti i dati in accordo alla diverse metodologie di prova, si sono evidenziate variazioni contenute e consistenti con i risultati attesi per tali prove. Questo ha evidenziato come la variazione iniziale riscontrata era da addebitare principalmente alle diverse metodologie di prova utilizzate.

Da rilevare che tutte le metodologie di prova utilizzate erano coerenti con le prescrizioni della Norma e quindi tutti i Laboratori coinvolti hanno operato in coerenza alla Norma stessa. La Norma infatti non definisce pienamente la metodologia di prova, lasciando alcune decisioni ai laboratori di prova (cavo metrico oppure AWG/kcmil, modalità di misura della temperatura, modalità di montaggio dell'oggetto in prova).

Le modalità di prova utilizzate dai vari Laboratori hanno evidenziato queste differenze nei risultati ottenuti:

- **il tipo di cavo usato:** metrico flessibile (120 mmq) o kcmil semirigido (equivalente a 127 mmq). Con quest'ultimo si sono ottenute sovratemperature più basse (vedi figura 1);
- **la posizione della termocoppia** per rilevare le temperature dei terminali: termocoppia inserita sul terminale; termocoppia inserita fra cavo e terminale; termocoppia inserita sul tegolino del morsetto. In quest'ultimo caso si sono rilevate sovratemperature significativamente più basse (vedi figura 2);
- **supporto per il fissaggio dell'apparecchio** durante la prova. Nel nostro caso sono state utilizzate 3 diverse situazioni: fissaggio su traversa, fissaggio su piastra di materiale isolante, fissaggio su piastra metallica; le differenze pur risultando meno significative dei casi precedenti (vedi figura 3) hanno dimostrato un vantaggio per il fissaggio su piastra metallica verso quello su piastra di materiale isolante.

A fronte di tali considerazioni, è stato proposto, ad un numero limitato di Laboratori (n°3), di ripetere le prove fissando le condizioni di cui sopra: prova sia con metrici flessibili che con cavi kcmil semirigidi, termocoppie fissate sui terminali, supporto di fissaggio su traverse.

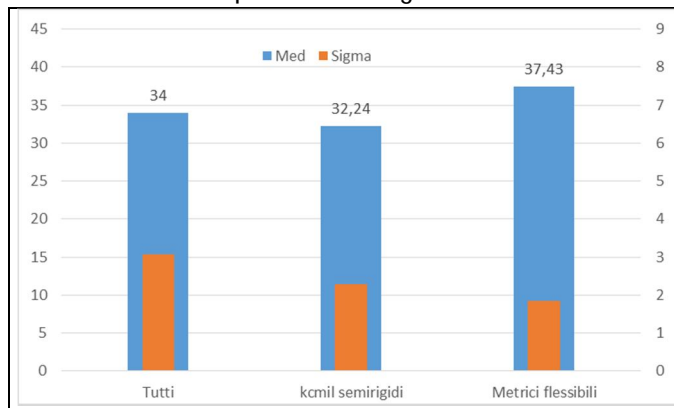
Nella Tabella 3 e nella figura 4, sono riportati i risultati delle prove ripetute, anche in confronto con quelli precedenti.

Tabella 3: Raccolta dei valori di sovratemperatura delle prove con dispersione inferiore a 2 sigma

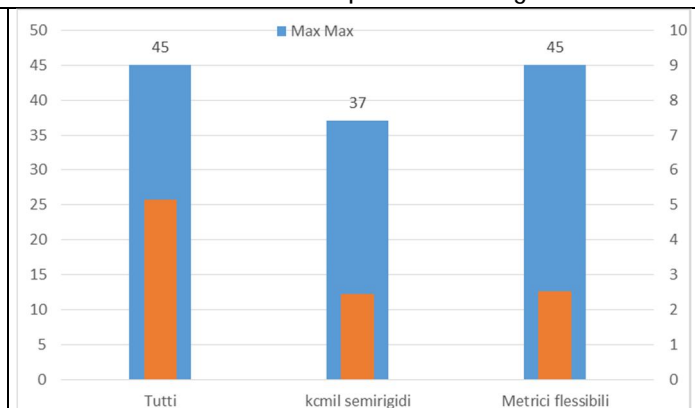
| Tipo di cavo | Posizione Termocoppie | N° prove | Med (K) | Sigma (K) | Max (K) | Min (K) | Campo di variazione medio (%) | Note |
|--------------------|-----------------------|----------|---------|-----------|---------|---------|-------------------------------|----------------------|
| Tutti | sul terminale | 6 | 34,00 | 3,08 | 40,00 | 28,20 | 17 | - |
| | Tutte | 7 | 34,87 | 4,63 | 43,2 | 26,70 | 24 | Risultati precedenti |
| kcmil semirigidi | sul terminale | 3 | 32,24 | 2,29 | 37,00 | 28,20 | 14 | - |
| | | 3 | 30,63 | 1,75 | 34,20 | 26,70 | 12 | Risultati precedenti |
| Metrici flessibili | sul terminale | 2 | 36,58 | 1,73 | 40,10 | 34,60 | 8 | - |
| | | 2 | 37,10 | 2,48 | 43,00 | 34,60 | 11 | Risultati precedenti |

Figura 4: medie della sovratemperatura totale e distinta per tipo di cavo (kcmil semirigido e metrico flessibile) nella seconda serie di prove

Valori medi con dispersione <2 sigma



Valori massimi con dispersione <2 sigma



Dalla tabella 3 e dalla figura 4, si evidenzia che i valori medi rilevati sono confrontabili con quelli precedenti e, pur avendo effettuate le prove con condizioni di prova maggiormente definite, non si sono registrati valori inferiori nella dispersione.

Nei grafici seguenti sono riportate per confronto le distribuzioni con tutti i dati raccolti (figura 5) e con i soli dati ricavati da prove con dispersione <2 sigma (figura 6), evidenziando per i cavi flessibili una curva con valore medio equivalente e sigma inferiore.

Figura 5 Tutti i dati

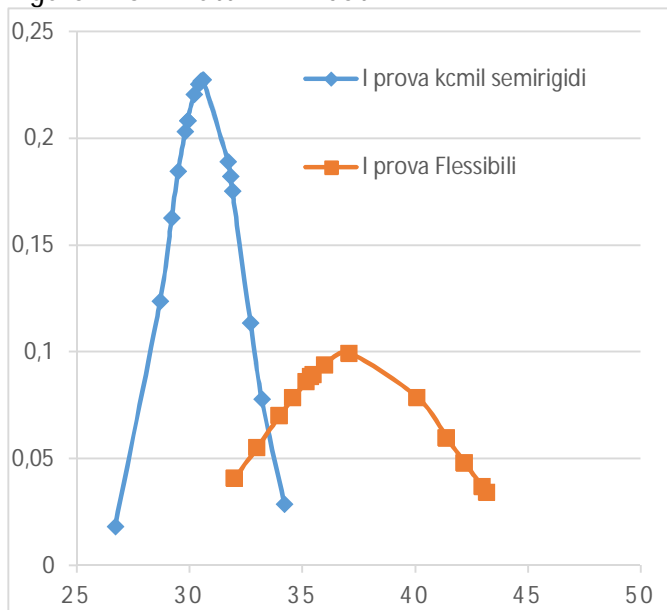
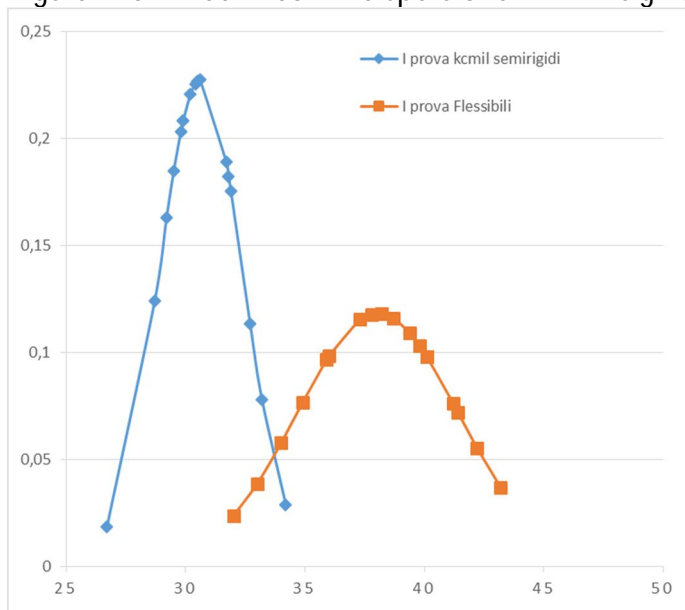


Figura 6 Dati con dispersione <2 sigma



Tutte le analisi effettuate hanno evidenziato valori di sovratemperatura più alti quando si sono utilizzati cavi metrici flessibili e di sezione leggermente inferiore, mentre hanno avuto minore incidenza i diversi tipi di fissaggio delle termocoppie e quasi trascurabile è risultata l'influenza del supporto utilizzato per il fissaggio.

Al fine di verificare se i valori di sovratemperatura più alti, ottenuti con l'impiego dei cavi metrici flessibili rispetto ai cavi kcmil semirigidi, fosse generalizzabile ed indipendente dalle differenze di sezione, sono state aggiunte due prove di confronto con interruttori con correnti nominali inferiore e superiore a quella del Round robin test.

I risultati sono stati i seguenti:

Tabella 4

| Confronto cavi metrici flessibili, metrici semirigidi e kcmil semirigidi | | | | | | |
|---|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Verifica sovratemperature: | IEC 60947-2 (clause 7.2.2) | | | | | |
| -prodotto in prova: | interruttore automatico | | campione Round robin | | interruttore automatico | |
| -corrente di prova (A) ac: | 100 | | 250 | | 400 | |
| -tipo cavo | Metrico Flessibile | Metrico Semirigido | Metrico Flessibile | kcmil Semirigido | Metrico Flessibile | kcmil Semirigido |
| -sezione cavi (mmq): | 35 | 35 (1) | 120 | 126,677 (250kcmil) | 240 | 253,3 (500kcmil) |
| -densità di corrente (A/mm ²): | 2,86 | 2,86 | 2,08 | 1,97 | 1,67 | 1,58 |
| Risultati delle prove: | | | | | | |
| Numero di prove (n°): | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| Sovratemp. Max terminali (K): | 23 | 22 | 40,1 | 34,2 | 62,6 | 64,8 |
| Sovratemp. Media terminali (K): | 21,67 | 20,33 | 37,43 | 30,63 | 60,68 | 61,82 |
| Deviazione standard (K): | 1,21 | 1,37 | 1,85 | 1,75 | 1,84 | 1,97 |

(1): cavo richiesto dalla Norma 3AWG (26,7 mmq)

I dati ottenuti, e riportati nella Tabella 4, non confermano la relazione fra sovratemperature più alte e cavo metrico flessibile, evidenziando in due casi su 3 (6 prove su 8) l'influenza della sezione dei cavi stessi.

Conclusioni

Si ritiene opportuno che, nel caso in cui il costruttore dell'apparecchio ammetta l'utilizzo di entrambi i cavi in accordo alla Tabella 9 della Norma IEC 60947-1, sia sottoposto a prova l'apparecchio collegato con il cavo corrispondente a detta Tabella 9 ma con la minima sezione fra le due colonne (la Tabella 1 della Norma riporta la sezione metrica equivalente corrispondente ai conduttori AWG/kcmil). La Tabella 5 che segue estende la Tabella 9 della Norma, integrando le corrispondenti sezioni ricavate dalla Tabella 1 della stessa Norma con il rapporto fra le rispettive sezioni.

Table 9 – Test copper conductors for test currents up to 400 A inclusive (see 8.3.3.3.4)

| Range of test current a | | Conductor size b, c, d | | | |
|-------------------------|-----|------------------------|-----------|------------------------------|--|
| A | | mm ² | AWG/kcmil | AWG/kcmil (mm ²) | Rapporto fra sezioni AWG/kcmil e mm ² |
| 0 | 8 | 1 | 18 | 0,82 | 0,82 |
| 8 | 12 | 1,5 | 16 | 1,31 | 0,87 |
| 12 | 15 | 2,5 | 14 | 2,08 | 0,83 |
| 15 | 20 | 2,5 | 12 | 3,31 | 1,32 |
| 20 | 25 | 4 | 10 | 5,26 | 1,32 |
| 25 | 32 | 6 | 10 | 5,26 | 0,88 |
| 32 | 50 | 10 | 8 | 8,37 | 0,84 |
| 50 | 65 | 16 | 6 | 13,30 | 0,83 |
| 65 | 85 | 25 | 4 | 21,15 | 0,85 |
| 85 | 100 | 35 | 3 | 26,67 | 0,76 |
| 100 | 115 | 35 | 2 | 33,63 | 0,96 |
| 115 | 130 | 50 | 1 | 42,41 | 0,85 |
| 130 | 150 | 50 | 0 | 53,48 | 1,07 |
| 150 | 175 | 70 | 00 | 67,43 | 0,96 |
| 175 | 200 | 95 | 000 | 85,03 | 0,90 |
| 200 | 225 | 95 | 0000 | 107,20 | 1,13 |
| 225 | 250 | 120 | 250 | 127,00 | 1,06 |
| 250 | 275 | 150 | 300 | 152,00 | 1,01 |
| 275 | 300 | 185 | 350 | 177,00 | 0,96 |
| 300 | 350 | 185 | 400 | 203,00 | 1,10 |
| 350 | 400 | 240 | 500 | 253,00 | 1,05 |

Foto 1: termocoppia sul terminale



Foto 2: termocoppia fra cavo e terminale

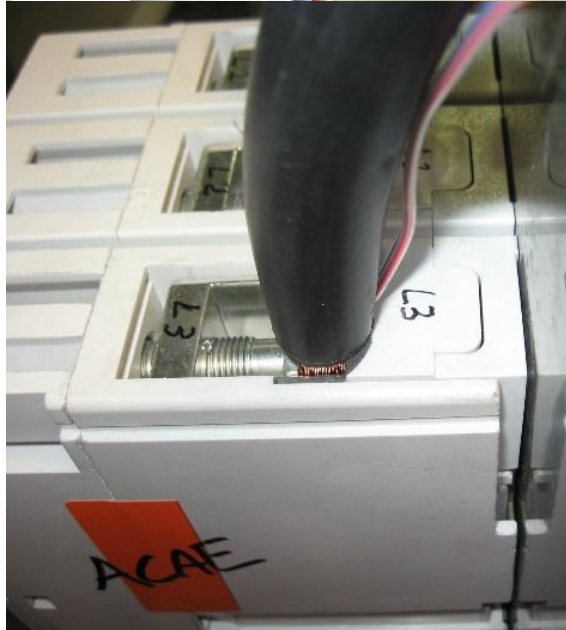


Foto 3: termocoppia sul tegolino del morsetto

