METRICA
METRology Institutional CAtalog

ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA
Repository Istituzionale

Sistema di misura dei parametri ambientali su cavi sotterranei di media tensione sottoposti ad ondate di calore: evidenze da misure sul campo

Original
Sistema di misura dei parametri ambientali su cavi sotterranei di media tensione sottoposti ad ondate di calore: evidenze da misure sul campo / Roccato, P., Galliana, F., Caria, S.E., Picco, V., Mazza, A.. - (2026), pp. 311-312. (X Forum Nazionale delle Misure REGGIO CALABRIA 7-9 Settembre 2026).

Availability:
This version is available at: 11696/90379 since: 2026-10-06T12:32:03Z

Publisher:
GMEE

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright
GMEE
Copyright degli Autori

(Article begins on next page)

30 October 2026



ATTI DEL X FORUM NAZIONALE DELLE MISURE

REGGIO CALABRIA, 7-9 **SETTEMBRE** 2026

43° Congresso Nazionale di **Misure Elettriche ed Elettroniche**

34° Congresso Nazionale di **Misure Meccaniche e Termiche**

Sistema di misura dei parametri ambientali su cavi sotterranei di media tensione sottoposti ad ondate di calore: evidenze da misure sul campo

P. Roccato [(1)], F. Galliana [(1)], S. Caria [(1)], V. Picco [(2)], A. Mazza [(2)]
(1) Dip. di Metrologia Applicata e Ingegneria, Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Strada delle Cacce 91 - 10135 Torino
[(2)] Dip. di Energia Galileo Ferraris Politecnico di Torino, C.so Duca degli Abruzzi 24 - 10129 Torino
p.roccato@inrim.it

1. INTRODUZIONE

Le ondate di calore degli ultimi anni hanno causato effetti deleteri sulla società e sulle infrastrutture. Le ondate di calore del 2003 [1] e del 2022 [2] non solo hanno causato mortalità e danni ambientali, ma hanno anche influenzato la produzione di energia e il funzionamento della rete, contribuendo ad un aumento dei guasti e a una riduzione della capacità di generazione. Questi eventi confermano che tali fenomeni sono ormai ordinari e vanno gestiti come tali. Questo contributo oltre alla descrizione dell'installazione del sistema di misura, analizza le incertezze che influenzano le prestazioni del sistema, considerando anche il verificarsi di condizioni meteorologiche estreme.

2. INSTALLAZIONE DEL SISTEMA DI MISURA

Il sistema (Fig. 1) per la misura delle temperature dell'asfalto, del terreno, del giunto del cavo e del cavo è costituito da termocoppie di tipo J di accuratezza 0,75 °C e da un convertitore digitale per termocoppie con risoluzione a 16 bit e compensazione del giunto freddo con accuratezza 0,1%, e deriva termica inferiore a 1×10^{-4}/K. Per gestire e analizzare efficacemente il flusso di dati provenienti dai sensori, è stato implementato un sistema di acquisizione dati costituito da un data logger online che registra le letture dei sensori a intervalli regolari e da un database (InfluxDB) per l'archiviazione dei dati. Il database ha fornito un archivio affidabile per i dati generati dai sensori.

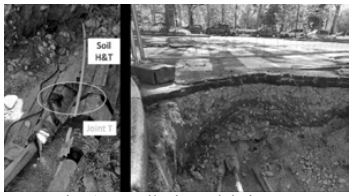


Fig. 1. Installazione del sistema di misura.

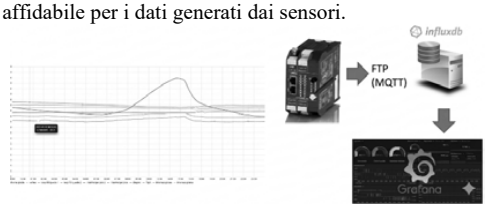


Fig. 2. Implementazione del sistema di raccolta e visualizzazione dei dati, insieme a un esempio di dati d'uscita

Per l'analisi dei dati, nel sistema è stata integrata una piattaforma di visualizzazione dei dati, Grafana (Fig. 2) che consente la creazione di dashboard interattive che mostrano i dati raccolti in tempo reale, permettendo analisi approfondite. Un esempio di dati elaborati è mostrato in Figura 3.

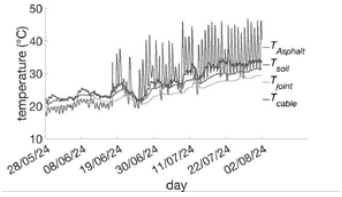


Fig. 3. Esempio di dati dopo l'elaborazione.

È interessante osservare che esiste un punto in cui l'asfalto inizia ad agire come accumulatore di calore, influenzando le temperature del terreno, dei cavi e dei giunti. Questo fenomeno potrebbe portare le temperature dei cavi e dei giunti a superare i limiti di temperatura ammissibili, creando un rischio per l'integrità dei cavi/giunti e per la loro durata operativa.

3. INCERTEZZA DI MISURA

Il modello di misura è:

$$T_x = T_{tc} k_{tc} k_s k_{cd} \quad (1)$$

dove T_x e T_c ,sono rispettivamente la temperatura dell'oggetto in misura e la temperatura rilevata dal sistema di misura; k_{tc}, k_s e k_{cd} sono termini correttivi (≅1) che tengono conto dell'accuratezza della termocoppia e del convertitore, nonché dell'instabilità del convertitore per effetto della temperatura. Assumendo indipendenti le grandezze di ingresso nella (1), l'incertezza tipo composta di T_x è:

$$u_c^2(T_x) = u^2(k_{tc}) + u^2(k_c) + u^2(k_{cd}) + u^2(T_{tc}) \quad (2)$$

Un bilancio d'incertezza del sistema di misura, secondo [3], è riportato in tabelle 1 e 2. Lo scopo di questa valutazione è determinare la migliore capacità di misura del sistema, corrispondente alla migliore incertezza ottenibile, ossia quando misura un misurando con la migliore stabilità. Pertanto, sono state analizzate le misure di temperatura effettuate nelle condizioni ambientali più stabili.

Tabella 1. Incertezza della misura della temperatura dell'asfalto

$T_{asfalto}$ ≅ 9,41 °C	***Incertezza tipo***[1] k =1 (×10^{-3})	**Tipo**
Letture di temperatura	$u(T_{tc})$ ≅1,9	Normale A
Accuratezza termocoppia	$u(k_{tc})$ ≅ 46,0	Rett. B
Accuratezza convertitore	$u(k_c)$ ≅ 0,58	Rett. B
Deriva convertitore	$u(k_{cd})$ ≅ 0,058	Rett. B

Incertezza tipo composta (%) u_c **4,6** % *Incertezza estesa* U **= 9,2** %

Tabella 2. Incertezza della temperatura del giunto.

T_{giunto} ≅ 8,11 °C	***Incertezza tipo*** k =1 (×10^{-3})	**Tipo**
Letture di temperatura	$u(T_{tc})$ ≅ 0,12	Normale A
Accuratezza termocoppia	$u(k_{tc})$ ≅ 53,4	Rett. B
Accuratezza convertitore	$u(k_c)$ ≅ 0,58	Rett. B
Deriva convertitore	$u(k_{cd})$ ≅ 0,058	Rett. B

Incertezza tipo composta (%) u_c **5,3** % *Incertezza estesa* U **= 10,1**%

CONCLUSIONI

I risultati hanno mostrato che il contributo di incertezza maggiore, associato alla termocoppia, è costante; pertanto, esso influisce meno sulla misura dell'asfalto più caldo rispetto a quella dei componenti interrati (ad esempio i giunti). Tenere conto di questi aspetti è essenziale per sviluppare un'infrastruttura di misura consapevole del livello di incertezza nei punti di misura associati ai diversi componenti, nonché per individuare strategie volte a proteggere i componenti interrati dal calore eccessivo sulla base della temperatura dell'asfalto.

RINGRAZIAMENTI

Questo studio è stato condotto nell'ambito del progetto EXTRASTRONG (resilience evaluation by EXperimental and TheoRetical ApproacheS in electrical distributiON systems with underGround cables), finanziato dall'Unione Europea – Next Generation EU nell'ambito del programma PRIN 2022 (D.D.104 – 02/02/2022 – Ministero dell'Università e della Ricerca). Il presente manoscritto riflette esclusivamente le opinioni e i punti di vista degli autori, e il Ministero non può essere ritenuto responsabile per il suo contenuto. Il gruppo di ricerca ringrazia inoltre IRETI SpA per aver reso possibile l'installazione del sistema di misura.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] A. De Bono, G. Giuliani, S. Kluser, and P. Peduzzi,"Impacts of summer 2003 heat wave in Europe," UNEP Report, 2004, https://www.unisdr.org/files/1145 ewheatwave.en.pdf.
[2] AON PLC,"Q3 Global Catastrophe Recap," Oct. 2022, https://www.aon.com/reinsurance/getmedia/08b0306f-790c-4f6a-8c0e-883e91ceba04/20221410-if-q3-2022-global-cat-recap.pdf
[3] JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement, First ed.

[1] Queste incertezze sono ottenute moltiplicando le incertezze tipo delle grandezze di ingresso per i rispettivi coefficienti di sensibilità.