



ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA Repository Istituzionale

Test di contatori di energia elettrica in condizioni di power quality registrate sul campo

Original

Test di contatori di energia elettrica in condizioni di power quality registrate sul campo / Galliana, F., Callegaro, L., Cultrera, A., Serazio, D., Trinchera, B., Aprile, G., Chirulli, M.. - In: TUTTO MISURE. - ISSN 2038-6974. - 3:(2025), pp. 27-32.

Availability:

This version is available at: 11696/87079 since: 2025-10-02T12:12:21Z

Publisher:

Associazione Italiana di Misure Elettriche ed Elettroniche

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

(Article begins on next page)

CONTATORI DI ENERGIA ELETTRICA

F. Galliana¹, L. Callegaro¹, A. Cultrera¹, D. Serazio¹, B. Trincherà¹, G. Aprile¹, M. Chirulli²

Test di contatori di energia elettrica in condizioni di power quality registrate sul campo

Quando la normativa non basta

TESTING OF ELECTRICITY METERS UNDER POWER QUALITY CONDITIONS AS RECORDED IN THE FIELD

A calibration and verification system for electrical energy meters is presently operating at INRiM. The system allows one to perform tests also in low power quality conditions. Both tests described in normative, and tests corresponding to real operating conditions have been implemented. The latter employ waveforms sampled in the field, from operative facilities. Results of tests performed on commercial meters show that their conformity to standardized tests do not always guarantee good operativity under the real operating conditions.

RIASSUNTO

Presso l'INRiM è operativo un sistema di taratura e verifica dei contatori di energia elettrica attiva. Il sistema consente di effettuare test anche in condizioni di bassa *power quality*. Sono stati implementati sia test con forme d'onda standard secondo normativa vigente, sia test in condizioni reali, campionate da impianti elettrici in condizioni operative. I risultati su contatori commerciali da impianto mostrano che la conformità a test effettuati con forme d'onda specificate in normativa non sempre garantisce il buon funzionamento in condizioni operative.

INTRODUZIONE: NORMATIVA E LETTERATURA SCIENTIFICA

La misurazione accurata dell'energia elettrica è la base per una corretta tariffazione e per l'implementazione delle strategie di gestione della rete di distribuzione elettrica. Le condizioni di *power quality* della rete possono peggiorare in presenza di carichi non lineari e di cogenerazione dell'energia tipica del paradigma *smart grids*. Gli attuali contatori statici, pur rispettando le norme vigenti [1], potrebbero però non rispettare la loro classe di accuratezza in condizioni di rete particolarmente lontane dall'idealità [2]. In letteratura, in condizioni di distorsione armonica estrema, sono stati riportati errori di lettura anche del 500% [3].

Il Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) ha pubblicato le norme della serie CEI EN 50470 [4], che prescrivono i metodi di prova dei contatori di energia attiva in ambito residenziale, commerciale e industriale in bassa tensione, sia elettromeccanici che elettronici.

In Italia, per quanto riguarda i controlli

post-installazione, si applica la norma CEI 13-71 [5]. Questa identifica come condizioni normali di funzionamento una distorsione armonica totale (*total harmonic distortion*, THD) sino al 10% per la tensione e sino al 40% per la corrente. L'errore massimo permesso (*Maximum Permitted Error*, MPE) viene prescritto in base alle diverse grandezze d'influenza ed è maggiore della classe dello strumento per tener conto della THD. Per le verifiche di laboratorio la 13-71 rimanda alle norme di prodotto, mentre per le verifiche su impianto richiede il rilievo della distorsione armonica di tensioni e correnti. Sempre per quanto riguarda il panorama nazionale, va ricordato che sono previste anche verifiche periodiche o casuali in base al DM 93/2017 che però non fa diretto riferimento alla CEI 13-71 (all'epoca "Guida CEI 13-71").

L'OIML [6] prescrive un insieme di forme d'onda di testing di diverso contenuto armonico, tra cui due forme d'onda con terza, quinta, settima, undicesima e tredicesima armonica.

In generale, la normativa prevede test

con un numero limitato di forme d'onda identificate a priori. In aggiunta ai metodi descritti in normativa, la letteratura scientifica ne propone altri, che cercano di simulare condizioni di testing più realistiche: si veda [7] per una rassegna. L'approccio proposto in questo lavoro è quello di riprodurre in laboratorio forme d'onda campionate da situazioni presenti in installazioni industriali.

IL LABORATORIO DI VERIFICA E TARATURA DI CONTATORI ELETTRICI

L'INRiM, nell'ambito di una Convenzione con l'allora Ministero per lo Sviluppo Economico (MISE, ora MIMIT), ha installato un laboratorio per la taratura e verifica di contatori di energia elettrica. Sono stati implementati metodi di validazione corrispondenti alla normativa e regolamentazione corrente, e studiati metodi alternativi di validazione.

Il sistema di taratura e verifica, mostrato in Fig. 1 e descritto nei particolari in [8], è dotato di un generatore G di potenza trifase virtuale (sino a 320 V e 120 A per fase) che genera le forme d'onda di tre canali di tensione e tre di corrente; un wattmetro campione W_{REF} (la cui taratura rispetto al campione nazionale di potenza ed energia fornisce la riferibilità al sistema) e un contatore in verifica W_{DUT} . Le forme d'onda di tensione e corrente possono essere programmate indipendentemente in ampiezza (max 320 V, 120 A), fase e contenuto armonico. Il wattmetro W_{REF} può controllare per retroazione l'uscita del generatore G.

¹ INRiM – Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Torino
f.galliana@inrim.it

² VERIFICA spa – Locorotondo (BA)



Data una specifica condizione di test, il sistema consente la determinazione del corrispondente errore percentuale di lettura del contatore

$$e = 100 \frac{E_{DUT}}{E_{REF}} \quad (1)$$

dove E_{DUT} e E_{REF} sono, rispettivamente, le letture dell'energia attiva di DUT e di W_{REF} .



Figura 1 – Il sistema di taratura e verifica di contatori elettrici. G è il generatore di potenza virtuale, composto da un'unità di sintesi di forme d'onda, un amplificatore di tensione a tre canali, tre amplificatori di transconduttanza. W_{REF} è il contatore campione. W_{DUT} è il contatore in taratura, dotato di trasduttori di tensione e corrente (più contatori possono essere connessi in cascata). I modelli in taratura mostrati in figura non sono quelli a cui si riferiscono i risultati mostrati nell'articolo.

TEST EFFETTUATI CON IL SISTEMA IMPLEMENTATO

Dalla normativa vigente

Sono stati implementati alcuni dei test descritti dalla normativa. La Fig. 2 mostra un esempio del risultato di taratura di un contatore trifase DUT-T1 di classe IEC 0.5, EN C. La taratura è svolta sia in regime sinusoidale che in presenza di una quinta armonica di tensione e corrente. In entrambe le condizioni l'errore del contatore è all'interno della sua classe di accuratezza.

Dalla letteratura

Un esempio di test implementato, ispirato alla letteratura scientifica [9], im-

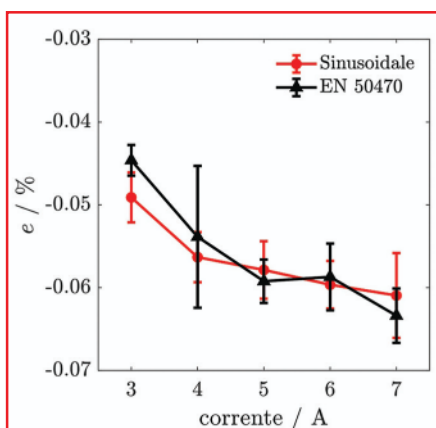


Figura 2 – Errore percentuale nella misura dell'energia per il contatore DUT-T1, in funzione della corrente applicata, osservato in regime sinusoidale e in regime distorto secondo norma EN 50470-3, paragrafo 8.7.7.7 [4]. La corrente ha una componente di quinta armonica del 40% rispetto alla fondamentale, la tensione del 10%.

piega forme d'onda di tensione e corrente date da una fondamentale a 50 Hz e dall'aggiunta di una singola armonica, in fase con la fondamentale. L'ampiezza dell'armonica è del 10% della fondamentale per la tensione e del 40% per la corrente. La sequenza di misura prevede di variare l'ordine n dell'armonica aggiunta, da $n=2$ a $n=40$. La Fig. 3a mostra le onde di ten-

sione e corrente impiegate nel caso $n=8$. La Fig. 3b mostra un risultato del test su di un contatore monofase DUT-M1 di classe EN B (1%): l'errore rientra nella classe di accuratezza del contatore quando l'ordine dell'armonica è inferiore a 15.

Forme d'onda registrate sul campo

Uno dei test implementati è costituito dalla riproduzione di forme d'onda di tensione e corrente presenti in condizioni reali d'impiego e registrate sul campo. La Fig. 4 mostra un esempio delle forme d'onda registrate.

Le Figg. 5a e 5b mostrano i risultati della taratura di due diversi contatori trifase, DUT-T1 e DUT-T2, della stessa classe di accuratezza 0.5% ma di diversa fascia di mercato. I risultati mostrano che entrambi i contatori superano i test in condizioni sinusoidali e con quinta armonica di tensione e corrente come definiti in normativa. Nel test in condizioni distorte registrate sul campo, invece, se l'errore del DUT-T1 risulta accettabile ($e < 0.3\%$) quello del contatore DUT-T2 è ampiamente oltre i limiti dati dalla sua classe di accuratezza.

CONCLUSIONI

Il sistema di taratura e verifica sviluppato consente di determinare l'errore di

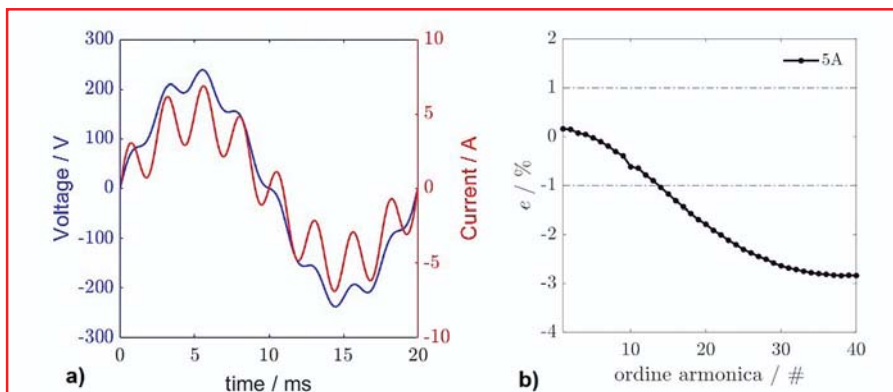


Figura 3 – a) Onde di corrente e tensione utilizzate per il test in Fig. 3b. In questo esempio è mostrato il caso in cui alla fondamentale è sommata la 8ª armonica. b) Errore di misura del contatore DUT-M1 in condizioni distorte più generali rispetto alla normativa. Ogni punto di misura corrisponde alla presenza, sia nell'onda di tensione sia di corrente, di una singola armonica di ordine crescente aggiunta alla componente fondamentale. La fascia tra le due linee tratteggiate rappresenta errori compatibili con la classe di accuratezza di DUT-M1.

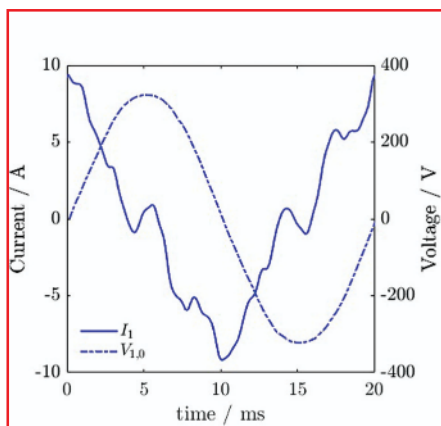


Figura 4 – Onde di tensione e corrente (fase 1) registrate sul campo.

misura di contatori commerciali per la misura dell'energia attiva sia nelle condizioni descritte dalle norme che in presenza di forme d'onda di tensione e corrente ricostruite da campionamenti effettuati sul campo.

Gli esperimenti effettuati, sia su contatori monofase che trifase, mostrano che i risultati di verifica dipendono dal modello di contatore considerato.

Alcuni contatori mostrano errori consistenti con la loro classe di accuratezza sia in condizioni sinusoidali che distorte, mentre altri possono avere errori

anche del 20% – senza che questo comporti alcuna segnalazione all'utente.

In particolare, i risultati riportati in Fig. 5b mostrano che un contatore può risultare conforme nei test effettuati con le forme d'onda descritte in normativa, e ciononostante avere un errore inaccettabile in condizioni analoghe a quelle riscontrate sul campo.

Questo suggerisce che i test descritti nelle normative possano non essere completamente rappresentativi del comportamento del contatore in condizioni reali di utilizzo.

Future revisioni della normativa e della regolamentazione vigente, che richiedono comunque un'armonizzazione reciproca, potranno tener conto anche del metodo proposto per l'inclusione di nuovi test più vicini alle condizioni effettive di funzionamento. L'attività sperimentale si è per il momento concentrata sugli aspetti di *power quality* legati al contenuto armonico delle forme d'onda di tensione e corrente. Questo non esaurisce l'universo dei parametri di *power quality* descritti dalle norme.

In prospettiva, l'approccio proposto è comunque estendibile ad altri eventi o condizioni (transienti, salti di fase, ...), sia sintetizzati che ottenuti da registrazioni sul campo.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] 2014/32/EU; Directive 2014/32/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the Harmonization of the Laws of the Member States Relating to the Making Available on the Market of Measuring Instruments. European Parliament and the Council of the European Union: Brussels, Belgium, 2014.

[2] A. Ferrero, M. Faifer, S. Salicone, On Testing the Electronic Revenue Energy Meters. IEEE Trans. Instrum. Meas. 2009, 58, 3042-3049.

[3] Ten Have, B.; Hartman, T.; Moonen, N.; Keyer, C.; Leferink, F. Faulty readings of static energy meters caused by conducted electromagnetic interference from a water pump. Renew. Energy Power Qual. J. 2019, 17, 15-19.

[4] CEI EN 50470, Apparat per la Misura dell'Energia Elettrica (c.a.) – parte 1/A1:2019, parte 2/A1:2020, parte 3:2022. CEI: Milano, Italia.

[5] CEI 13-71; Sistemi di Misura dell'Energia Elettrica (c.a.) – Guida Alla Composizione, Installazione e Verifica. CEI: Milano, Italy, 2022.

[6] OIML R 46-1/-2 International Recommendation: Active electrical energy meters. Part 1: Metrological and technical requirements; Part 2: Metrological controls and performance tests, 2012.

[7] A. Cultrera, G. Germito, D. Serazio, F. Galliana, B. Trincheria, G. Aprile, M. Chirulli, L. Callegaro, Active Energy Meters Tested in Realistic Non-Sinusoidal Conditions Recorded on the Field and Reproduced in Laboratory. Energies, 17(6), 1403, 2024.

[8] L. Callegaro, G. Aprile, A. Cultrera, F. Galliana, G. Germito, D. Serazio, B. Trincheria, A Calibration-verification testbed for electrical energy meters under low power quality conditions. Meas. Sens., 18, 100188, 2021.

[9] A. Ferrero, C. Muscas, On the Selection of the "Best" Test Waveform for Calibrating Electrical Instruments Under Nonsinusoidal Conditions, IEEE Trans. Instr. Meas., 49, 2, 2000.

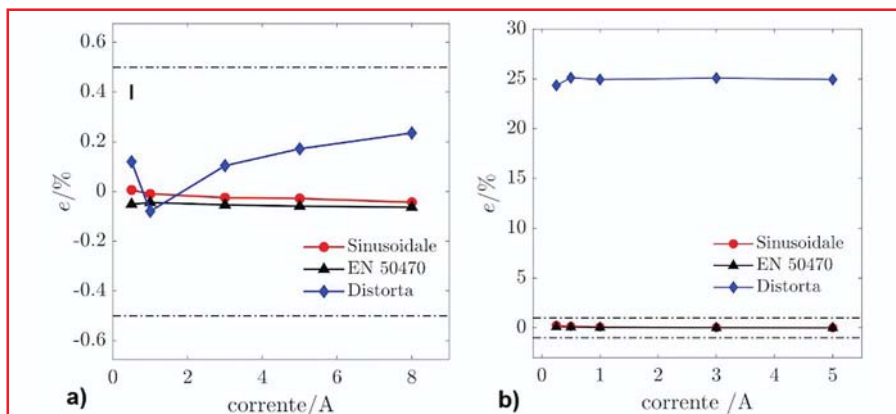


Figura 5 – a) Taratura del contatore DUT-T1, trifase in classe 0.5%. I simboli rappresentano le tre diverse condizioni di test: segnali sinusoidali; segnali con armoniche secondo normativa EN 50470-3, paragrafo 8.7.7.7 [4]; segnali registrati sul campo della Fig. 4. Le linee tratteggiate rappresentano la classe di accuratezza dello strumento. b) Taratura di un contatore DUT-T2, trifase classe 0.5%. I simboli impiegati sono analoghi a quelli della Fig. 5a.



Flavio Galliana, Luca Callegaro, Alessandro Cultrera, Danilo Serazio, Bruno Trinchera e Giulia Aprile lavorano presso l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) sulla realizzazione delle grandezze elettriche del Sistema Internazionale, il mantenimento dei campioni nazionali di unità di misura, la disseminazione delle grandezze elettriche e la gestione dei progetti di ricerca nazionali e internazionali associati a queste tematiche.



Martino Chirulli Ingegnere elettrico Responsabile Tecnico e della qualità LAT 247, specializzato in energia attiva. Esperto in verifiche e tarature di contatori elettrici ai fini fiscali, gestione della qualità e metrologia legale, vanta oltre 20 anni di esperienza nelle misure elettriche e nelle verifiche di impianti elettrici in Alta e Bassa Tensione. Ha collaborato con ENEL, TERNA ed ENI, consolidando la sua esperienza nelle procedure di conformità e certificazione.

? **DOMANDE** ✍ **COMMENTI**
🔍 **PROPOSTE**

Scrivi alla Redazione

[CLICCA QUI](#)

TUTTO_MISURE

*Misure e Testing:
strumenti di crescita e progresso*

Sistema ProCap

Un nuovo mondo di misura e visualizzazione

- Misura e visualizzazione in tempo reale di un campo di flusso
- Visualizzazione 3D di pressioni e velocità dell'aria
- Veloce da configurare e molto facile da usare
- Permette la validazione dei calcoli CFD

Per una dimostrazione o un preventivo

T: +39 345 7839383
E: info@evomisure.it
www.EvoMisure.it

