

MISURA DELLA CARICA SPAZIALE E RILIEVO DEL PROFILO DI CAMPO ELETTRICO SU CAVI HVDC REALI MEDIANTE IL METODO DELL'IMPULSO ELETTROACUSTICO (PEA) SECONDO LA RACCOMANDAZIONE IEEE 1732-2017

A. Imburgia¹, P. Romano¹, G. Ala¹, M. Alqtish¹, A. Di Fatta¹, S. Licciardi¹, G. Rizzo², H. Samadi¹, F. Viola¹

¹DI - Dipartimento, Ingegneria, Università degli Studi di Palermo
Viale delle Scienze, Edificio 9, 90128 Palermo

²EOSS, Prysmian Group, Italy

Parole chiave: PEA, DC stress, HVDC.

Una delle principali attività di ricerca condotte di recente dall'unità di Palermo riguarda la misura dell'accumulo di carica spaziale nei dielettrici dei cavi utilizzati nei sistemi di trasmissione HVDC. Poiché tale fenomeno altera la distribuzione radiale del campo elettrico nell'isolante, riducendo di conseguenza la durata di vita del cavo, nel 2017 è stata introdotta la raccomandazione IEEE 1732, che suggerisce ai produttori di cavi di effettuare misure della carica spaziale sia prima che dopo i test di qualifica. Per poter effettuare questa misura, la tecnica più comunemente utilizzata è il metodo dell'impulso elettroacustico PEA (Pulsed Electro-Acoustic). Il principio di funzionamento si basa sull'applicazione di una tensione impulsiva, in aggiunta alla tensione continua applicata, con caratteristiche tali da indurre la vibrazione delle cariche spaziali presenti nel dielettrico. Questa vibrazione genera onde acustiche che si propagano all'interno del sensore PEA e vengono successivamente rilevate da un trasduttore piezoelettrico [1]. Tuttavia, il sensore PEA tradizionalmente utilizzato presenta alcune limitazioni nella misura su dielettrici di elevato spessore. La significativa attenuazione del segnale acustico e i disturbi causati dalle riflessioni delle onde, rendono infatti difficile la distinzione tra i segnali utili e il rumore. La soluzione a questi problemi è stata proposta da alcuni ricercatori giapponesi e consiste essenzialmente nella sostituzione di alcuni materiali utilizzati nel sensore tradizionale con altri materiali aventi caratteristiche simili a quelle dei dielettrici sottoposti al test, al fine di migliorare l'accoppiamento acustico tra il sensore e il cavo. Prendendo spunto dalla letteratura, presso il laboratorio L.E.PR.E. dell'Università di Palermo è stato sviluppato un nuovo sensore PEA. Oltre al sensore, sono stati realizzati anche i software per l'acquisizione e l'elaborazione dei segnali in ambiente Matlab. Dopo una prima validazione in laboratorio, sono state effettuate misure in campo per conto dell'azienda Prysmian, ottenendo risultati complessivamente soddisfacenti. In particolare, una prima misura conforme alla raccomandazione IEEE 1732-2017 è stata eseguita presso il laboratorio Prysmian di Quattordio (Alessandria) su un cavo in corrente continua da 525 kV. La prima fase del test ha previsto il riscaldamento del cavo, ottenuto mediante la circolazione di corrente nel conduttore. Una volta raggiunto il regime termico, corrispondente alla temperatura nominale, è stata applicata una tensione positiva di 525 kV. A partire da questo momento, contestualmente all'applicazione della tensione ad impulsi di valore pari a 8 kV, è iniziata l'acquisizione del segnale relativo alla distribuzione di carica spaziale. Il profilo di carica rilevato nei primi minuti (profilo a 0 ore) ha fornito un campo elettrico calcolato con valore massimo in corrispondenza dell'anodo (anima del cavo) ed un valore minimo in corrispondenza del catodo (schermo). Dopo tre ore dall'applicazione della tensione, il campo elettrico ha presentato invece un valore massimo in corrispondenza del catodo e un valore minimo in corrispondenza dell'anodo. Questo comportamento evidenzia un fenomeno noto come 'inversione del profilo del campo elettrico'. Come indicato nella raccomandazione, il valore del campo elettrico calcolato dopo tre ore è stato confrontato con quello ottenuto a zero ore. Dal confronto è emerso che la variazione percentuale tra le due distribuzioni ha superato il 10%; pertanto, in conformità con le indicazioni della raccomandazione, la prova è stata

prolungata per ulteriori tre ore. Successivamente, il campo elettrico a sei ore è stato nuovamente calcolato e confrontato con quello a tre ore. Poiché la variazione percentuale tra i due campi elettrici è rimasta superiore al 10%, è stato necessario prolungare la prova per ulteriori tre ore. Dopo nove ore, la variazione percentuale, calcolata confrontando l'ultimo profilo di campo elettrico con quello a sei ore, è risultata inferiore al 10%. Ciò ha indicato che il valore del campo elettrico si è stabilizzato, segnando così la conclusione della prova con tensione positiva.

In Figura 1a è riportata l'immagine del cavo sottoposto alla prova, mentre in Figura 1b è mostrato il sensore PEA installato sul cavo. Infine, in Figura 1c sono presentati i profili di carica spaziale acquisiti e i relativi profili di campo elettrico calcolati.

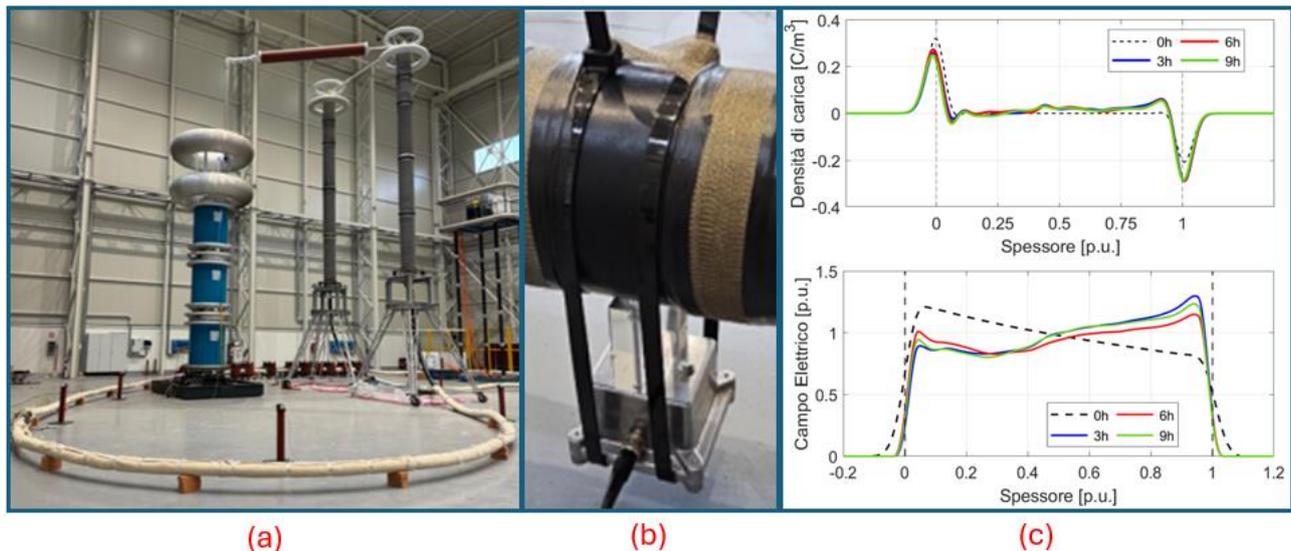


Figura 1. a) Foto del setup di misura allestito presso il laboratorio Prysmian di Quattordio. b) Dettaglio del punto di installazione del sensore PEA sul cavo. c) Profili di carica spaziale rilevati da 0 a 9 ore e relative distribuzioni di campo elettrico calcolate.

Successivamente a quanto sopra descritto, ha avuto inizio la fase di volt-off, durante la quale la tensione DC viene azzerata, mentre continua ad essere applicata la tensione impulsiva. Questa fase, della durata di 3 ore, è finalizzata alla valutazione della carica spaziale residua nell'isolante del cavo. Al termine della fase di volt-off, il cavo viene lasciato connesso a terra per 24 ore prima di procedere con la misura con il generatore di tensione DC in polarità negativa. Vengono quindi applicati -525 kV, seguendo gli stessi step della fase precedente con polarità positiva. Maggiori dettagli sulle modalità di esecuzione della prova effettuata sono riportati in [2].

BIBLIOGRAFIA

1. A. Di Fatta, P. Romano, G. Rizzo, G. Ala and A. Imburgia, "The Interaction Between Electric Field and Partial Discharges Simultaneously Detected in a HVDC Cable Under Operating Conditions," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 140171-140184, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3466393.
2. A. Di Fatta, G. Rizzo, P. Romano, G. Berardi, M. Albertini, G. Ala, S. Franchi Bonini and A. Imburgia, "Advancing Space Charge Test Techniques: Pulsed Electro-Acoustic Measurement on a 525-kV HVDC Cable," in *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 41, no. 2, pp. 6-14, March/April 2025, doi: 10.1109/MEI.2025.10924660.