

L'Energia Elettrica

maggio/giugno 2022
numero 3 - volume 99

Poste Italiane Spa - Spedizione in Abbonamento
Postale - Decreto Legge 353/2003 (convertito in
Legge 27/02/2004 N. 46) Articolo 1, comma 1,
DCB Milano - ISSN 0013 - 7308

**AEIT - Associazione Italiana di Elettrotecnica, Elettronica,
Automazione, Informatica e Telecomunicazioni**



Il S.E. russo e i flussi di gas per l'Europa



Tecnologie elettriche per situazioni disastrose



Riflessioni sull'agrofotovoltaico

Miglioramento dell'efficienza e capacità della rete elettrica utilizzando ACCC

Dave Bryant, Andrea Michele Sacripanti CTC Global Corporation

La domanda di elettricità aumenta nel mondo, + 250 utilities hanno aumentato la capacità, l'efficienza e affidabilità della rete elettrica con Aluminum Conductor Composite Core Conductor in 1100 progetti in 60 paesi con + 100000 km di linee installate

Introduzione

Costruire una nuova linea elettrica è sempre stato per le utilities elettriche una grossa sfida ed in molte situazioni ha richiesto anche ingenti investimenti e capitale umano altamente qualificato.

A tale proposito, diversi produttori hanno sviluppato dei conduttori che possono funzionare ad alta temperatura denominati *High Transmission Low Sag* (HTLS) semplicemente conduttori ad alta capacità di trasporto. I primi progetti di conduttori ACSS (Aluminum Conductor Steel Supported) utilizzavano corde con anima in acciaio e trefoli di alluminio completamente ricotto che potevano funzionare a temperature fino a 250 °C. Nel tempo furono commercializzati anche altri modelli rinforzati in acciaio che utilizzavano acciaio Invar termicamente stabile mentre altri conduttori in lega di alluminio potevano funzionare anche a temperature più elevate con un abbassamento notevole del franco verso terra.

Un'azienda giapponese ha anche introdotto un conduttore in stile *Gap* che ha permesso ai fili di alluminio di "scorrere" liberamente sui fili del nucleo in acciaio per "appiattare" essenzialmente il "punto dal quale il segnale viene compresso" e mitigare l'eccessivo abbassamento del

valore del franco verso terra, in quanto, come è noto, a livelli elevati di corrente trasportata la resistenza elettrica provoca il riscaldamento dei conduttori con conseguente espansione del materiale e diminuzione della franco minimo. Tale risultato (e altri fattori) limitano la capacità di trasferimento di potenza per alcuni tipi di conduttori.

Nel 2003, una società nel sud della California nella cosiddetta *composite valley*, chiamata Composite Technology Corporation (ora CTC Global), ha introdotto un nuovo tipo di conduttore che ha sostituito l'anima in acciaio con un nucleo composito ibrido in fibra di vetro e carbonio a filamento singolo. Questo prodotto è oggi conosciuto come ACCC - Aluminum Conductor Composite Core.

Il leggero nucleo composito di questo conduttore consente di utilizzare quasi il 30% in più di alluminio (utilizzando fili trapezoidali compatti) senza penalizzare il peso o il diametro. Il contenuto di alluminio aggiunto diminuisce la resistenza elettrica del conduttore che serve a ridurre le perdite di linea di circa il 30% in qualsiasi condizione di carico. Poiché il coefficiente di espansione termica della fibra di carbonio è molto basso, il valore minimo del franco verso terra risulta essere minimo.

conduttori

con anima in composito

Il grafico riportato in **figura 1** mostra un confronto di vari tipi di conduttori HTLS testati da Hydro One presso il Kinectrics Lab in Canada (2005).

Il confronto include il conduttore ACSR, che generalmente è limitato a 93 °C, e quindi utilizzabile come esempio al di sotto della temperatura che comporta la ricottura/indebolimento dei fili di alluminio.

Si può notare la temperatura di esercizio sostanzialmente più bassa nel conduttore ACCC, dovuta al suo contenuto di alluminio più elevato e della minore resistenza elettrica. L'immagine rappresentata dalla **figura 2** mostra le differenze costruttive tra il conduttore ACSR e il conduttore ACCC.

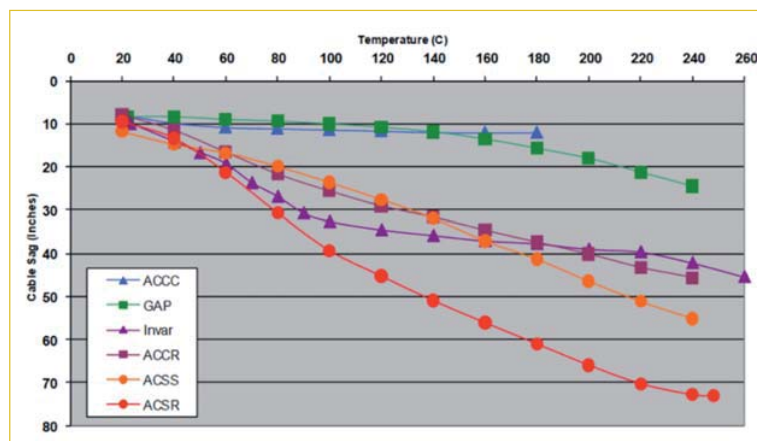


Figura 1 Valore del franco e temperatura di vari conduttori di dimensioni Drake* su un tratto di prova di 65 metri, eseguito da Hydro One al Kinectrics Lab a 1.600 ampere nel 2005 - * Conduttore ACSR Drake

Conduttore Aluminum Conductor Composite Core e altri nuovi design

Il conduttore ACCC utilizza uno strato integrato di fibre di vetro per una serie di motivi: in primo luogo migliora notevolmente la flessibilità e la tenacità rispetto alle fibre interamente in carbonio di uguale diametro; inoltre fornisce uno strato robusto, di lunga durata nel tempo, capace di prevenire la corrosione galvanica. Ciò risulta di fondamentale importanza e pienamente conforme alla norma ASTM B-987.

Come è ben noto nel settore aerospaziale (da cui provengono molti degli ingegneri di CTC GLOBAL), carbonio e alluminio non possono essere in contatto fisico dato che in presenza di eventuali fenomeni di ossidazione, come acqua piovana, umidità o condensa, si causerebbe una corrosione accelerata dell'alluminio conduttivo (c.d. electrolyte).

Altri produttori di conduttori hanno proposto nuclei in fibra di carbonio multifilo con l'obiettivo di migliorare la flessibilità e fornire "ridondanza del percorso di carico" (il che significa che se uno dei fili del nucleo di carbonio risultasse deteriorato, i restanti non danneggiati continuerebbero a sopportare un carico di trazione). Nella pratica bisogna tuttavia considerare i seguenti aspetti:

1. i nuclei di diametro inferiori sono più suscettibili al danneggiamento e all'ossidazione termica (invecchiamento accelerato) se esposti a temperature più elevate;
2. le bacchette in carbonio sono molto rigide

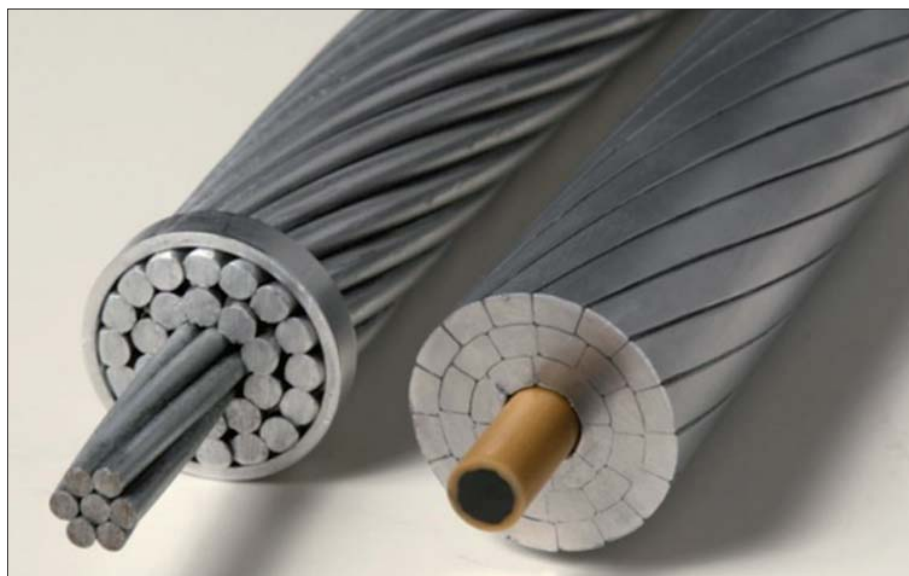


Figura 2 Esempio di Conduttore ACSR e il moderno ACCC (Aluminum Conductor Composite Core) con anima composita in fibra di carbonio e vetro e concetti di alluminio trapezoidali compatti

conduttori

con anima in composito

e quando sono attorcigliate, per consentirne il posizionamento su bobine per lo stoccaggio e il trasporto, hanno la tendenza a districarsi durante l'installazione e questo può indubbiamente causare gravi ingabbiamamenti (bird-cage) del conduttore o schiacciamento dei fili;

3. il carbonio multifilo soprattutto nella fase installativa evidenzia delle attenzioni molto particolari in quanto essendo i trafilati di acciaio di forma rotonda e non trapezoidale risultano essere molto suscettibili ad un eventuale schiacciamento in fase installativa. Peggio ancora, quando le morse di compressione vengono utilizzate con uno strato di alluminio morbido per aiutare a conformarsi attorno ai fili di carbonio del nucleo, la pressione trasversale provoca uno stress assiale

che può superare il limite di deformazione della stessa fibra di carbonio. A differenza dell'alluminio e dell'acciaio che si deformano plasticamente e cederanno a una deformazione di circa l'1%, la fibra di carbonio è completamente elastica e non cede. Si romperà a una deformazione del 2% circa. La **figura 3** ne è un esempio.

I progettisti di ACCC hanno sviluppato un sistema di hardware e giunzioni che non schiaccia o deforma il nucleo composito, bensì permette lo stiramento assiale ad alta tensione di allungamento, senza punti di concentrazione delle sollecitazioni (**figura 4**).

Altri costruttori hanno inoltre proposto modelli di anima in fibra di carbonio a filamento

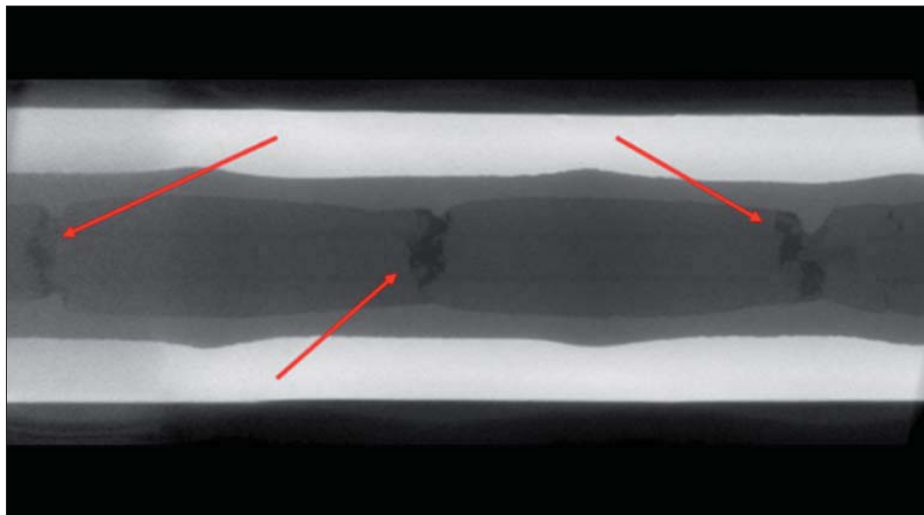


Figura 3 Scansione TC del nucleo in fibra di carbonio multifilare all'interno del golfare cieco in acciaio (con manico in alluminio) dove la pressione trasversale ha causato sollecitazioni assiali che hanno superato il limite di deformazione dei fili del nucleo in fibra di carbonio

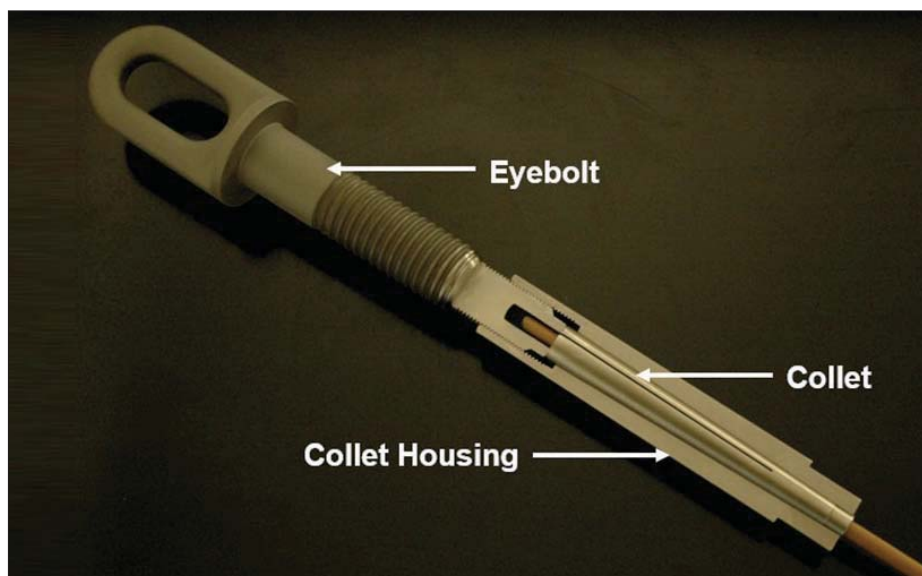


Figura 4 Esempio ACCC Conductor dead-end mostra il sistema di assemblamento

conduttori

con anima in composito

singolo e multifilo che sono incapsulati in manicotti di alluminio che possono eventualmente aiutare a controllare la tenuta del multifilo osservando il c.d. bird-caging durante l'installazione e potrebbero anche tollerare diametri delle pulegge più piccoli, anche se le fibre in carbonio possono comunque essere danneggiate se piegate eccessivamente, consentendo la penetrazione di acqua o umidità che potrebbe ridurre notevolmente la vita di servizio del conduttore.

Il team R&D di CTC Global ha individuato anche un principio di *degassificazione* dei vari componenti del sistema epossidico, quando le barre di carbonio sono incapsulate in manicotti termoplastici e/o di alluminio, provocando in certi casi, a temperature più elevate, un degrado termico accelerato. È stato inoltre notato che il nucleo in fibra di carbonio offre un'eccellente resistenza e un abbassamento termico notevole ma se viene incapsulato in un manicotto di alluminio il coefficiente combinato di espansione termica aumenterà il valore del franco verso terra e di conseguenza l'abbassamento della freccia del conduttore rispetto ai modelli di calcolo ACCC.

Considerando le differenze sostanziali nei coefficienti di dilatazione termica tra fibra di carbonio e alluminio e la tendenza dell'alluminio a deformarsi e cedere plasticamente in funzione della temperatura ciclica e dei carichi di tensione, sorge spontanea la domanda:

In che misura il manicotto in alluminio proteggerà effettivamente i nuclei di carbonio nel

tempo? Quanto sono maturi i vari design di hardware di compressione semi-convenzionale su un manicotto incapsulato in alluminio che potrebbe potenzialmente danneggiare il nucleo? Quest'ultimo potrebbe essere semplicemente danneggiato sotto un carico di grande sollecitazione ad alte temperature dove il manicotto in alluminio potrebbe essersi espanso e allentato?

Esperienza sul campo per il conduttore ACCC

Le esperienze di laboratorio sono molto significative per comprendere i vari limiti di diversi tipi di conduttori, sicuramente CTC Global ha ottenuto una serie di informazioni aggiuntive provenienti dal campo d'installazione in cui le situazioni reali possono dare risposta alle molte problematiche riscontrate invece in laboratorio.

Concentrandoci sul conduttore ACCC, ecco alcuni esempi:

- 1) **Resilienza:** Nel 2010 un incendio ha bruciato una serie di strutture con telaio ad H in legno e acciaio su una linea di trasmissione ai piedi della catena montuosa della Sierra Nevada. Questa linea è stata sostituita con conduttore da 218 mm² ACCC Linnet che non è rimasto danneggiato, il che ha permesso agli installatori sul campo di rimettere in servizio rapidamente questa linea.

Questo è stato un buon test della resilienza del conduttore tant'è che da allora la linea ha funzionato senza alcun problema (**figura 5**).

Figura 5 Conduttore ACCC intatto e funzionante dopo l'incendio



ii) Nel 2013 un tornado EF-5 ha colpito Moore, Oklahoma, negli Stati Uniti. I venti sono stati registrati a oltre 200 mph (320+ km/h); la forza del vento era così potente che un serbatoio molto grande è stato sbattuto contro un traliccio d'acciaio alto 38 metri. La forza del colpo ha causato la rottura dei trefoli di alluminio sul conduttore ACCC, ma il nucleo di carbonio ad alta resistenza essendo molto elastico è rimasto del tutto intatto.

Ciò ha consentito alla squadra di unire rapidamente alcuni metri di conduttore ACCC e rimettere rapidamente in servizio la linea. Se il nucleo si fosse guastato, la linea sarebbe caduta a terra e sarebbero stati necessari un argano completo e un'attrezzatura per il traino. Le quattro ore di riparazione hanno permesso ai tecnici e alle loro attrezzature di passare rapidamente ad altri lavori. Questo è un altro

esempio di resilienza e di lezioni apprese sul campo. Più a nord, un sostegno a traliccio, rinforzato per sostenere una doppia terna, è stato colpito dal telaio di una casa mobile che ha provocato la deformazione della struttura facendo cadere verticalmente nove conduttori ACSR sul conduttore ACCC installato. Mentre l'isolatore del montante superiore doveva essere sostituito, il conduttore ACCC non era danneggiato (figura 6).

La figura 7 mostra il conduttore ACCC colpito dalla pallottola di un cacciatore nel deserto del Nevada. Mentre il nucleo composito in carbonio non è stato danneggiato, seppur la maggior parte dei trefoli di alluminio sono stati tagliati di netto, la resistenza della sezione non tagliata del nucleo composito ha mantenuto la linea in posizione fino a quando il danno non è stato scoperto e riparato con un intervento sotto-tensione.



Figura 6 Conduttore ACCC prontamente riparato (sinistra) e danneggiato (destra) dopo un tornado



Figura 7 ACCC Conductor con anima danneggiata dopo uno colpo di fucile

conduttori

con anima in composito

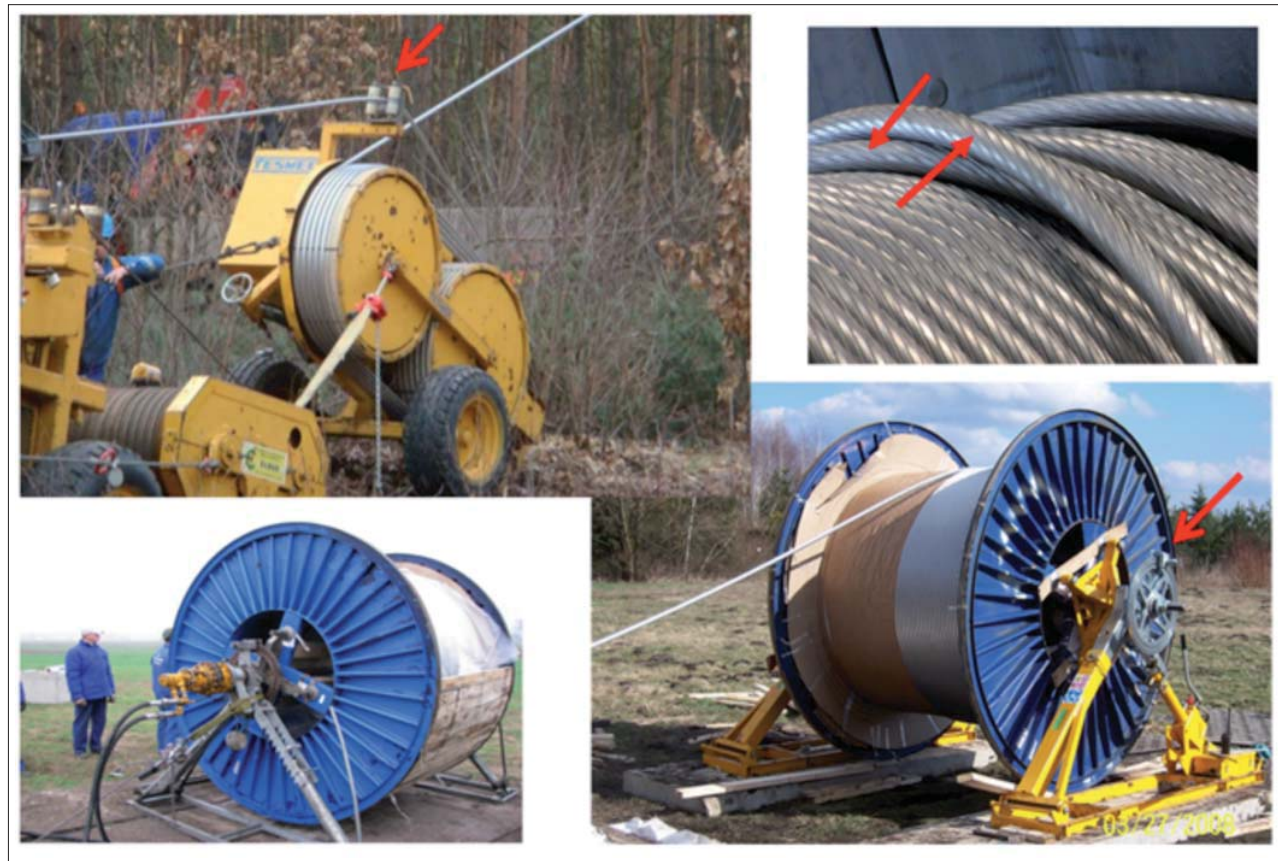


Figura 8 Esempi di errori durante il processo di installazione



Figura 9 Personale prepara il conduttore ACCC che utilizza fibre ottiche incorporate nel nucleo composito

Mentre i costruttori di carbonio multifilo hanno rivendicato i vantaggi della “*ridondanza del percorso di carico*”, la realtà è che il nucleo ACCC a filamento singolo di carbonio e fibra di vetro è costituito da centinaia di migliaia di fibre di carbonio e vetro. Se per esempio venisse tagliato a metà ci si potrebbe aspettare una diminuzione di circa il 50% della resistenza complessiva, lo stesso vale per qualsiasi tipo di conduttore e nucleo.

Si sono anche verificati alcuni incidenti che hanno danneggiato il conduttore ACCC durante l'installazione. La **figura 8** mostra alcuni esempi in merito a una installazione in Polonia nel 2009. A causa dell'eccessiva velocità di trazione durante l'utilizzo del vecchio conduttore per tirare il nuovo conduttore ACCC, molte giunzioni hanno causato notevoli fluttuazioni di tensione di tiro e sono quindi saltate improvvisamente attraverso le ruote della puleggia. Da questo episodio è stato prodotto un manuale per una perfetta installazione nel quale viene ribadito che una flessione e tensione eccessive attorno a una ruota di allineamento di diametro molto piccolo, può causare la rottura del nucleo.

Per evitare che altre squadre di installazione commettano errori simili, CTC ha attualmente 48 ACCC istruttori qualificati distribuiti per progetto in tutto il mondo che seguono i clienti proprio nella fase installativa.

Il nuovo ACCC con sistema di ispezione

Per supportare ulteriormente l'obiettivo di non incorrere in incidenti nel corso dell'installazione, CTC Global ha sviluppato il sistema Conduttore che utilizza fibre ottiche incorporate nel nucleo composito. Un trasmettitore è posizionato a un'estremità della bobina e un ricevitore è posizionato all'altra estremità. Un segnale luminoso inviato attraverso le fibre ottiche conferma che non si sono verificati danni non visibili e che l'installazione è stata eseguita correttamente. Questo sistema può testare il conduttore sia nelle bobine a terra che dopo essere stato installato.

Quasi 1.100 installazioni sono state comunque completate con successo dal 2005 senza il nuovo sistema sopra descritto, con una bassissima percentuale di incidenti. In ogni caso il nuovo sistema, che utilizza fibre ottiche incorporate nel nucleo composito, offre un altro livello di affidabilità nella fase installativa. Mentre altre aziende hanno sperimentato fibre ottiche poste tra il nucleo e i trefoli di alluminio conduttivo, l'inclusione nel nucleo composito garantisce un

maggiore grado di protezione e stabilisce solide basi per l'evoluzione tecnica.

Il sistema del conduttore che utilizza fibre ottiche incorporate nel nucleo composito (ACCC-Infocore) è stato implementato con successo in numerosi progetti in tutto il mondo, incluso cinque progetti nel 2020 in Belgio, Paesi Bassi e Lussemburgo. In tutti questi progetti, l'anima del conduttore è stata ispezionata prima, durante e dopo la produzione, per un totale di oltre 1.000 km di installazioni prive di incidenti. Una fondamentale caratteristica del sistema è quella di poter confermare l'integrità del nucleo dopo che il conduttore è stato installato.

Progetti in Europa

Nel 2021 Elia (Operatore del sistema di trasmissione della rete ad alta tensione belga) ha iniziato l'installazione di questo conduttore su un grande progetto in Belgio, a seguito di due progetti pilota del 2020. La linea di 92 km si trova nelle province di Anversa e Limburgo. Partendo dalla sottostazione di alta tensione di Massenhoven (a Zandhoven), la linea corre lungo l'Albertkanaal fino alle sottostazioni di alta tensione di Heze (a Geel) e Meerhout, quindi prosegue fino alla sottostazione di alta tensione di Van Eyck (a Kinrooi) vicino a i confini olandese e tedesco.

La sfida di questa installazione consisteva nella tempistica, ovvero nell'acquisire i dati entro 15 minuti dall'installazione del conduttore, da traliccio a traliccio, per un totale di circa 150 singole linee, con una finestra temporale molto ristretta d'interruzione della corrente, da parte del gestore, per permettere di lavorare in sicurezza. Ebbene, il tempo medio di conferma dell'integrità del conduttore si è rivelato inferiore a 5 minuti dimostrando velocità e accuratezza dei dati, come illustrato in **figura 9**.

Conclusioni

Sebbene l'aumento della capacità delle linee di trasmissione esistenti presenti numerosi vantaggi in termini di collegamento e accesso a fonti di generazione più pulite, con lo scopo di combattere i cambiamenti climatici, tutta la gamma dei conduttori HTLS è molto ricercata; in particolare l'ACCC che offre caratteristiche interessanti tra cui la riduzione delle perdite di linea. Ciò può ridurre il consumo energetico e le emissioni associate, liberando così capacità di generazione altrimenti sprecata. Fornire più potenza con meno perdite riduce sostanzialmente i costi complessivi di generazione e di consumo.