

Vantaggi e svantaggi per le diverse tipologie di elettrodi marini per impianti HVDC

M. Brignone, D. Mestriner, M. Nervi

Dipartimento DITEN – Università degli Studi di Genova, Via Opera Pia 11a, 16145 Genova

L'Unità, da parecchi anni, si occupa dello studio e sviluppo di procedure numeriche per l'analisi degli elettrodi di ritorno asserviti a linee di trasmissione HVDC [1, 2] attraverso l'analisi dei campi e delle correnti disperse. Attualmente il numero di impianti HVDC è in continua crescita, principalmente per un migliore sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili.

Se da un lato gli elettrodi di tipo costiero presentano una serie di vantaggi significativi, come il costo inferiore, la facilità di posa e manutenzione e un'eccellente protezione fisica, dall'altro la sfida vera è di identificare una posizione adatta, naturale o artificiale, lungo la costa. Sfortunatamente, oggi le coste sono così affollate di infrastrutture, vincoli ambientali o servitù militari da rendere questa opzione sostanzialmente impraticabile. Di conseguenza, l'unica possibilità rimane lo sviluppo di un elettrodo in mare aperto. Inizialmente, quando per gli impianti HVDC si utilizzavano collegamenti monopolari e convertitori a corrente impressa (LCC – Line Commuted Converters), i due elettrodi erano progettati per funzionare in maniera unidirezionale: il catodo, tipicamente non soggetto a fenomeni di corrosione, installato al largo e l'anodo, soggetto a notevole corrosione, progettato come elettrodo costiero, per facilitarne la manutenzione e ridurre i costi. Si pensi che per più di 30 anni l'unico vero elettrodo in mare aperto in grado di funzionare anche come anodo è stato quello reversibile situato al largo di S. Monica, CA, USA, utilizzato dal Pacific Intertie Direct Current, per collegare l'Oregon settentrionale con Los Angeles, CA [3]. Con il passare degli anni, l'uso sempre maggiore di convertitori a tensione impressa (VSC - Voltage Source Converter), che comporta un cambiamento del verso della corrente cambia ogni volta che si ha un cambio della direzione della potenza, ha spinto verso la necessità di sviluppare elettrodi reversibili da installarsi in mare aperto, caratterizzati da costi ragionevoli, elevata affidabilità e significativa resistenza alle interazioni indesiderate.

Attualmente, esistono sostanzialmente due tipi di configurazioni possibili per realizzare un elettrodo marino:

- elettrodi “leggeri”, realizzati con reticoli di titanio rivestiti (disperdenti) e un telaio di supporto idoneo, normalmente in fibra di vetro o materiale plastico, il cui scopo è quello di mantenere la rete disperdente in titanio sollevata in sicurezza dal fondale marino; il peso contenuto facilita da un lato l'installazione ma dall'altro ne limita la resistenza, ad esempio, a spostamenti indesiderati o a danni strutturali. Elettrodi di questo tipo sono già stati utilizzati con successo in diversi impianti nel Mediterraneo;
- elettrodi “pesanti”, realizzati con un letto di coke contenente barre in grafite o SiCrFe (disperdenti), uno strato di ghiaia e un'adeguata struttura di contenimento costituita tipicamente da un contenitore di cemento armato che si adagia sul fondale marino; il peso di un tale modulo può arrivare fino a qualche decina di tonnellate fornendo

all'elettrodo una particolare resistenza. Strutture di questo tipo si trovano installate in alcuni impianti siti nel Mar Baltico.

È importante sottolineare che l'affidabilità è un fattore chiave per gli elettrodi in mare aperto, poiché la manutenzione è costosa e richiede molto tempo. Pertanto, anche dettagli apparentemente trascurabili devono essere considerati per garantire una lunga vita operativa. Uno di questi è l'autoconsumo dell'elettrodo: mentre il titanio rivestito è praticamente eterno, gli elettrodi a base di SiCrFe o grafite e coke si deteriorano con l'utilizzo. In linea di principio, si potrebbero selezionare altri materiali con un tasso di corrosione leggermente inferiore, ma gli unici in grado di resistere alla corrosione senza particolari problemi sono costosi ed esotici (si pensi ai metalli nobili). Un altro dettaglio apparentemente trascurabile, ma che può influire notevolmente sulla durata dell'elettrodo è la tecnologia utilizzata per collegare i cavi di alimentazione agli elementi disperdenti. Come accennato in precedenza, le reti in titanio rivestito sono già dotate per costruzione di diversi cavi di alimentazione, poiché la saldatura sul titanio non è un'operazione banale. Per altri materiali disperdenti (barre di SiCrFe o grafite) le barre possono essere fornite così come sono, oppure esistono produttori che forniscono ogni barra già intestata con un cavo di alimentazione: questa tecnologia è delicata, poiché i cavi di alimentazione sono realizzati in rame. Pertanto, se l'elettrodo fosse utilizzato come anodo, in caso di infiltrazioni di acqua marina nella zona del giunto tra la barra ed il cavo, questo potrebbe rompersi assai rapidamente. Un elettrodo HVDC dovrebbe essere progettato per circa 40 anni di funzionamento, e non è banale garantire connessioni impermeabili per un periodo così lungo. Varie configurazioni sono in corso di studio.

Seppur valide entrambe le tipologie di elettrodi, presentano d'altro canto svantaggi:

	vantaggi	svantaggi
elettrodi "leggeri"	no autocorrosione, peso ridotto, facili da danneggiare/spostare, basse emissioni di cloro, facile installazione	costosi, un solo produttore, strutturalmente più deboli
elettrodi "pesanti"	più economici, strutturalmente resistenti, difficili da danneggiare/spostare, componenti ampiamente disponibili	autocorrosione, peso elevato, maggiori emissioni di cloro, installazione più complessa

La scelta non è semplice: ovviamente tutti apprezzeranno l'adozione di un elettrodo che presentasse soltanto vantaggi e nessun inconveniente. Di conseguenza, la scelta finale dipenderà da quale caratteristica si consideri più importante, in considerazione delle specificità del sito e delle caratteristiche operative dell'impianto.

Bibliografia

- [1] IEC TS 62344:2022 – "Design of earth electrode stations for high-voltage direct current (HVDC) links - General guidelines
- [2] CIGRÉ WG B4.61, "General Guidelines for HVDC Electrode Design". Jan. 2017
- [3] W. Litzenberger and P. Lips, 'Pacific HVDC intertie', IEEE Power and Energy Magazine, vol. 5, no. 2, pp. 45-51, 2007.