

# **“CONCEPTUAL DESIGN” DI UN MODULO PER LA REALIZZAZIONE DI UN ELETTRODO REVERSIBILE IMMERSO IN ACQUE PROFONDE**

*Paola Girdinio, Paolo Molfino, Giorgio Molinari, Mario Nervi, Mansueto Rossi*

Dipartimento di Ingegneria Navale, Elettrica, Elettronica e delle Telecomunicazioni (DITEN)

Università degli studi di Genova

Via Opera Pia 11a, 16145 Genova, e-mail: paolo.molfino@unige.it

**Parole chiave:** *Elettromagnetismo computazionale, HVDC, Elettrodi Marini, Elementi Finiti*

## **VINCOLI OPERATIVI**

La realizzazione di impianti HVDC che utilizzino elettrodi marini, richiede particolari attenzioni quando gli impianti siano posizionati in aree costiere densamente popolate. In tal caso la corrente continua dispersa dall'elettrodo marino può interessare gli impianti civili (condotte del gas e dell'acqua) causando importanti corrosioni elettrolitiche e, nel caso di condotte del gas rischi di esplosione, rischi per la salute e potenziali situazioni di disastro ambientale.

Una delle tecniche più utilizzate per minimizzare i rischi di corrosione delle condotte è quella di posizionare gli elettrodi marini in acque profonde a distanza di sicurezza dalle condotte. Naturalmente la realizzazione di elettrodi marini immersi in acque profonde comporta una serie di problematiche che debbono essere affrontate:

- 1) minimizzazione dei lavori subacquei (oltre i 30 m il lavoro diventa disagiata e costoso);
- 2) limitata necessità di manutenzione (vedi problematiche punto 1.);
- 3) robustezza ed affidabilità strutturale (azione delle onde, ancore, reti a strascico, ecc.);
- 4) sicurezza (bassi campi elettrici emessi nell'ambiente).

## **CARATTERISTICHE PROGETTUALI**

Il modulo che proponiamo per la realizzazione di elettrodi marini posizionati in acque profonde, è stato progettato per essere confacente alle problematiche sopra descritte ed è un modulo completamente prefabbricato a terra che può essere rapidamente posizionato in acque profonde per realizzare, assieme ad altri moduli analoghi, un elettrodo marino immerso. Le principali caratteristiche progettuali sono:

- il modulo è realizzato come un singolo pezzo in calcestruzzo con rinforzi in fiberglass per minimizzare gli interventi necessari al suo posizionamento;
- le problematiche di corrosione elettrochimica dell'elettrodo (quando opera come anodo) vengono risolte selezionando opportunamente i materiali e le loro combinazioni: proponiamo di realizzare l'elettrodo con barre di grafite immerse in uno strato di coke. Per aumentare la conducibilità elettrica del coke (dipende dalla pressione) il letto di coke è ricoperto da uno spesso strato di ghiaia;
- il dimensionamento della struttura deve essere adeguato a reggere potenziali impatti senza danneggiarsi e senza spostarsi (risultato: un modulo del peso di decine di tonnellate);
- il campo elettrico nell'intorno dell'elettrodo deve essere contenuto in un intervallo di 1,25-2 V/m (in accordo con il “pre-standard” IEC/PAS [1]);
- per ottenere tale risultato la densità di corrente valutata all'interfaccia tra coke e acqua marina (assumendo la conducibilità del mare 4 S/m) deve essere contenuta in un intervallo di 5-8 A/m<sup>2</sup>.

Il modulo che abbiamo sviluppato (fig. 1) ha una struttura di tipo cilindrico con un diametro interno di 4 m, spessore delle pareti 40 cm ed una larga base di diametro 7,5 m (per aumentarne la stabilità), il peso del modulo (asciutto) è di 935kN. La sezione superficiale disperdente è di 12,6 m<sup>2</sup> e l'elettrodo può disperdere una corrente di 63-100 A.

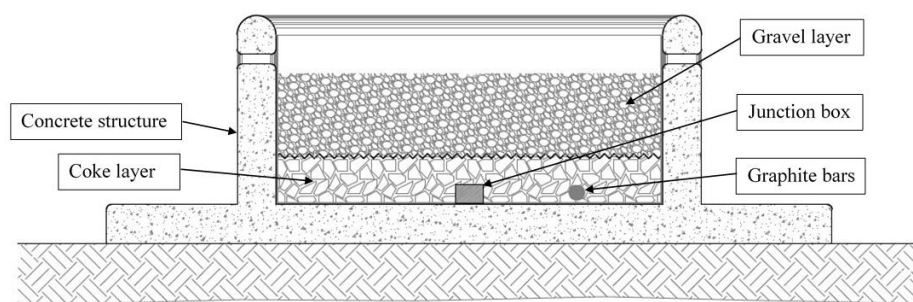


Fig. 1. Sezione verticale del modulo.

## SIMULAZIONI NUMERICHE

L'analisi numerica dei campi prodotti dal modulo sottomarino (campo di corrente e campo elettrico) è stata realizzata con i codici ad elementi finiti Vector Fields simulando il problema di "current-flow" stazionario assegnando il potenziale di 1 V all'interfaccia tra il coke e la ghiaia e ponendo una condizione di regolarità per il potenziale all'infinito. I risultati dell'analisi, campo di corrente dispersa, sono stati scalati in modo da ottenere una corrente dispersa di 100 A. Il valore massimo del potenziale che è stato calcolato è pari a 6,491 V con una resistenza del modulo pari a 64,91 mΩ.

Il valore massimo del campo elettrico lungo un piano posizionato a 50 cm sopra la ghiaia è di 1,42 V/m. In alcune zone estremamente limitate (in prossimità delle pareti laterali del modulo) si è trovata una zona con valori di campo più elevati (se fosse necessario ridurli, si può effettuare un "de-rating" della corrente dispersa).

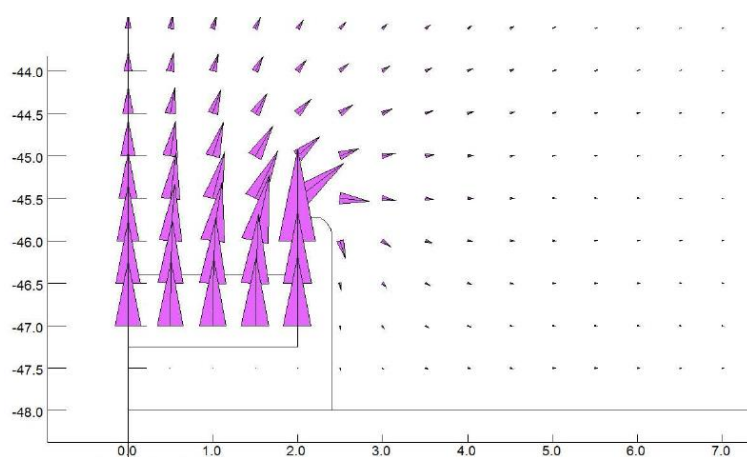


Fig. 2. Andamento qualitativo del campo di corrente uscente dall'elettrodo.

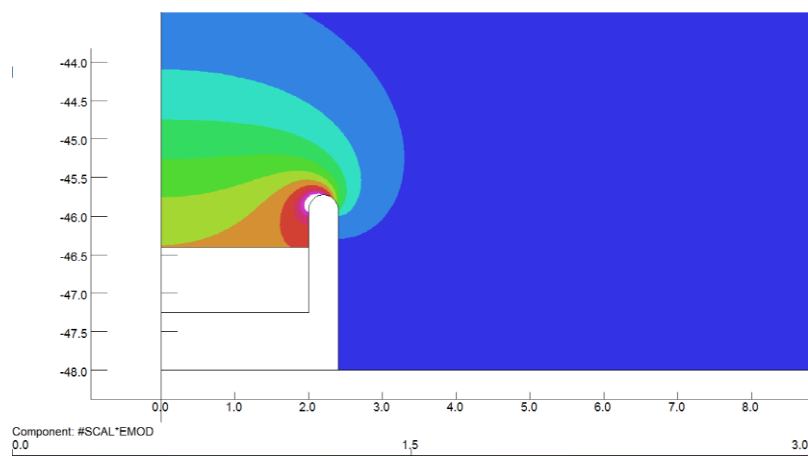


Fig. 3. Mappa del modulo del campo elettrico sopra l'elettrodo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] IEC/PAS 62344:2007(E) "General guidelines for the design of ground electrodes for high-voltage direct current (HBVD) links" – ISBN 2-8318-9094-2, 2007.