POLITECNICO
MILANO 1863

PoliLaPP

Giornata di studio "Pietro Pedeferri"
Dalla ricerca all'industria: le nuove frontiere dell'ingegneria della corrosione

30 Novembre 2018

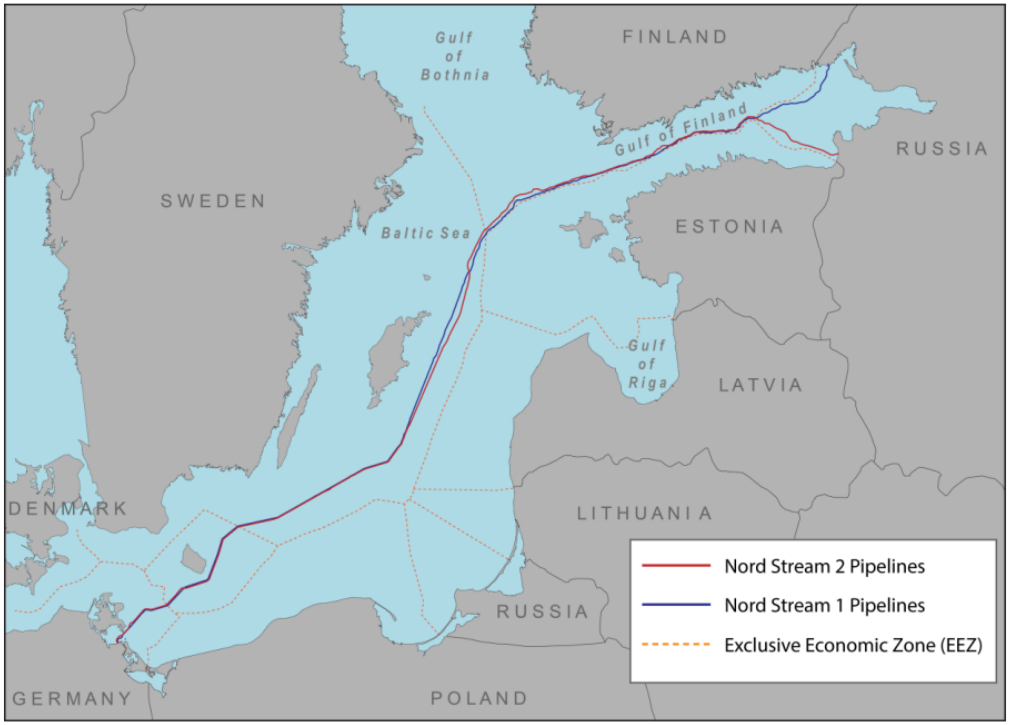
Protezione catodica e ingegneria della corrosione

Bruno Bazzoni – CESCOR Srl

cescor

Alcuni esempi di protezione catodica con anodi galvanici

Nord Stream 2. Si tratta di due condotte sottomarine da 48" pipeline che collegano la costa della Russia a sud del Golfo di Finlandia alla costa della Germania, attraverso il Mar Baltico. Le due condotte si estendono su una distanza di circa 1227 km (per ciascuna condotta).



Copyright CESCOR Srl 2018

Alcuni esempi di protezione catodica con anodi galvanici

La protezione catodica delle condotta Nord Stream 2 è realizzata con anodi galvanici – in lega di alluminio e in lega di zinco.

Numero di anodi	Massa totale anodi
≈ 5'000 Anodi Al-In-Zn	> 5'000 t
≈ 6'500 Anodi Zn	6'000 t

Copyright CESCOR Srl 2018

Alcuni esempi di protezione catodica con anodi galvanici

Il campo di Bouri si trova a circa 120 km di distanza dalle coste libiche, ad una profondità compresa tra i 143 e i 183 m. Il campo comprende le suguenti strutture, installate a partire dal 1987:

- Piattaforma principale di produzione DP4
- Piattaforma satellite DP3
- Single Point Mooring (SPM) e storage tanker ad esso permanentemente connesso
- Interconnecting subsea pipelines
- N. 7 Pozzi subacquei e relative flowlines

Piattaforma Bouri DP4

Copyright CESCOR Srl 2018

Alcuni esempi di protezione catodica con anodi galvanici

La protezione catodica dei jacket delle piattaforme DP4 e DP3 è stata realizzata con anodi galvanici in lega di alluminio.

Piattaforma	Numero anodi	Massa totale
DP3	1'561 anodi	1'075 t
DP4	2'344 anodi	1615 t

Copyright CESCOR Srl 2018

La progettazione della protezione catodica con anodi galvanici

DNVGL-RP-F103 Edition July 2016

Cathodic protection of submarine pipelines

Procedura di progettazione

- Calcolo della corrente di protezione, I_f [A]
- Calcolo della corrente erogata da un anodo, I_{af} [A]
- Calcolo del numero di anodi, N_a
- Verifica della massa anodica in base alla vita di progetto

Copyright CESCOR Srl 2018

Calcolo della corrente erogata da un anodo

DNVGL-RP-F103 Edition July 2016

Cathodic protection of submarine pipelines

$$I_{af} = \frac{\Delta E_A}{R_{af}} = \frac{(E_c^0 - E_a^0)}{R_{af}}$$

R_{af} [ohm]	*anode final resistance*
ΔE_A [V]	*electrolytic voltage drop*
I_{af} [A]	*final anode current output*
$E°_a$ [V]	*design closed circuit anode potential*
$E°_c$ [V]	*design protective potential*

$$R_{af} = \frac{0.315\rho}{\sqrt{\pi D_a L_a}}$$ Anodi a bracciale

$$R_{af} = \frac{2\pi\rho}{L_a} \cdot \left(ln \frac{8L_a}{D_a} - 1 \right)$$ Anodi cilindrici

Copyright CESCOR Srl 2018

Il potere penetrante

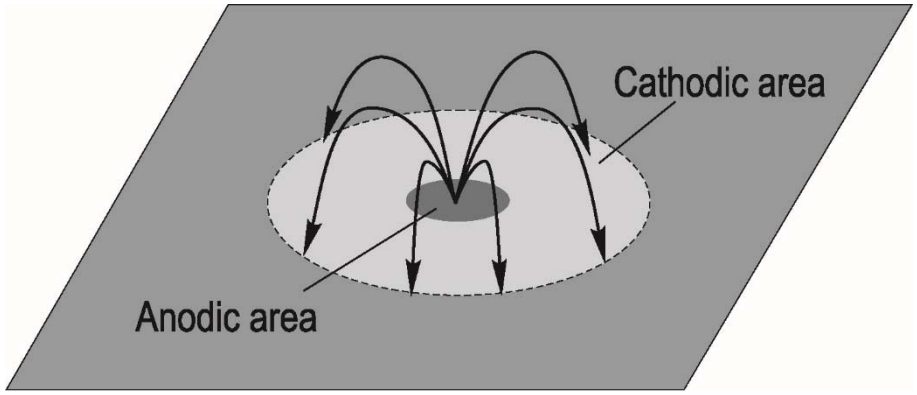
In un sistema di protezione catodica ad anodi galvanici, si definisce *potere penetrante* la massima distanza a cui si manifesta l'effetto di polarizzazione di un anodo.

Il potere penetrante esprime la capacità della corrente di raggiungere una certa distanza. Esso dipende da

- Geometria del Sistema
- Lavoro motore
- Resistività dell'ambiente
- Densità di corrente al catodo

Copyright CESCOR Srl 2018

Il potere penetrante



$$L_{max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta E}{(\rho + 0.8) \cdot (i + 10)}$$

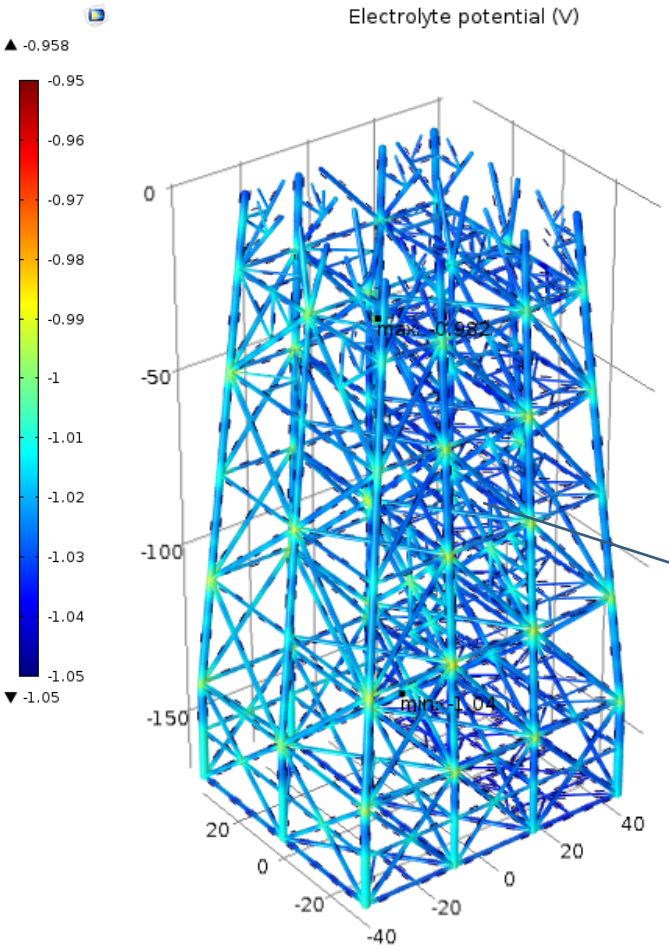
Elettrodi complanari

$$L_{max} \cong \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta E \cdot d}{(\rho + 0.8) \cdot (i + 10)}}$$

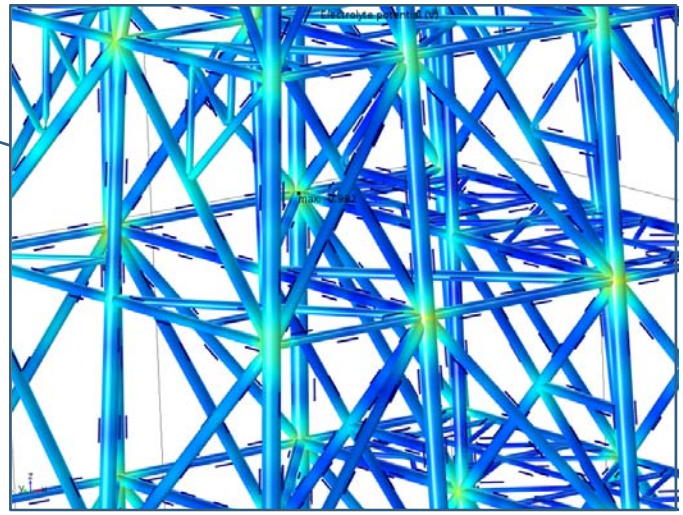
All'interno di un tubo di diametro *d*

Copyright CESCOR Srl 2018

Modellazione FEM: protezione catodica ad anodi galvanici jacket piattaforma

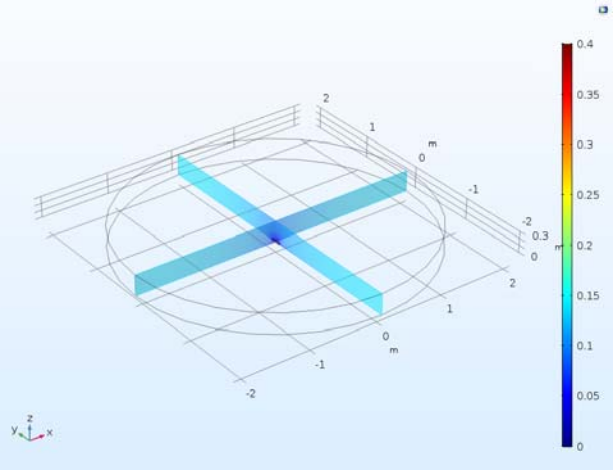


Il modello del jacket consente di ottimizzare la distribuzione degli anodi, assicurando condizioni di protezione anche nelle zone più difficili, come i nodi. In fase di esercizio, lo stesso modello viene utilizzato per interpretare i risultati delle ispezioni periodiche di dello stato di protezione.

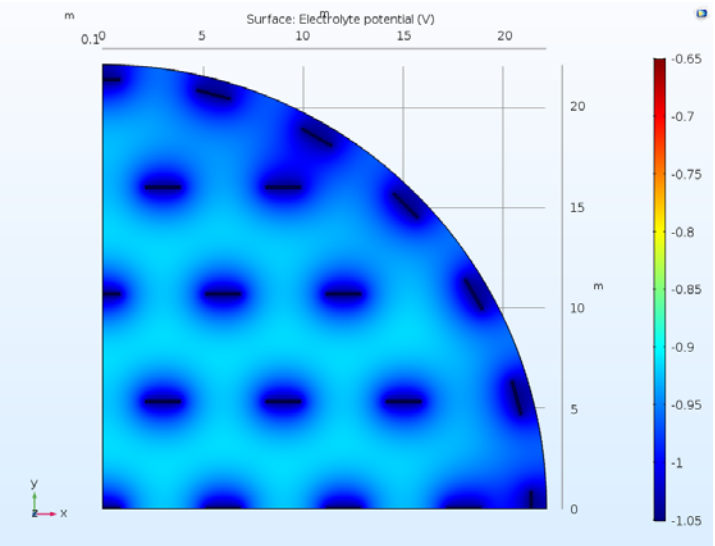


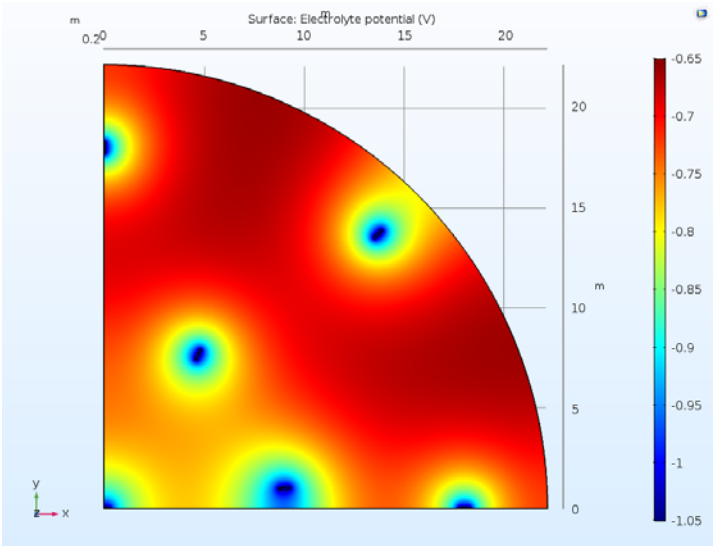
Copyright CESCOR Srl 2018

Modellazione FEM: protezione catodica fondo di serbatoi stoccaggio greggio



In presenza di un battente di acqua di altezza limitata, è necessario rispettare una distanza minima tra gli anodi al fine di evitare superfici non protette nelle zone intermedie tra gli anodi.

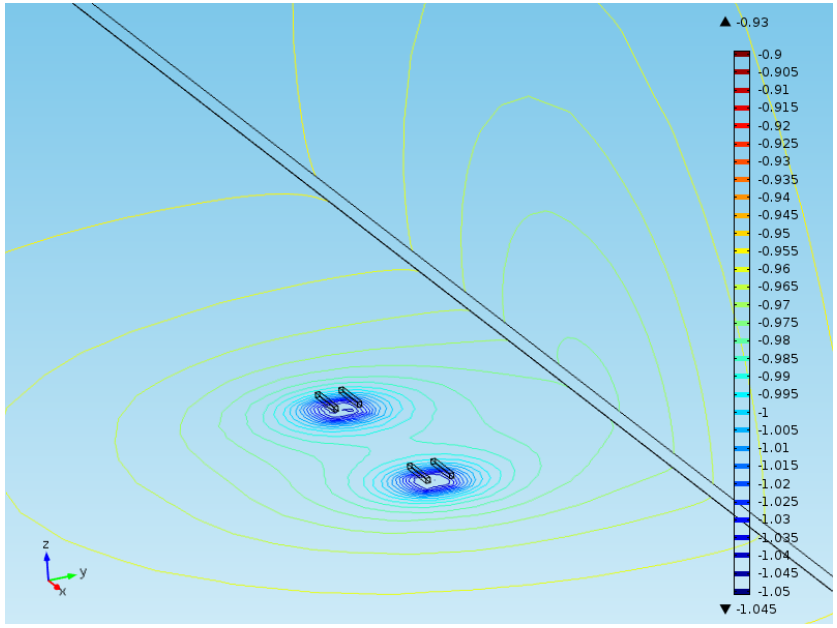


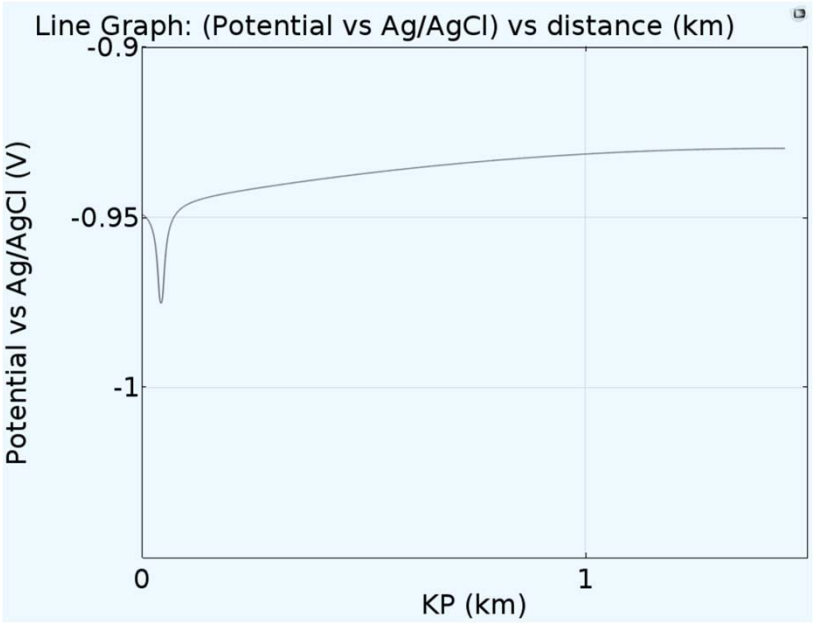


Copyright CESCOR Srl 2018

Modellazione FEM: retrofit protezione catodica di una condotta sottomarina

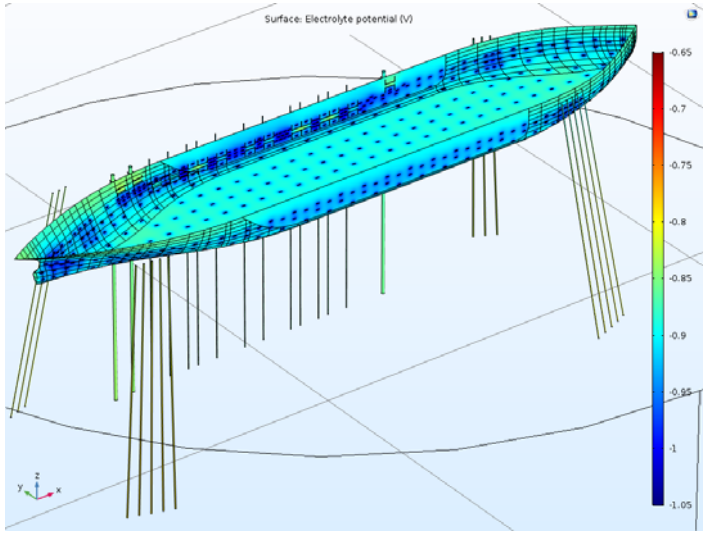
Il ripristino della protezione catodica di una condotta sottomarina è stato effettuato con anodi galvanici installati alle estremità della condotta. La modellazione FEM è stata utilizzata per verificare che le condizioni di protezione fossero assicurate sull'intera lunghezza della linea.



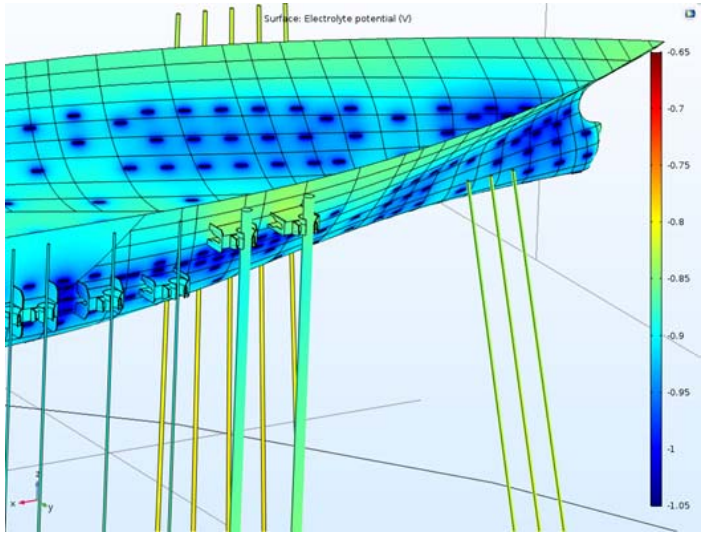


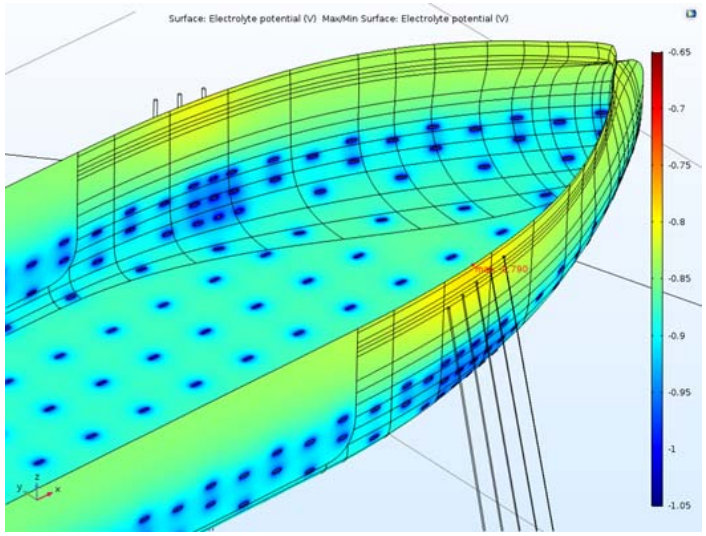
Copyright CESCOR Srl 2018

Modellazione FEM: scafo petroliera convertita a FPSO ancorata con catene in acciaio



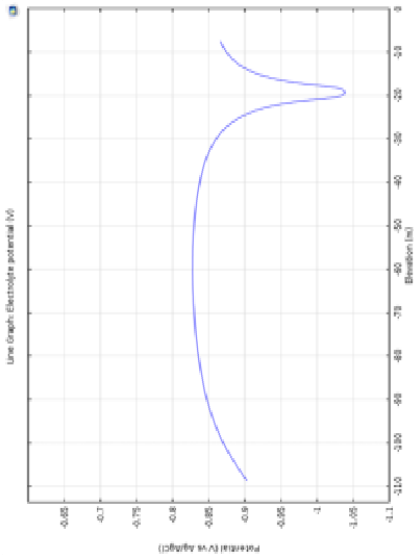
Modellazione FEM dello scafo di una petroliera riutilizzata come FPSO.
Lo scafo è elettricamente collegato ad una serie di catene di ormeggio, di acciaio non rivestito, e di riser. Il sistema di protezione con anodi galvanici viene dimensionato considerando la corrente drenata da tutte le strutture collegate.

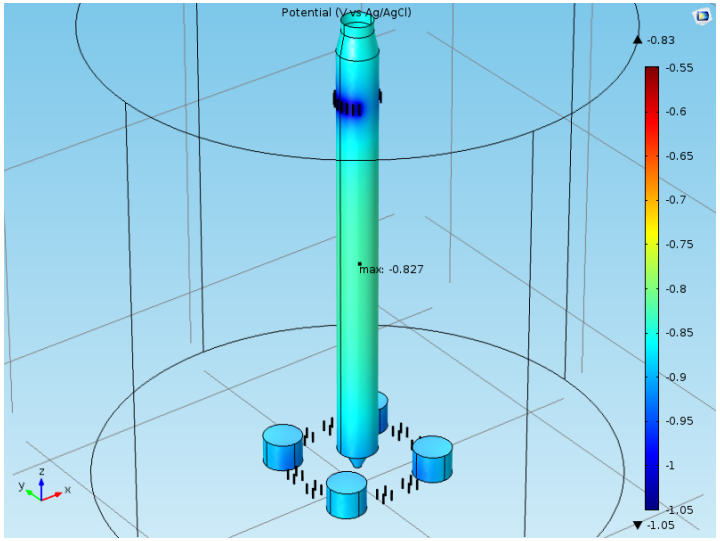


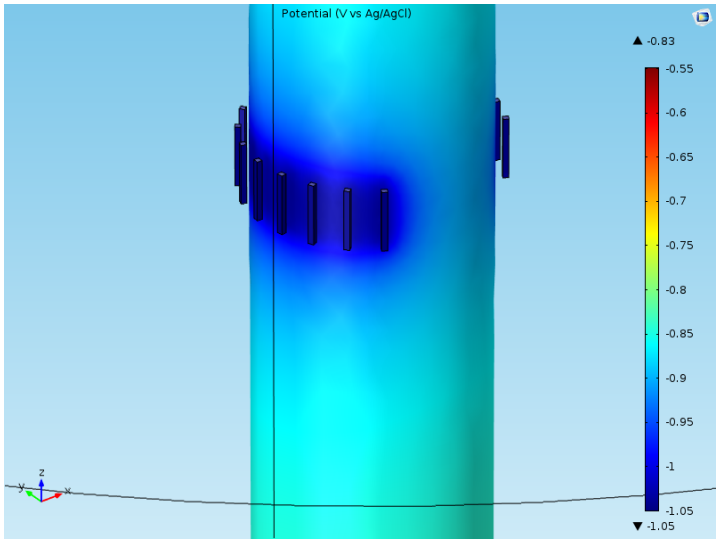


Copyright CESCOR Srl 2018

Modellazione FEM: SPM - Single Point Mooring per l’ormeggio di una struttura galleggiante



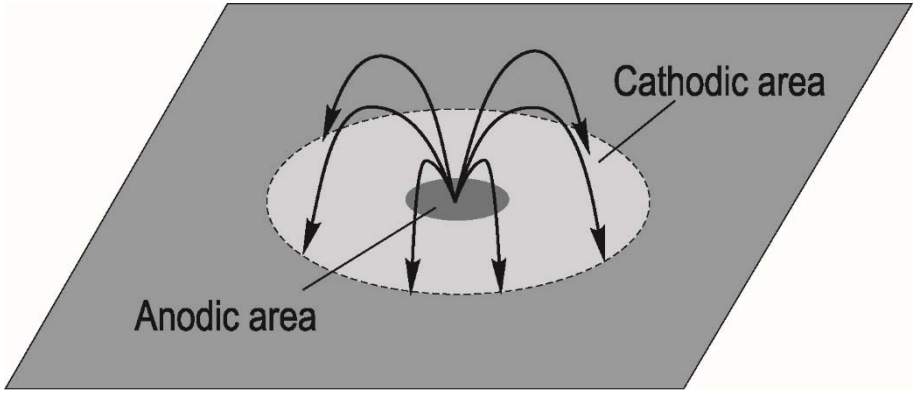




La modellazione FEM si è resa necessaria per verificare che una serie di slitte posizionate sul fondale, alla profondità di 120 m, fossero in grado di assicurare condizioni di protezione sull’intera altezza della colonna. Il modello ha confermato la necessità diinstallare altri anodi nella parte superiore della Colonna.

Copyright CESCOR Srl 2018

Il potere penetrante



$$\left(\frac{S_C}{S_A}\right)_{Max} \cong \left(1+\frac{S_C}{S_A}\right)_{Max} \cong k\sqrt{\frac{\Delta V}{i_C \cdot (\rho + 0{,}8)}}$$

$$C_{rate,DA} \cong 20\sqrt{\frac{i_L \cdot \Delta V}{(\rho + 0{,}8)}} \cong \sqrt{\frac{[O_2]}{(\rho + 0{,}8)}}$$

Copyright CESCOR Srl 2018

Alcune considerazioni conclusive

- Tra le diverse competenze di corrosione, la protezione catodica è quella che più di altre ha sviluppato procedure di calcolo per l'ingegneria, solidamente fondate sui principi elettrochimici dei fenomeni di corrosione
- Proprio gli obiettivi di dimensionamento dei sistemi reali di protezione catodica ha fatto sì che si sviluppassero algoritmi e procedure adeguati a dare risposte progettuali nelle diverse aree di applicazione
- Oggi, la progettazione di sistemi di protezione catodica, ad anodi galvanici come a corrente impressa, è oggetto di numerose norme internazionali molto usate nell'industria.
- L'ingegneria della protezione catodica rappresenta un modello da estendere all'ingegneria della corrosione in genere. Il concetto di *potere penetrante*, ad esempio, sviluppato per prevedere il raggio di azione di anodi galvanici, può essere proficuamente impiegato per trattare vari casi di macrocoppia e per il calcolo della relativa velocità di corrosione.
- La modellazione FEM o BEM è lo strumento progettuale più idoneo per risolvere casi complessi dal punto di vista della geometria e delle condizioni al contorno
- La trattazione ingegneristica dei fenomeni di corrosione, così come della protezione catodica, non ignora la complessità dei fenomeni e la *corrosion science* come conoscenza di riferimento imprescindibile. In questo senso ci sembra che il titolo del nuovo libro di Pedeferri a cura di Luciano e Mariapia, *Corrosion Science and Engineering*, interpreti bene i termini della questione.

Copyright CESCOR Srl 2018