

Ispezioni di protezione catodica di tubazioni e altre strutture sottomarine

P. Marcassoli

Seminario APCE Protezione Catodica in acqua di mare
Porto Venere, La Spezia, 29 Ottobre 2019



Ispezioni di protezione catodica in mare

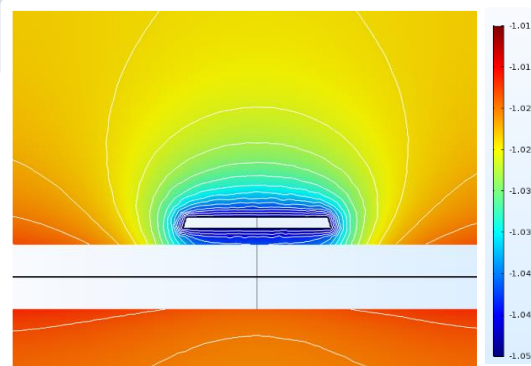
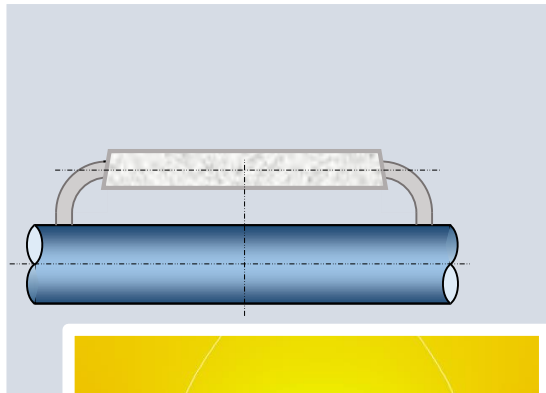
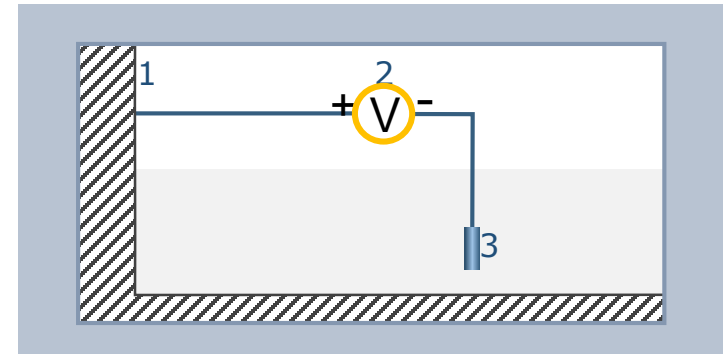
- Tubazioni sottomarine e altre strutture offshore sono **ispezionate periodicamente** lungo la loro vita di progetto al fine di assicurarne l'**integrità** e il rispetto di requisiti **ambientali e di sicurezza**.
- Inoltre, le ispezioni sono spesso parte di un processo di **riqualifica** orientate ad estendere la vita operativa oltre la vita di progetto iniziale.
- Le ispezioni di PC includono **misure di potenziale** – a contatto o gradienti- e la valutazione del **consumo** degli anodi galvanici (a bracciale nel caso delle tubazioni)
- Misure analoghe sono eseguite su altre strutture offshore e marine, come piattaforme petrolifere, FPSO, parchi eolici marini, strutture portuali e costiere.



Principi base delle misure in acqua di mare

Misura di **potenziale** di una struttura immersa

1. Struttura da ispezionare
2. Voltmetro
3. Elettrodo di riferimento



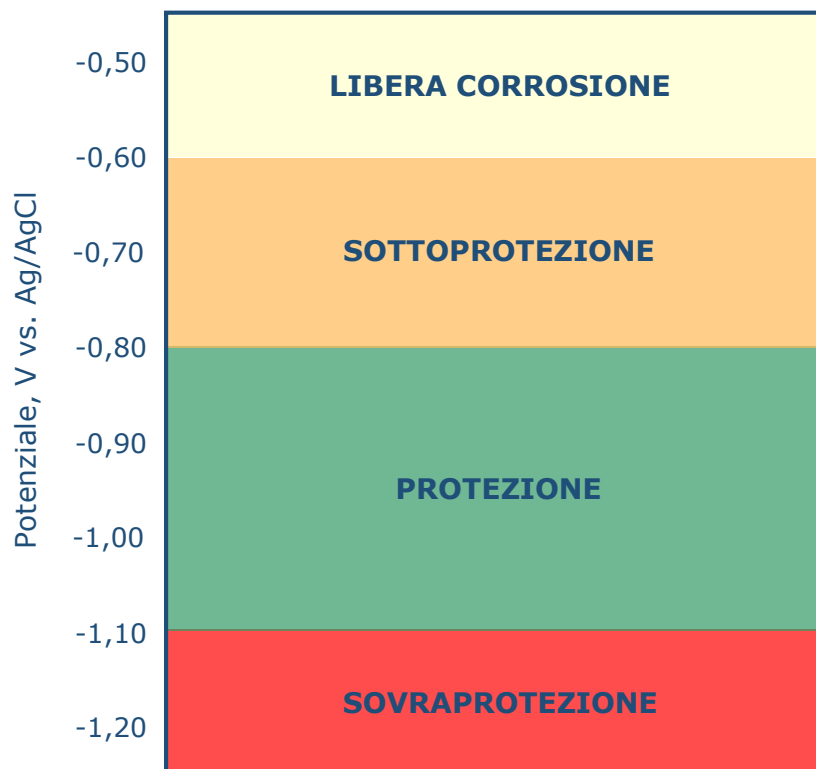
Gradiente di potenziale di una struttura immersa

Dal gradiente è possibile derivare la **densità di corrente**, poiché la caduta ohmica nell'elettrolita è proporzionale alla **resistività** dell'acqua di mare

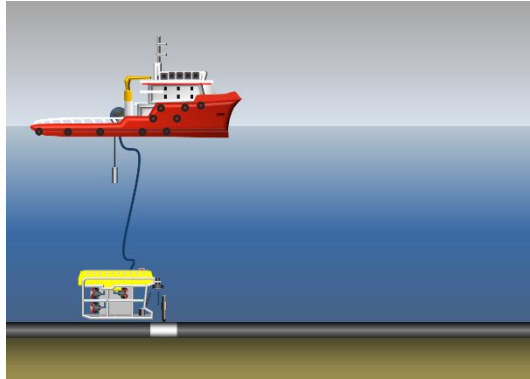
Nota la corrente erogata, si può stimare la **vita residua** sulla base della massa residua

Criteria di valutazione dei risultati

Potenziale e condizioni di protezione per l'acciaio in acqua di mare.
Norma: EN 12473



Scelta dei metodi ispettivi



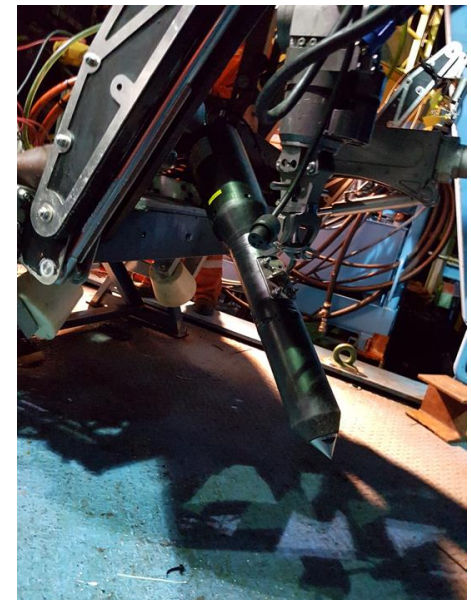
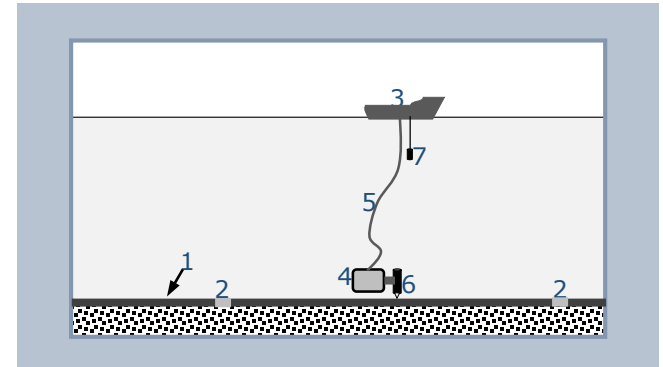
- La variabilità di casi e condizioni è molto ampia e richiede spesso di **combinare approcci e tecniche** differenti
- In **mare aperto**, è applicabile a tecnica nota come ***close to remote*** o *proximity*. Essa si basa sull'esecuzione di misure a contatto sugli anodi, su flange o altre superfici nude del catodo, e sull'uso di un **elettrodo remoto**.
- In caso di completo **interramento**, ed in particolare in corrispondenza degli approdi a terra delle linee o di piattaforme, la tecnica più adeguata è il cosiddetto ***trailing wire***.
- Nella zona detta ***nearshore***, dove le comuni imbarcazioni ispettive e i ROV non possono operare, è necessario adottare approcci alternativi.
- Metodi come CIPS, DCVG o TGM possono invece essere utilizzati per le **sezioni a terra** delle tubazioni.

Le tecniche prima citate saranno meglio illustrate attraverso una serie di casi esemplificativi affrontati da Cescor negli scorsi anni:

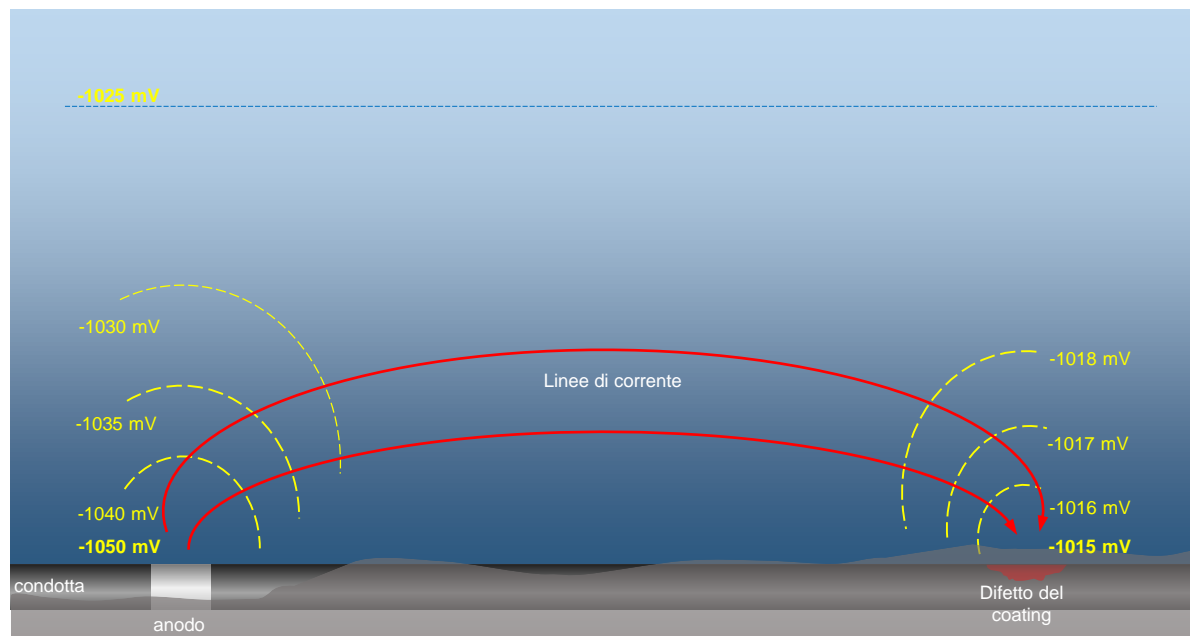
- Caso 1: tubazione ispezionata con metodo *close to remote*
- Caso 2: tubazioni ispezionate con metodo *trailing wire*
- Caso 3: approdi ispezionati con tecniche CIPS, DCVG, TGM
- Caso 4: ispezione di piattaforma petrolifera
- Altre principali tecniche di misura su strutture marine

Caso 1: Tubazione ispezionata con metodo *close to remote*

- La sezione offshore di un gasdotto, lunga 15 km, è stata ispezionata in **acque profonde** del Mar Rosso (850 m).
- Questa tubazione è protetta da anodi galvanici a bracciale e da rivestimento in PE a 3 strati (3LPE).
- A causa della lunghezza e della profondità della condotta e della zona **affollata per la navigazione**, il metodo TW è stato ritenuto non applicabile.
- La condotta è **posata sul fondo** del mare e completamente visibile e, in tali condizioni, il metodo **Close-to-Remote** (noto anche come *proximity*) consente di eseguire efficacemente l'ispezione.
- Una sonda a **due elettrodi** con punta in metallo (installata sul manipolatore di un ROV work class) è stata utilizzata in combinazione con un **elettrodo remoto** posto a 10 m sotto l'acqua di mare a bordo della nave.

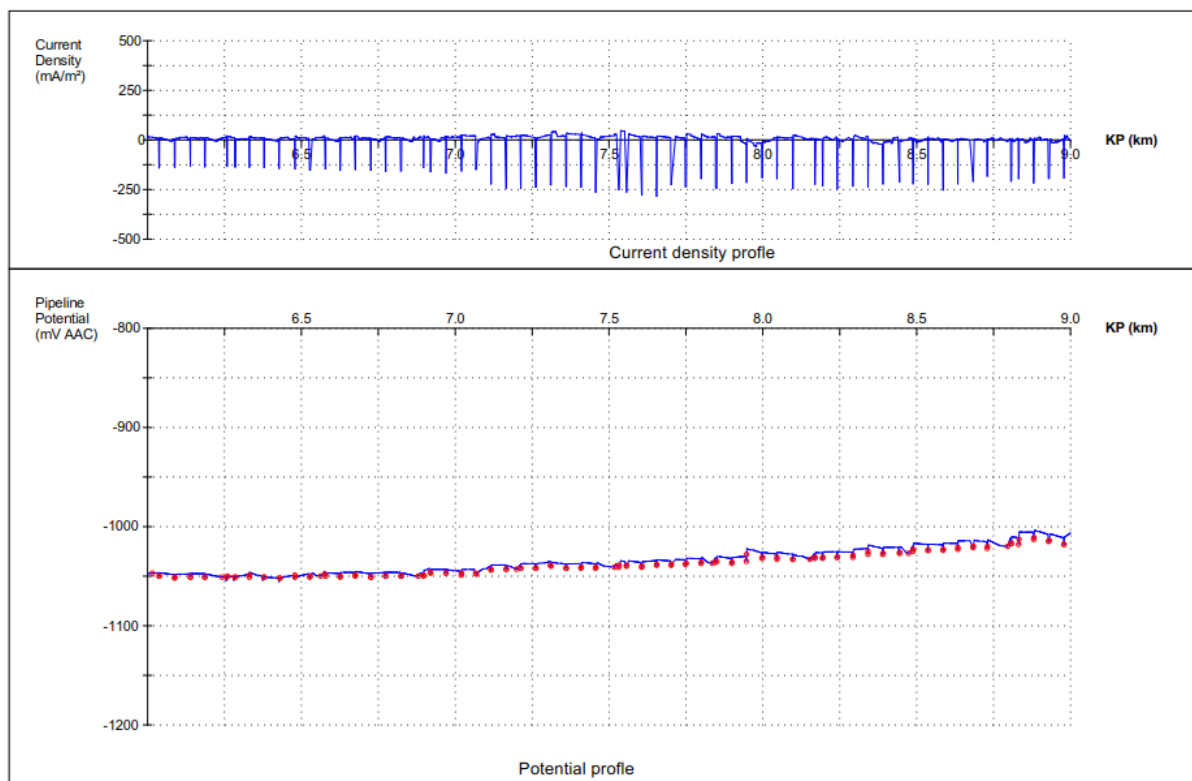


Caso 1: Tubazione ispezionata con metodo *close to remote*



- Questa configurazione ha permesso di misurare contemporaneamente due diverse cadute ohmiche: la caduta ohmica **locale** e la caduta ohmica **remota**. La prima viene utilizzata per misurare il **gradiente di potenziale** e derivare il profilo di densità corrente, mentre la seconda viene utilizzata per ricostruire, combinata con la misura del contatto diretto sugli anodi della pipeline, il **potenziale** della pipeline in ogni punto della sua lunghezza.

Caso 1: Tubazione ispezionata con metodo *close to remote*



Profili di densità di corrente e potenziale: i punti rossi sono misure di contatto sugli anodi a bracciale: il profilo potenziale tra due anodi adiacenti viene ricostruito attraverso la caduta ohmica remota.

Caso 2: Tubazioni ispezionate con metodo *trailing wire*

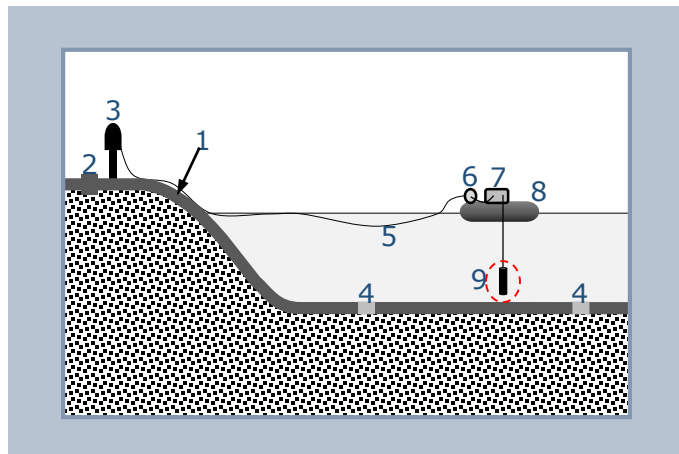
- Sono state ispezionate 12 condotte nel Mar Caspio.
- La maggior parte di queste condotte sono **lunghe meno di 5-6 km e completamente interrata** lungo il loro percorso a circa 2 metri di profondità.
- Sono protette con una combinazione di anodi galvanici a bracciale e rivestimento in PE a 3 strati (3LPE).
- A causa delle condizioni di interramento, gli anodi non sono accessibili per ispezioni visive o misure a contatto diretto e eventuali difetti del rivestimento non sono rilevabili immediatamente.



- In questo scenario, il metodo *Close-to-Remote* (o *Proximity*) non è applicabile, per l'**impossibilità di eseguire misure a contatto** sugli anodi
- comunque, grazie alla possibilità di ottenere un contatto elettrico diretto ad una o entrambe le estremità delle condotte, è possibile l'applicazione del metodo chiamato **Trailing Wire (TW)**

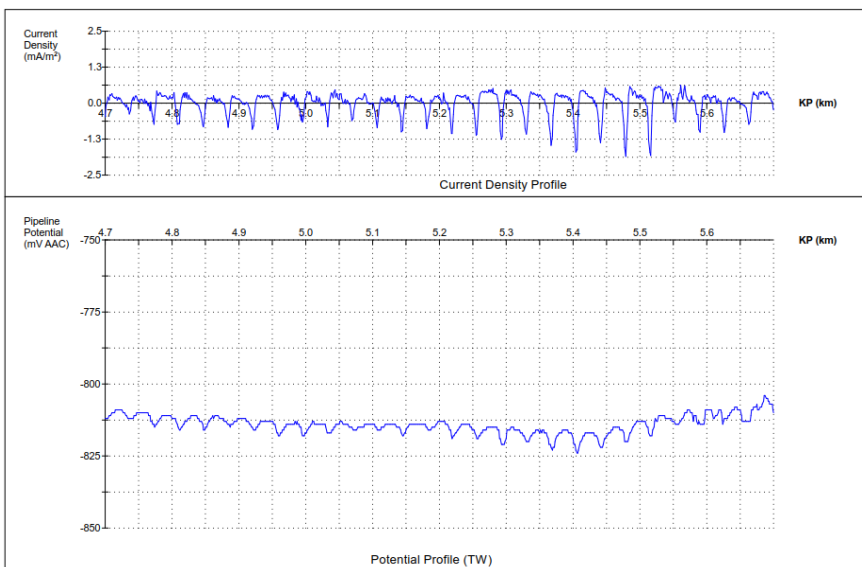
Caso 2: Tubazioni ispezionate con metodo *trailing wire*

- Il TW consiste nel realizzare una **connessione elettrica diretta** a un golfare, o un posto di misura, in generale, una parte accessibile della tubazione mediante un cavo, che viene poi progressivamente posato lungo il percorso della pipeline. Contemporaneamente il potenziale viene misurato per mezzo di un elettrodo di riferimento portatile.
- Si è utilizzata una sonda a due elettrodi per misurare al contempo il **potenziale** della tubazione e il **gradiente** (da cui deriva la densità di corrente attraverso la resistività)
- Un telaio è stato regolato per ottenere una **distanza costante** tra la sonda e il fondale durante l'acquisizione.



Caso 2: Tubazioni ispezionate con metodo *trailing wire*

- In alcuni casi, quando la lunghezza della condotta era tale da introdurre un significativo rischio di rottura del cavo per passaggio di imbarcazioni, il TW è stato **combinato con il metodo Close-to-Remote**.
- Per un breve tratto a cavallo tra le due sezioni acquisite con metodi diversi si è scelto di applicare entrambi, prima l'uno e poi l'altro
- I dati acquisiti in questo tratto di sovrapposizione sono pressoché coincidenti, confermando l'**equivalenza dei due metodi**.
- Nonostante l'interramento, strumentazione e metodo sono stati efficaci nel **rilevare le posizioni degli anodi**, identificando i picchi nel profilo di gradiente
- **Nessuna falla significativa nel rivestimento**, identificabile con picchi di segno opposto, è stata rilevata

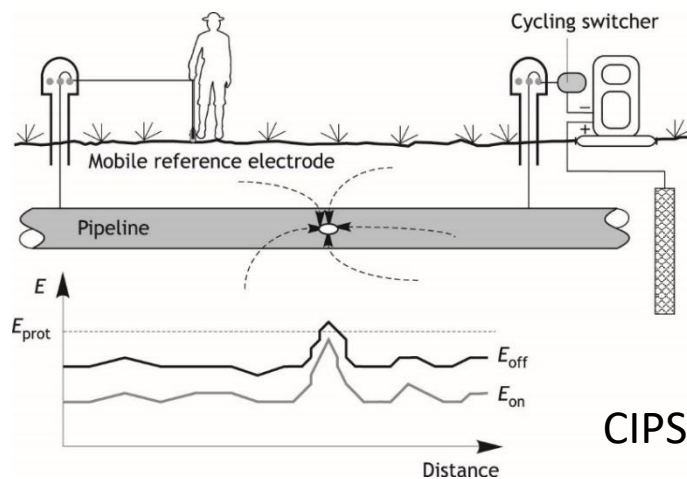


Caso 3: Approdi ispezionati con tecniche CIPS, DCVG, TGM

- Nell'area del Mar Caspio, a causa delle variazioni del livello del mare, parte delle condutture interrate nell'area costiera non sono accessibili da barche o gommoni. Ogni volta che queste sezioni di approdo a terra sono **percorribili a piedi**, è stato utilizzato un approccio diverso.
- A valle rispetto al giunto isolante (IJ), le tubazioni sono spesso protette da sistemi a corrente impressa in cui è possibile utilizzare le tecniche **CIPS** (Close Interval Potential Survey) per valutare il livello di protezione della tubazione e **DCVG** (Direct Current Voltage Gradient) per localizzare i difetti di rivestimento.



DCVG



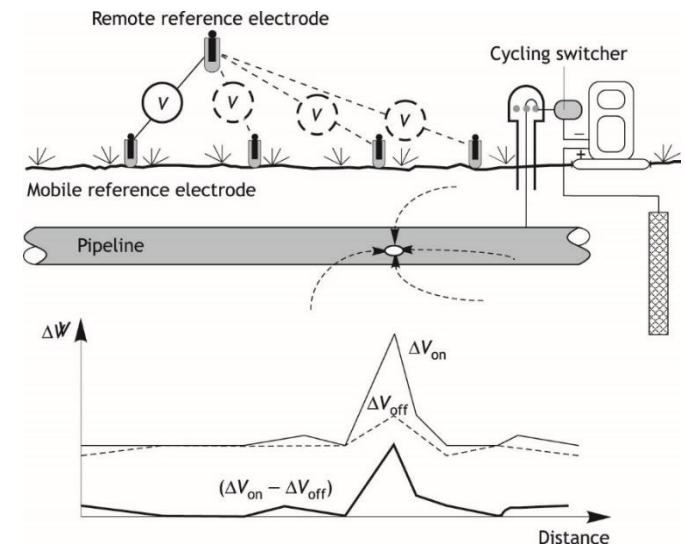
CIPS

NB: nel terreno, a differenza dell'acqua di mare, le cadute ohmiche non sono trascurabili!

Tecniche di misura e dispositivi di monitoraggio devono essere in grado di eliminare o ridurre le cadute ohmiche, specie in presenza di interferenze

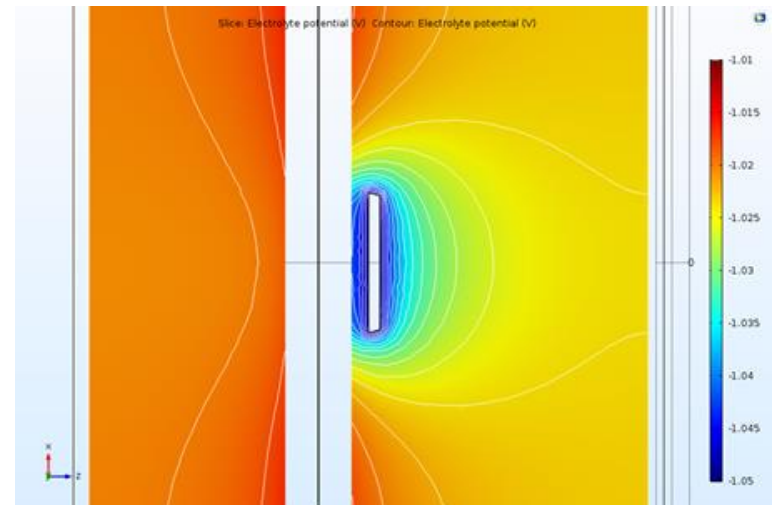
Caso 3: Approdi ispezionati con tecniche CIPS, DCVG, TGM

- Al contrario, la sezione a monte rispetto a IJ è protetta da **anodi galvanici** a bracciale, applicati nelle sezioni offshore, e i metodi precedenti non sono effettivamente applicabili. Il DCVG richiede una corrente pulsata al fine di enfatizzare la presenza di eventuali difetti del rivestimento e **non è efficace** in questa sezione protetta da anodi galvanici.
- Per superare questi limiti, è stata prevista una combinazione del potenziale della pipeline e una misurazione del gradiente trasversale, eseguendo un rilievo CIPS simultaneamente con il **metodo del gradiente trasversale (TGM)**.



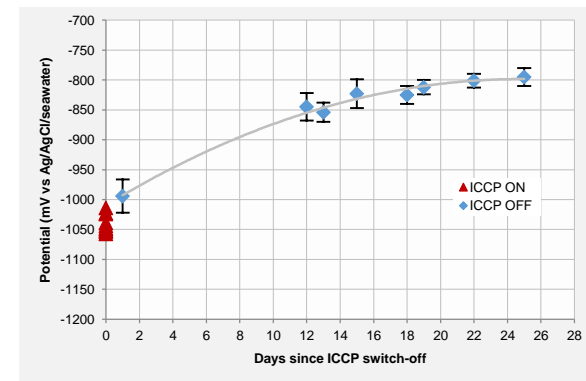
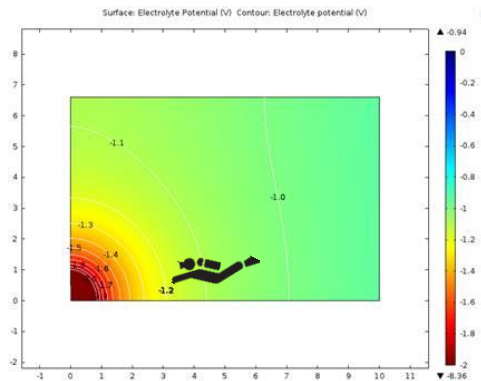
Caso 4: Ispezione di piattaforme petrolifere offshore

- Campagna di misura su numerose **piattaforme offshore** nell'Africa occidentale.
- Le misure di PC, ad esclusione dei nodi, sono state acquisite con una **sonda a due elettrodi** con punta metallica installata su un **ROV**
- La sonda a due elettrodi ha permesso di misurare il gradiente sugli anodi della piattaforma. Il gradiente del campo elettrico, combinato con le dimensioni effettive dell'anodo, misurato dai sommozzatori, ha permesso di stimare la **vita residua dell'anodo**
- è stata eseguita una modellazione con **metodo degli elementi finiti (FEM)** utilizzando i valori reali registrati dei potenziali e conducibilità dell'acqua di mare, al fine di ottenere una stima più accurata della corrente erogata dall'anodo, da cui viene calcolata la vita residua, sulla base dei gradienti del campo elettrico.



Caso 4: Ispezione di piattaforme petrolifere offshore

- È stato inoltre utilizzato anche un **elettrodo di riferimento remoto**. In caso di **accrescimento marino di durezza elevata**, che rende difficile le misure a contatto, il potenziale può essere stimato combinando due cadute ohmiche remote tra due diversi punti.
- Per alcune piattaforme **protette a corrente impressa** (retrofit del sistema originario), l'approccio è stato differente. Misure a contatto con ROV sono state ottenute sul catodo con i sistemi accesi.



- Durante le operazioni con sommozzatori, per ragioni di sicurezza, il sistema di PC è stato spento, e quindi le misure sono state acquisite tenendo conto della **depolarizzazione** della struttura in corso.
- Le ispezioni subacquee sono state integrate da **esame visivo e misure fuori acqua** sugli alimentatori e i sistemi di distribuzione (cavi e cassette di derivazione)

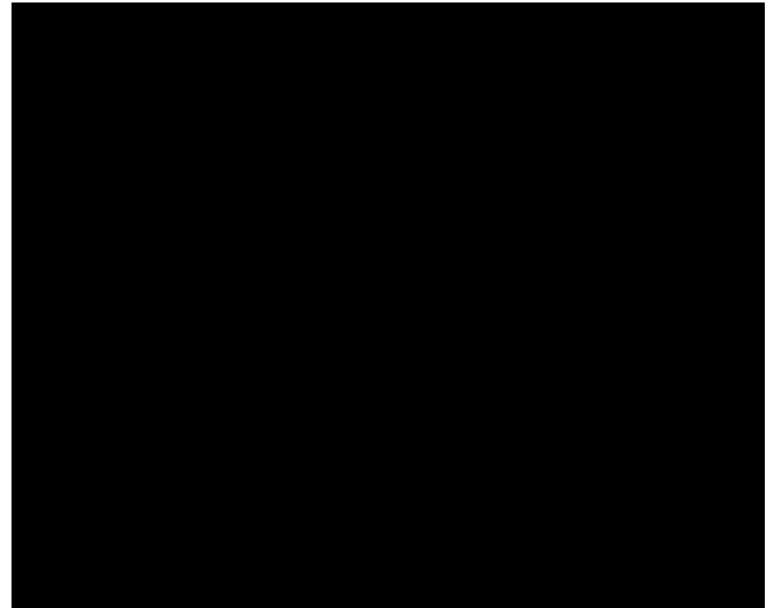
Altre principali tecniche ispettive di PC in mare

- La tecnica detta **drop cell** è una delle più semplici ed utilizzate. Consiste nel calare da fuori acqua un elettrodo di riferimento portatile lungo la struttura da ispezionare, registrando il valore di potenziale con voltmetro/datalogger a diverse profondità
- È tipicamente usata per
 - Piattaforme (come misura base per ispezioni periodiche non approfondite)
 - Monopalo e jacket di impianti eolici offshore
 - Pali di pontili
 - Palancolati
 - altro



Altre principali tecniche ispettive di PC in mare

- Le cosiddette **gun probe** incorporano un elettrodo di riferimento, generalmente Ag/AgCl, e una punta metallica in inox per ottenere contatto sul catodo (struttura) o sugli anodi
- Il sommozzatore rileva a display il valore di potenziale, comunicandolo ai colleghi fuori acqua



Considerazioni finali

- Ogni progetto e sito presenta **difficoltà e condizioni specifiche** da affrontare: stato di interrimento, accessibilità attraverso le navi, profondità dell'acqua, strati consistenti di accrescimento marino, requisiti di salute e sicurezza per i sistemi a corrente impressa.
- La corretta **selezione di metodi** e strumenti da applicare determina il successo e l'efficacia dell'ispezione.
- Quando possibile, il **trailing wire** è l'opzione preferibile per le ispezioni offshore e nearshore, tuttavia anche il metodo **close to remote (proximity)** è confermato essere pienamente equivalente e valido
- A terra, in base al tipo di sistema CP, ovvero corrente impressa o anodi galvanici, il **CIPS** deve essere combinato rispettivamente con **DCVG o TGM** per localizzare i guasti del rivestimento.
- I dati di ispezione devono essere integrati da un'interpretazione esperta e supportata da strumenti avanzati, che includono la **modellazione** agli elementi finiti.

Grazie per l'attenzione!