Protezione Catodica: teoria elettrochimica ed attuazione sulle infrastrutture

APCE

APCE - Associazione per la Protezione dalle Corrosioni Elettrolitiche - è un'Associazione a carattere culturale - scientifico, senza finalità di lucro, fondata nel 1981 per coordinare tutte le azioni necessarie a proteggere le infrastrutture soggette a corrosione.

APCE è stata riconosciuta da ARERA - Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, come organismo tecnico competente per la definizione delle linee guida nel campo della protezione catodica di condotte metalliche adibite alla distribuzione (Deliberazione 574/2013/R/gas), al trasporto del gas naturale (Deliberazione 602/2013/R/gas), e alle flow line di collegamento degli impianti di stoccaggio del gas naturale (Deliberazione 596/2014/R/gas).

Tutte le immagini e le fotografie presenti in questo Focus sono state regolarmente acquistate su banche dati. Nel caso in cui l'autore ritenga che siano state violate le regole di copyright, è pregato di segnalarlo al seguente indirizzo: comunicazione@energiamedia.it

Progetto editoriale: Energia Media srl - Milano
www.energiamedia.it
Coordinamento editoriale: Emanuele Martinelli
Redazione: Martina Ginasi
Realizzazione grafica: Alice Ceccherini

©APCE - gennaio 2026
©Energia Media Editore - gennaio 2026

INDICE

NOTA INTRODUTTIVA 3

LA PROTEZIONE CATODICA APPLICATA AL MONDO ACQUEDOTTI: SFIDE, OPPORTUNITÀ E DEFINIZIONE DI UN PERCORSO TECNICO SOSTENIBILE 4
Fabio Brugnetti e Roberto Ballerini – *Apce*

PROTEZIONE CATODICA E IMPIANTI ELETTRICI... UN CONNUBIO NECESSARIO 24
Claudio Salmaso – *AP Reti Gas gruppo Ascopiave*

INSTALLAZIONE COUPON: DALLE NORME ALL'ESPERIENZA DI CAMPO. UNA PROCEDURA VERIFICATA PER INSTALLAZIONI DI SUCCESSO 66
Ing. Ivano Magnifico – *Automa srl*

CARICA ELETTROCHIMICA ED INFRAGILIMENTO DA IDROGENO DI ACCIAI AL CARBONIO E BASSO LEGATI PER APPLICAZIONI OIL & GAS 102
Ing. Luca Paterlini, Fabio Maria Bolzoni, Marco Ormellese e Giorgio Re
Dipartimento di Chimica Materiali ed Ingegneria Chimica "Giulio Natta" Politecnico di Milano

PROTEZIONE CATODICA GASDOTTI: NORME UNI DI RIFERIMENTO E LORO ATTUAZIONE 118
Fabio Brugnetti – *Referente Tecnico Apce*

NOTA INTRODUTTIVA

Anche quest'anno APCE – l'Associazione per la Prevenzione dalle Corrosioni Elettrolitiche, raccoglie in un'unica pubblicazione i focus tecnici prodotti nell'anno 2025.

Quest'anno confermiamo l'impegno preso lo scorso anno, raccogliendo approfondimenti e studi sia sul mondo a noi più conosciuto ed affine – il trasporto e la distribuzione di Gas naturale, sia sugli asset deputati alla gestione delle acque.

Crediamo, con questi contenuti, di confermare la nostra mission, in coerenza con i valori di base della nostra Associazione: divulgazione, formazione, impegno nel migliorare il contenuto tecnologico del nostro Paese con grande competenza e passione.

In questa pubblicazione troverete tutte le tematiche a noi care: innovazione tecnologica, interesse e valore comune del business ma soprattutto le fondamenta di sostenibilità ed etica sociale ed ambientale che fanno, della protezione e prevenzione dalle corrosioni, un ambito estremamente importante nel guidare le aziende e i professionisti del settore verso una direzione comune: la salvaguardia dell'ambiente e delle nostre comunità.

Buona lettura a tutti.

Ing. Antonio Gravina
Presidente Apce

LA PROTEZIONE CATODICA APPLICATA AL MONDO ACQUEDOTTI: SFIDE, OPPORTUNITÀ E DEFINIZIONE DI UN PERCORSO TECNICO SOSTENIBILE

Fabio Brugnetti e Roberto Ballerini - *Apce*

La protezione catodica è una tecnica essenziale per la prevenzione della corrosione nelle infrastrutture metalliche interrate o immerse, come parte delle condotte degli acquedotti. Questa tecnologia potrebbe svolgere un ruolo cruciale nella salvaguardia delle reti idriche, migliorando l'affidabilità, la sicurezza e la durata delle tubazioni, riducendo i costi di manutenzione e prevenendo guasti che tipicamente tendono a compromettere la continuità del servizio (perdite d'acqua, infiltrazioni e contaminazioni), oltre a impattare negativamente sulla sostenibilità economica e ambientale della gestione degli acquedotti.

In questo approfondimento verranno illustrati i principi della protezione catodica, le diverse tecniche applicabili agli acquedotti, la normativa di riferimento e i vantaggi che questa tecnologia potrebbe offrire nella gestione delle reti idriche.

La protezione catodica è un metodo di prevenzione della corrosione basato sulla modifica del potenziale elettrochimico del metallo da proteggere. La corrosione si verifica quando un metallo, immerso in un elettrolita (come il terreno o l'acqua), subisce

una reazione di ossidazione che lo porta a degradarsi nel tempo.

Questa tecnica si basa sul principio di trasformare il metallo della tubazione in un catodo, impedendone l'ossidazione in sostanza rallentando il fenomeno corrosivo fino a renderlo dal punto di vista ingegneristico trascurabile nel corso della vita utile della struttura.

Esistono due metodi principali per realizzare la protezione catodica: Protezione Catodica a Corrente Impressa *(ICCP - Impressed Current Cathodic Protection)*, che consiste nell'applicazione di una corrente elettrica continua alle tubazioni mediante un sistema di dispersori collegati a un alimentatore, metodo particolarmente efficace per lunghe condotte e in ambienti con elevata resistenza elettrica del suolo; Protezione Catodica a Protezione Galvanica (o Sacrificale), che si basa sull'utilizzo di anodi sacrificali, generalmente in zinco, magnesio o alluminio, che si corrodono al posto del metallo della tubazione; non richiede una fonte esterna di energia, rendendola più semplice e affidabile in alcune applicazioni, quindi indicata per reti di distribuzione più piccole e per ambienti con caratteristiche chimico-fisiche specifiche.

In questa giornata di studio Apce si è posta i seguenti obiettivi:

- comprendere i principi fondamentali della corrosione nei sistemi idraulici,
- esplorare le tecnologie di protezione attiva e passiva,
- analizzare casi studio e migliori pratiche nella protezione degli acquedotti,
- stimolare la discussione tra professionisti del settore riguardo le sfide e le opportunità legate alla protezione catodica.

Vediamo com'è andata:

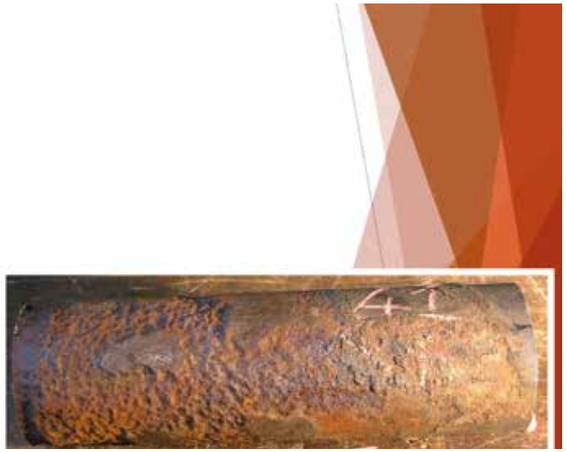
L'apertura dei lavori con la tematica "Corrosione delle tubazioni di acciaio interrate *(PoliMI)*" ha posto l'attenzione sugli aspetti tecnici legati ai fenomeni di corrosione che possono accadere sulle reti idriche metalliche.

È stato illustrato il fenomeno della corrosione elettrochimica dei metalli a contatto con il terreno, che comprende, corrosione generalizzata, corrosione batterica, corrosione per aerazione differenziale e contatti galvanici.

La relazione tra il singolo fenomeno elettrochimico e la tipologia / morfologia di corrosione riscontrabile sui metalli ha suscitato molto interesse nei partecipanti.

CORROSIONE GENERALIZZATA

- Terreni aerati con pH > 5
- Regolata dall'**apporto di ossigeno**
- **Condotta nuova**
  - velocità di corrosione 10-30 µm/anno
- **Condotta vecchia (10 anni)**
  - Formazione di una crosta di ruggine
  - Minor ossigeno alla superficie
  - Velocità di corrosione 1-3 µm/anno



Dall'aspetto squisitamente tecnico si è passati alla "Panoramica normativa applicabile all'idrico – Apce nell'industria gas cosa può offrire (Ballerini Roberto)", aspetto di fondamentale importanza per comprendere che Apce si propone con un impegno sempre crescente nell'assicurare la divulgazione dell'informazione tecnica sulla la protezione catodica attraverso giornate studio e convegni e l'impegno nella formazione propedeutica alla certificazione del personale addetto alla protezione catodica secondo UNI EN 15257.

Il Know-how acquisito in oltre 40 anni di attività per modellare l'attuazione della protezione catodica a servizio delle infrastrutture gas può essere messo a fattore comune anche per le infrastrutture del sistema idrico; l'approccio di Apce non è quello di imporre Linee Guida nel settore, ma è quello di proporre un percorso tecnico condiviso tra Utility, in primis, e società di servizio ad esse correlate per agire in uno scenario condiviso con l'industria.

Apce nel corso del tempo ha investito molte energie nel presidiare i tavoli normativi nazionali e internazionali e nel mantenere un contatto continuo con l'Autorità per l'Energia (oggi *ARERA*).

Non esiste una sostanziale differenza nelle problematiche di corrosione in funzione del fluido trasportato, se non per il fatto che fluidi conduttivi possono introdurre problematiche di corrosione interna (e talvolta di erosione).

Per questo motivo le normative utilizzate nel mondo del gas rappresentano lo stato dell'arte anche per il mondo acquedottistico, al quale possono essere applicate an-

che norme sviluppate per la corrosione interna e per il trasporto di acque salmastre.

Ad oggi la differenziazione è principalmente dal punto di vista legale, perché il legislatore ha ritenuto finora che gli aspetti di sicurezza legati alle perdite di gas necessitino di maggiori obblighi operativi.

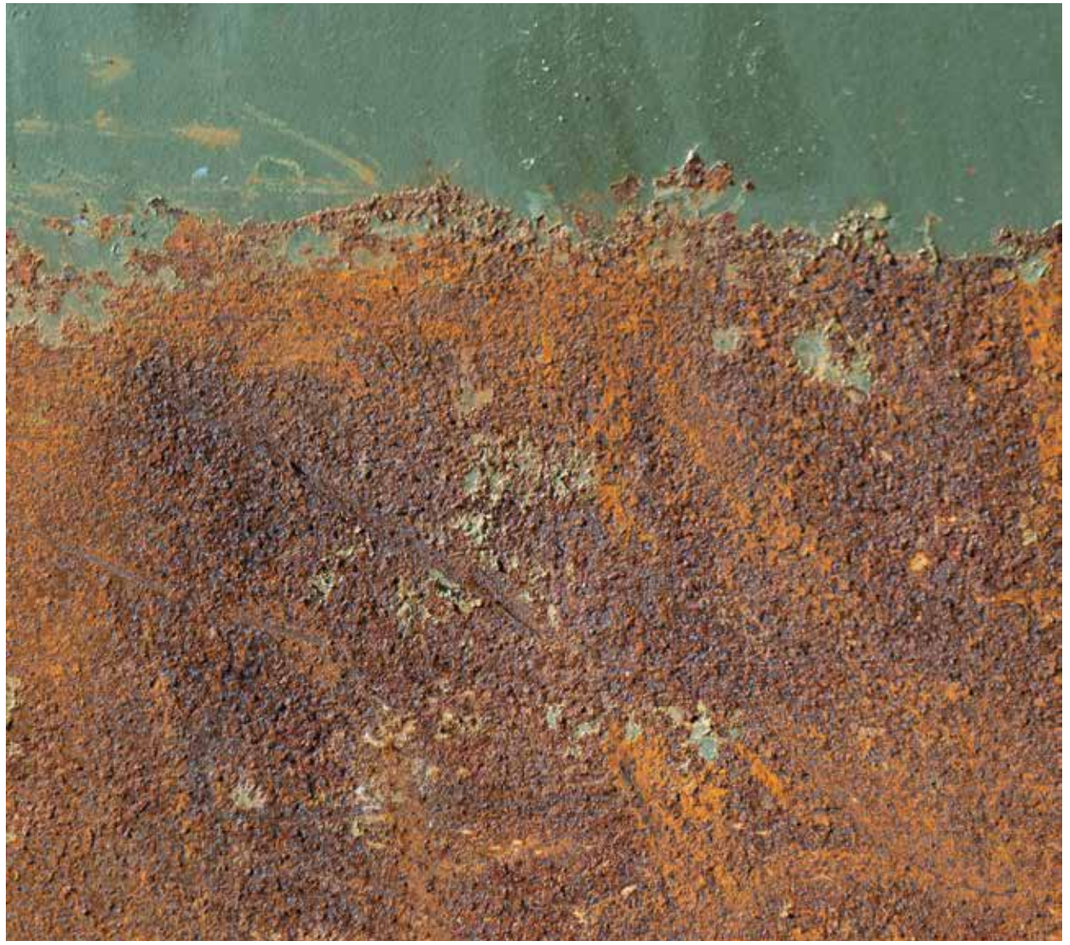
Anche dal punto di vista dell'Autorità, si è preferito puntare sull'incentivazione della riparazione delle perdite idriche rispetto alla loro prevenzione. Questa scelta ha portato a concentrare gli investimenti, in particolare quelli legati a PNRR/ReactEU, sulle tecniche di individuazione delle perdite, e pochi gestori hanno approfittato dell'occasione per manutenere o implementare sistemi di Protezione Catodica.

L'effetto di queste indicazioni non è stato quello desiderato: si sta assistendo ad un progressivo peggioramento degli indicatori M1, legato anche alla vetustà delle condotte.

Tale peggioramento ha comportato una difficoltà del Sistema Paese a rispondere agli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'ONU riguardanti l'acqua (*SDG 6*).

Il focus della discussione è stato sull'impatto nella gestione dei SII, ma non bisogna dimenticare l'importanza del settore irriguo nel bilancio idrico complessivo.

Guardando retrospettivamente a quanto accaduto nell'interazione tra Autorità e mondo del gas, non è difficile prevedere che nei prossimi periodi di regolazione si punterà a consolidare la tendenza all'aggregazione e alla gestione industriale, ma i fenomeni siccitosi e l'instabilità idrogeologica potrebbero sollecitare tempistiche più brevi.



Difficile pensare che il settore idrico possa tollerare una crescita importante degli investimenti senza un sistema di incentivi per proteggere un bene pubblico essenziale come la disponibilità di acque potabili e per l'irrigazione.

Sembra importante, perciò, uno sforzo unitario per valutare quelle che saranno le necessità, anche in termini progettuali, per rendere le reti compatibili con le tecniche di prevenzione (per esempio utilizzando materiali metallici, per le loro caratteristiche meccaniche, e garantendo la loro continuità elettrica, precondizione per l'applicazione della protezione catodica).

Un occhio di riguardo andrà dato anche alle caratteristiche delle condotte che si renderanno necessarie per garantire un uso il più possibile circolare della risorsa e per essere compatibili con l'eventuale necessità di tecniche di desalinizzazione.

Da questo punto di vista, l'auspicio di Apce è che un numero crescente di operatori possano aderire all'associazione per dare vita a tavoli di lavoro specifici.

Chi ha partecipato alla discussione ha anche mostrato interesse allo sviluppo di percorsi formativi dedicati, che affianchino quelli più completi che portano alla certificazione del personale secondo la norma UNI ESO ISO 15257.

Fondamentale appare anche il bisogno di un cambiamento culturale, che aumenti la percezione del valore dell'acqua (nonostante il basso costo e l'alta qualità dell'acqua erogata, si assiste ad un consumo abnorme di acque imbottigliate).

LEGISLAZIONE E NORMAZIONE

FIG. 5.46 *Macro-indicatore M1 – "Perdite idriche"*

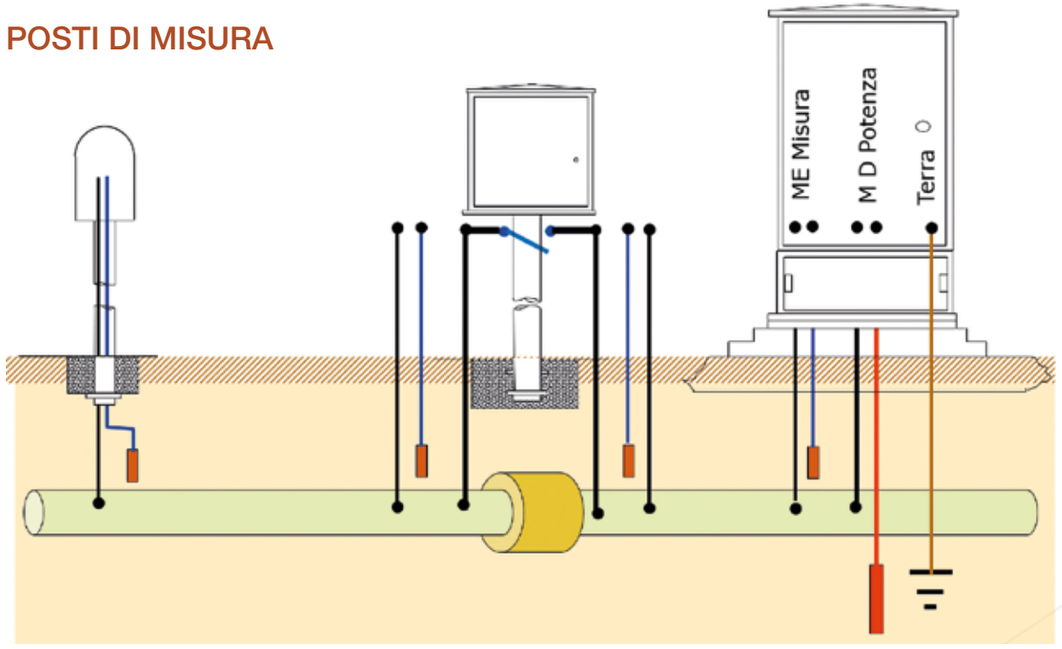
Fonte: ARERA, elaborazione su dati relativi al procedimento sull'applicazione del meccanismo incentivante della regolazione della qualità tecnica per il biennio 2020-2021 (delibera 477/2023/R/idr).

Tornando agli aspetti tecnici, il programma della giornata di studio è stato pensato per catturare l'attenzione dei partecipanti sugli aspetti realizzativi di un sistema di protezione catodica "gli elementi base da considerare (Brugnetti Fabio Apce)": per assicurare l'integrità delle strutture metalliche interrate il tipo di protezione è costituito da due provvedimenti tra loro interagenti e complementari: l'applicazione di un rivestimento isolante e l'attuazione della protezione catodica (PC) con anodi galvanici o con impianti a corrente impressa.

I criteri di attuazione della protezione catodica sono stati illustrati sempre in riferimento alla normativa internazionale, europea e italiana vigente, focalizzando l'attenzione

sui criteri che risultano tecnicamente applicabili alla realtà impiantistica della rete idrica in Italia. È stata messa ben in evidenza la semplicità realizzativa e di gestione di questi sistemi: è stato chiaramente dimostrato che, se inseriti in fase progettuale, il costo realizzativo e operativo di un impianto di protezione catodica risulta irrisorio rispetto al costo realizzativo di una infrastruttura. Stesso discorso vale per il ripristino di eventuali impianti messi in disuso e/o la messa in protezione di strutture esistenti.

POSTI DI MISURA



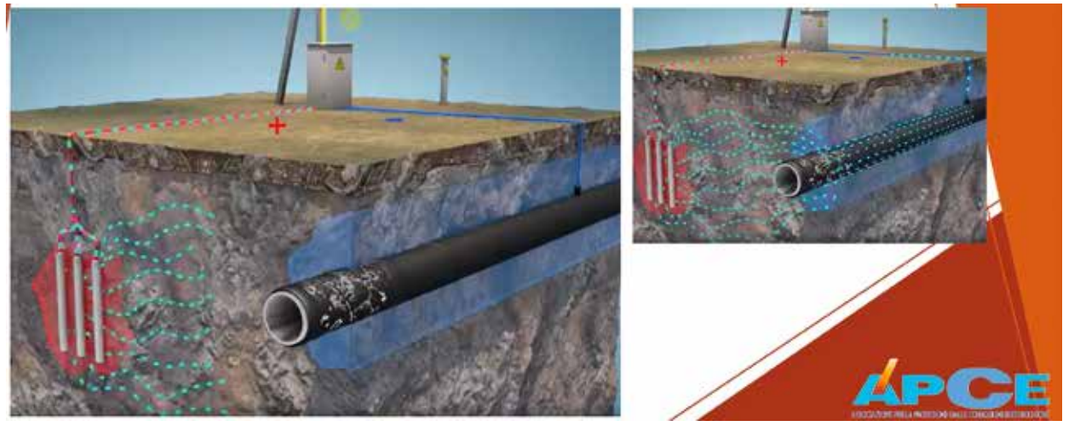
La tematica ha scatenato l'inevitabile punto di vista economico legato ai fondi di investimento messi a disposizione delle Utility, le quali di fatto, appresa la fattibilità realizzativa, comunque si trovano in condizione di difficile impiego delle risorse economiche per la messa in protezione delle infrastrutture su larga scala laddove tecnicamente fattibile.

È risultata abbastanza evidente la differenza di punti di vista tra le Utility ovvero tra chi oserebbe nell'investire e chi no, aspetto non trascurabile che sottolinea l'importanza del ruolo di Apce con l'intento di condividere ed allineare l'industria sulla strategia e sull'importanza del ruolo della protezione catodica come uno degli strumenti utili a garantire l'integrità delle strutture metalliche interrate.

Per dimostrare la fattibilità dell'attuazione della protezione catodica sulle reti idriche si sono susseguite due presentazioni "Case history – attuazione PC per acquedotto (Lorenzo Spisni, gruppo HERA e Nello Novelli, ESA); l'esposizione di Lorenzo si riagganciava in parte alla semplicità realizzativa di un impianto di protezione catodica a corrente impressa, per poi approfondire un aspetto di assoluta importanza ovvero la gestione operativa che può provocare interferenze elettriche su strutture metalliche equivalenti e coesistenti nel sottosuolo.

PROTEZIONE CATODICA...

corrente catodica...



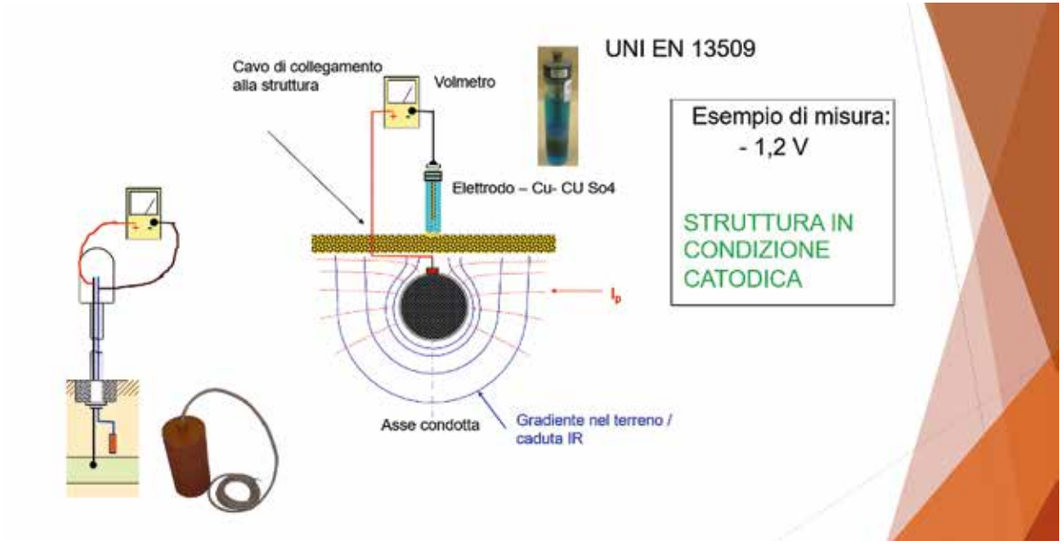
Le interferenze elettriche generate da un sistema di protezione catodica su una struttura terza possono causare problemi di corrosione accelerata, quindi diventa fondamentale gestire correttamente il valore di corrente di protezione per ottenere una riduzione accettabile del rateo di corrosione evitando di eccedere con l'erogazione.
Ci si riallaccia all'importanza della formazione e della divulgazione dei concetti di protezione catodica per i quali Apce rimane a disposizione dell'industria per avviare cicli formativi e giornate di studio dedicate.

A seguire, Nello ha proposto un esempio di progettazione di un sistema di protezione catodica per una struttura idrica, esaltando l'importanza di evitare interferenze elettriche su strutture terze.

Ferma restando la facilità realizzativa di un impianto di protezione catodica a corrente impressa, diventa fondamentale che la loro progettazione e distribuzione lungo la condotta venga attenzionata da personale certificato appunto per conciliare in modo appropriato la coesistenza di sistemi equivalenti nel sottosuolo.

Ritemprati dalla pausa pranzo, si è riaperto il dibattito tecnico sul “Concetto di monitoraggio della PC cosa serve fare – cosa serve evitare (Brugnetti o PoliMi)”, riprendendo appunto la descrizione di come avviene una interferenza elettrica tra strutture protette catodicamente e quali sono le azioni estremamente semplici per evitarle; la tematica ha sollevato interesse per l’aspetto dei rivestimenti isolanti applicati alle condotte, aspetti di posa e distanze di rispetto tra i componenti elettrici che concorrono nell’impianto.

POTENZIALE DI PC - INTERPRETAZIONE DEL SEGNO



La parte tecnica si è conclusa con l’intervento, forse il più importante, “Dimostrazione costi benefici della PC (Lorenzo Spisni – Marco Cattalini – Roberto Ballerini)” predisposto a 6 mani: è stata dimostrata l’affidabilità della protezione catodica come tecnica impiegata per mitigare il fenomeno della corrosione elettrolitica delle strutture metalliche interrate.

Dall’analisi dello studio presentato si evince che il costo di una struttura in acciaio che si corrode in 25 anni è sensibilmente superiore al costo della messa in opera e manutenzione della protezione catodica, Quindi il bilancio economico dimostra la convenienza che la protezione catodica restituisce.

BENEFICI

- ETICI
- IMMAGINE AZIENDALE
  - SICUREZZA e CONTINUITA’ SERVIZIO
- SOSTENIBILITA’ ECONOMICA
  - ESERCIZIO VS INVESTIMENTI
  - < COSTO ESERCIZIO
  - > INVESTIMENTI (REMUNERATI IN TARIFFA)
- RIDUZIONE INTERVENTI RIPARAZIONE DA CORROSIONE
  - < PERDITA FATTURATO
  - < PERDITA RISORSA IDRICA
  - < COSTO MANUTENZIONE IMPIANTI SOLLEVAMENTO / TRATTAMENTO ACQUA
  - < ORE/RISORSE IMPIEGATE IN P.I. / MANUTENZIONE RETE E IMPIANTI

Si è arrivati alla conclusione dei lavori verso le ore 16:00 con una tavola rotonda dinamica ed interessante: oltre ad un riepilogo veloce dei punti cardine esposti , si è confermata l'esigenza che Apce continui il percorso intrapreso per coinvolgere in modo efficace le Utility e le società di servizio nel settore della protezione catodica; in particolare è emersa la necessità di presentarsi in maniera unitaria nei confronti con l'Autorità, dopo aver sviluppato una proposta che sia fattibile e che tenga conto dell'impatto economico-finanziario degli interventi necessari su un orizzonte temporale che potrebbe essere vincolato da decisioni esterne provenienti dalla Commissione Europea.

Non possono ora mancare i ringraziamenti al Socio Apce SAGEST per avere ospitato l'evento nella loro sede di Atena Lucana e aver organizzato un interessante evento sociale a conclusione dei lavori.

Visita guidata alle grotte di Pertosa

PROTEZIONE CATODICA E IMPIANTI ELETTRICI... UN CONNUBIO NECESSARIO

Claudio Salmaso - *AP Reti Gas gruppo Ascopiave*

PREMESSA

Come è noto per proteggere un metallo immerso in un elettrolita bisogna rendere la sua superficie più elettronegativa rispetto al suo potenziale di libera corrosione, ciò si ottiene facendo circolare una corrente continua tra un anodo e la superficie da proteggere.

Nei sistemi a corrente impressa, la circolazione di corrente continua è garantita da un alimentatore collegato alla rete elettrica attraverso circuiti elettrici e dispositivi di sicurezza; circuiti e dispositivi a monte dell'alimentatore e altri servizi presenti all'interno del sistema di protezione catodica (TLSV, prese di servizio, ecc.) costituiscono un impianto elettrico la cui realizzazione deve essere conforme a leggi e norme che regolano la distribuzione elettrica al fine di salvaguardare la sicurezza delle persone.

Nota dolente riguarda la situazione degli infortuni di natura elettrica nel nostro paese, ogni anno, si registrano circa 400 infortuni mortali causati da elettrocuzione, più del doppio della media europea di decessi dovuti a infortuni elettrici per milione di residenti, una situazione estremamente allarmante!

Appare abbastanza chiaro che un impianto elettrico, per garantire sicurezza nell'utilizzo, deve sottostare ai punti di seguito descritti:

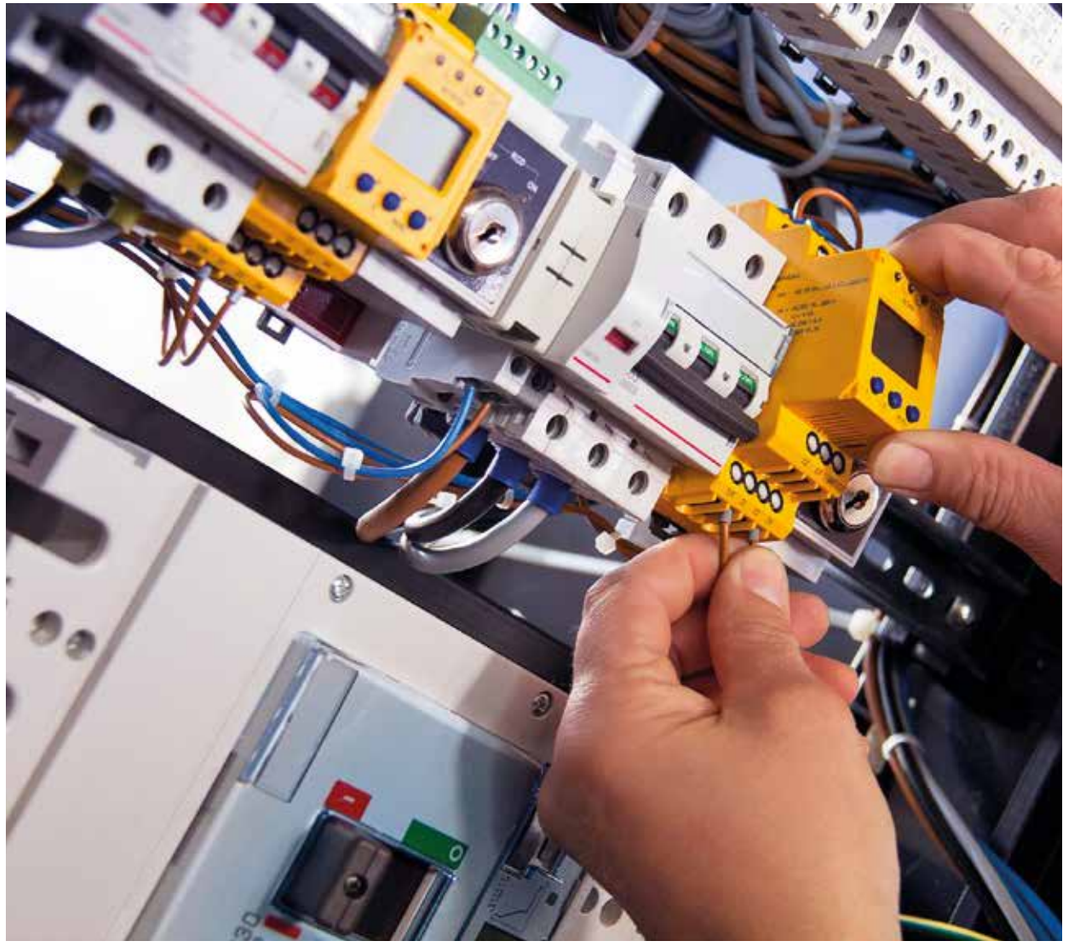
1. deve essere progettato e pensato nel rispetto di leggi e norme di riferimento;
2. deve essere costruito nel rispetto del progetto impiegando materiali di qualità e conformi all'ambiente di installazione;
3. deve essere mantenuto nel tempo con interventi di verifica e sostituzione di componenti ammalorati;

sembra semplice, eppure molti impianti elettrici non rispondono a quanto sopra descritto, possono quindi essere causa di infortuni (anche mortali) e danni all'ambiente circostante.

La **sicurezza degli operatori** non dipende da un singolo dispositivo (un interruttore, un differenziale o un cavo ben dimensionato), ma da un **insieme coordinato** di:

- **Norme** (che stabiliscono come progettare e realizzare correttamente gli impianti);
- **Protezioni elettriche** (interruttori automatici, differenziali, SPD, messa a terra, sezionatori…);
- **Controlli e manutenzione regolare** (verifiche periodiche, sostituzione dei componenti usurati, collaudi).

Se uno di questi tre pilastri viene trascurato, il rischio aumenta e possono verificarsi incidenti anche gravi, fino a quelli mortali. Vediamo quindi come realizzare un impianto elettrico a servizio di un sistema di protezione catodica rispettando i tre punti sopra esposti.



LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il nostro paese, nell'ambito elettrico, possiede un impianto legislativo e normativo estremamente preciso ed accurato, da sottolineare che se l'obbligatorietà delle norme non è sancita (a meno di non essere richiamate all'interno di leggi) deve essere altrettanto chiaro che la loro applicazione può garantire il rispetto delle leggi e rappresentare l'applicazione della *"regola dell'arte"*.

Vediamo i principali punti cardine:

- **D.Lgs. 81/2008**, *Testo Unico sulla Sicurezza*. Il Decreto disciplina i rischi elettrici sull'ambiente di lavoro, imponendo al datore di lavoro di valutare tali rischi, adottare misure di prevenzione e protezione, assicurare la sicurezza degli impianti elettrici. In poche parole, il datore di lavoro deve garantire che impianti e apparecchiature elettriche siano progettati, realizzati, installati, utilizzati e manutentati correttamente per proteggere i lavoratori.
- **D.M. 22 gennaio 2008, n. 37**, *Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici*. Tale decreto riguarda quindi l'installazione degli impianti, anche elettrici, all'interno degli edifici, definendo i principi e le regole per la progettazione, realizzazione, trasformazione, ampliamento e manutenzione.

- **Legge 1° marzo 1968 n°186**, *disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici*.
  a) Art.1 – *Tutti i materiali, le apparecchiature, i macchinari, le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici devono essere realizzati e costruiti a "regola d'arte"*
  b) Art. 2 – *I materiali, le apparecchiature, i macchinari, le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici realizzati secondo le Norme del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) si considerano a regola d'arte*.
- **D.P.R. 462 del 2001**, *Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi*.
- **CEI 11-27**, *Lavori su impianti elettrici*. Rappresenta il riferimento per le attività di lavoro sugli impianti elettrici.
- **Norma CEI 64-8 IX edizione 2024**, *Impianti elettrici a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua*. Composta da 8 parti, tratta le prescrizioni per la progettazione e la realizzazione di un impianto elettrico di bassa tensione e costituisce il riferimento normativo CEI per eseguire impianti elettrici a regola d'arte, come espressamente richiesto dalla Legge 186/68 e dal DM 37/08 sulla sicurezza degli impianti tecnici all'interno degli edifici.

- **Norma CEI 0-21 edizione 2022**, *Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica*. Questa norma definisce le modalità di connessione alla rete elettrica del distributore.

Abbiamo descritto i riferimenti principali che a loro volta richiamano altre norme anch'esse da rispettare.

I SISTEMI DI DISTRIBUZIONE ELETTRICA IN ITALIA

> Alimentazione in bassa e media tensione

Prima di entrare nel dettaglio dei sistemi di distribuzione, è utile chiarire cosa si intende per **BT** (**bassa tensione**) e **MT** (**media tensione**), termini che incontreremo spesso nelle pagine seguenti.

- La **bassa tensione (BT)** è la forma di energia elettrica che tutti conosciamo: 230 volt monofase nelle abitazioni, oppure 400 volt trifase in uffici, laboratori e piccoli impianti. È la tensione tipica delle utenze civili e di molte applicazioni industriali leggere.
- La **media tensione (MT)**, invece, è usata per trasportare energia su distanze più lunghe e alimentare stabilimenti industriali, impianti di pompaggio, acquedotti e raffinerie. In Italia i valori tipici sono compresi tra 10.000 e 30.000 volt.
  Per utilizzarla occorre una **cabina di trasformazione** MT/BT, che abbassa la tensione a valori compatibili con gli impianti e le apparecchiature.

Questa distinzione è importante perché gli impianti di protezione catodica possono trovarsi sia in **BT** (ad esempio armadi stradali o piccoli POD dedicati) sia in **MT** (in grandi complessi industriali con cabina propria).
Nei paesi industrializzati, il neutro e le masse degli impianti elettrici (distribuzione pubblica e impianti utilizzatori) vengono collegati a terra per coordinare le protezioni in caso di guasto elettrico per la salvaguardia e la sicurezza delle persone, cose ed animali, questo accorgimento serve a far intervenire rapidamente le protezioni elettriche in caso di anomalia.

Nel nostro caso potremmo trovarci nella situazione di cablare un alimentatore di protezione catodica in un sistema TT oppure TN, raramente in un sistema IT; le lettere individuate in tali sigle hanno il significato di seguito descritto:

> **prima lettera** – stato del conduttore di neutro nella cabina di trasformazione MT/BT:
  a) T neutro collegato all'impianto di terra della cabina.
  b) I neutro isolato da terra o connesso a terra mediante impedenza.

> **seconda lettera** – stato di collegamento delle masse degli utilizzatori:
  a) N masse collegate al conduttore di neutro.
  b) T masse collegate all'impianto di terra dell'utilizzatore.

Nei sistemi TN una terza lettera indica la modalità di distribuzione del conduttore di terra e di neutro.

In merito a tale classificazione ci troveremo normalmente di fronte in sistemi TT con uno schema di seguito evidenziato *(fig1)*:

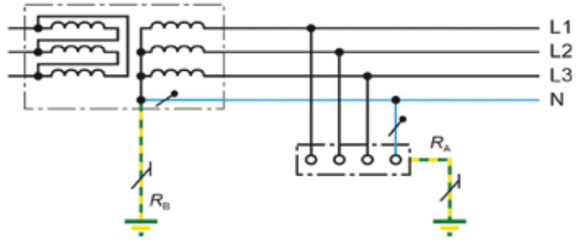


Figura 1 -sistema TT

I sistemi TT sono caratteristici di fornitura in BT derivata da cabina MT/BT del distributore, un esempio sono le nostre abitazioni, laboratori artigianali, armadi stradali installati a servizio di sistemi di protezione catodica e cabine REMI.

Nel caso di sistemi TN avremmo uno schema diverso *(fig2)*:

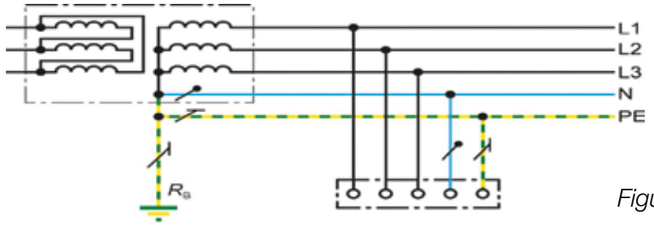


Figura 2 -Sistema TN-S

Esiste una variante allo schema sopra riportato (TN-S), si tratta dei sistemi TN-C *(fig3)*:

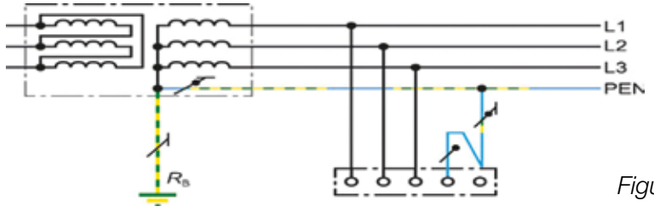


Figura 3 - Sistema TN-C

I sistemi TN sono caratteristici di forniture in MT, quindi con cabina propria (privata) di distribuzione, un esempio sono le industrie, le raffinerie, gli impianti di filtraggio e pompaggio degli acquedotti, dove potremmo identificare anche aree concentrate.

Vediamo dunque come realizzare l'impianto elettrico di un sistema di protezione catodica in base al sistema di distribuzione dell'energia elettrica.

> Sistemi di distribuzione TT

Le situazioni che di solito ricorrono sono:

a) Impianti di protezione catodica alimentati da propria fornitura ad uso esclusivo e installati all'aperto, si tratta del classico impianto di protezione catodica posizionato in aree pubbliche o private ma non all'interno di edifici.

b) Impianti di protezione catodica alimentati da fornitura derivata da cabina REMI.

c) Impianti di protezione catodica alimentati da fornitura derivata da edifici ad uso civile, ad esempio uffici Comunali, magazzini di proprietà del gestore ecc.

Gli impianti alla lettera a), non essendo ricompresi all'interno di edifici, non trovano applicazione all'interno del DM 37/08, tale affermazione ricade all'interno di una questione documentale che vedremo in seguito, questi impianti non sono comunque soggetti a *progetto* e ad emissione di *Dichiarazione di Conformità*.
Sono normalmente costituiti da un punto di fornitura (POD), ovvero da un contatore di energia elettrica con limitatore di potenza e da un armadio in vetroresina contenete le apparecchiature di protezione catodica e il quadro elettrico di distribuzione.
La costruzione di detti impianti è soggetta alla **Legge 1° marzo 1968 n°186 e l'impiantistica deve rispondere alle norme CEI 64-8 e CEI 0-21**.

Sono importanti alcune definizioni estratte dalla norma CEI 0-21:

- **cavo di collegamento**. Tratto di cavo che collega i morsetti del contatore (punto di connessione PdC) al primo quadro di distribuzione; il cavo di collegamento non deve presentare masse;
- **montante**. Tratto di cavo che collega il primo quadro di distribuzione con il quadro alloggiato all'interno dell'armadio di protezione catodica;
- **dispositivo generale** (**DG**). Apparecchiatura di **protezione, manovra e sezionamento** la cui apertura assicura la separazione dell'intero impianto dell'Utente dalla rete.

La norma CEI 0-21 prescrive le regole di connessione al Punto di connessione (PdC), ovvero la morsettiera del contatore di fornitura energia elettrica, dal quale si deriva un cavo di collegamento che connette l'utenza attraverso un interruttore denominato Dispositivo Generale (DG) e in derivazione a quest'ultimo una linea denominata montante, che alimenta il quadro elettrico installato all'interno dell'armadio di protezione.

Da notare che negli impianti di protezione catodica, viste le distanze molto piccole tra PdC e armadio di protezione catodica, nella maggior parte dei casi, il cavo di collegamento e il montante coincidono.

Il contatore dispone al suo interno di un interruttore automatico con funzioni di manovra e sezionamento con curva caratteristica "C" e In 63A.

Il cavo di collegamento tra i morsetti del contatore e l'interruttore dell'u-

Figura 4 – Classico impianto di protezione catodica con armadio e Pdc affiancati

tente, deve avere una sezione minima di 6mm^2, ai fini tecnici per una fornitura 3kW è consigliabile un cavo FG16OR16 2x6mm^2, da evidenziare che nella morsettiera del contatore per ciascun morsetto è possibile connettere un solo conduttore, pertanto, nel caso di più linee di alimentazione, quest'ultime dovranno essere derivate da un quadro installato a valle del PdC con funzione di distribuzione. Se il cavo è interrato deve essere caratterizzato da isolamento doppio (grado1 CEI 20-27).

La protezione del cavo di collegamento dal cortocircuito, con fornitura limitata, con lunghezza ≤ 3m e con le condizioni di seguito descritte:

- non è posto vicino a sostanze combustibili;
- è posto in opera in modo da ridurre il rischio di cortocircuito (cavo a isolamento doppio Uo/U 600/1000 classe 1 o contenuto in tubazione isolante);
- non è installato in luoghi a maggior rischio di incendio o esplosione.

può essere attuata con un interruttore unico DG *(dispositivo generale)* posto all'interno dell'armadio di protezione catodica *(fig.5)*, tale interruttore deve comunque proteggere il cavo di collegamento dal sovraccarico secondo le disequazioni di seguito descritte:

$$\mathbf{Ib \leq In \leq Iz}$$

$$\mathbf{If \leq 1{,}45\ Iz.}$$

dove:

Ib = corrente di impiego
In = corrente nominale dell'interruttore
Iz = portata del cavo
If = corrente convenzionale che assicura l'effettivo funzionamento del dispositivo di protezione

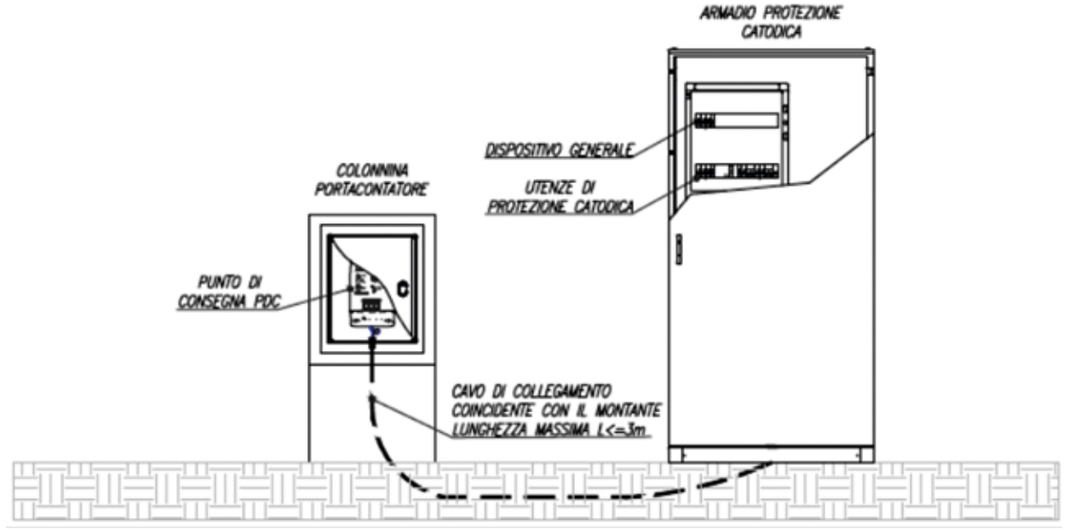


Figura 5 – Dispositivo generale installato all'interno del quadro elettrico a servizio dell'armadio di protezione catodica (cavo di collegamento ≤ 3m)

Se la lunghezza del cavo di collegamento supera i 3m (armadio protezione catodica e PdC lontani tra loro) la situazione si complica, in questo caso serve realizzare un quadro di appoggio (avanquadro) con funzione di contenimento del dispositivo generale *(fig.6)*:

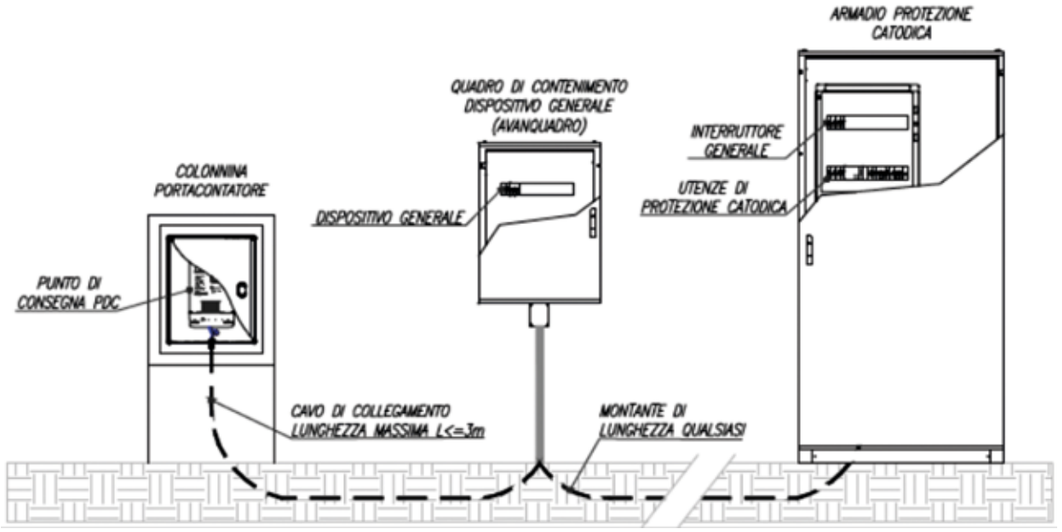


Figura 6 – Dispositivo generale installato all'interno di un quadro di appoggio (cavo di collegamento > 3m)

La regola per la protezione da sovraccarico è la medesima del caso precedente; tale soluzione è purtroppo complicata per il fatto che risulta difficile individuare un ancoraggio per il quadro contenente il DG, infatti per le regole di connessione non è possibile installare altri dispostivi all'interno del vano del PdC; è chiaro che la problematica riguarda solo la protezione da cortocircuito.

Leggendo attentamente la CEI 0-21 e incrociandola con la CEI 64-8 emergono delle considerazioni molto importanti:

a) la norma CEI 0-21 chiede che il cavo di collegamento sia protetto dal cortocircuito ma non vieta l'utilizzo del dispositivo installato all'interno del contatore, anche se in realtà il distributore non è obbligato a garantire l'efficienza di quest'ultimo;

b) se l'interruttore installato all'interno del contatore è conforme alla norma di prodotto EN 60898-1 *(fig.7)* significa che tale dispositivo è adatto alla protezione e al sezionamento dei circuiti ad esso derivati;

Figura 7 - Interruttore conforme EN 60898-1

c) l'interruttore del distributore ha il potere di interruzione prescritto dalla norma;

d) un cavo con sezione 6 mm^2 sopporta un'energia specifica passante superiore a quella lasciata passare dall'interruttore del contatore (C63).

A fronte di quanto sopra descritto è ragionevole usare, per la protezione da cortocircuito del cavo, l'interruttore del contatore; bisogna comunque considerare che il distributore potrebbe sostituire l'interruttore o il contatore, ma di questo l'utente dovrebbe essere preventivamente informato e nel caso assumere i provvedimenti necessari, ma spesso l'utente è ignaro e potrebbe non adeguare l'impiantistica alla nuova configurazione.
Quanto sopra descritto è una possibilità che negli impianti elettrici delle abitazioni civili è ammessa dalla CEI 64-8, non si vede quindi ragione di non applicarla agli impianti elettrici della protezione catodica. Onde evitare contestazioni e/o trovarsi a gestire situazioni anomale, che potrebbero richiedere competenze elevate da parte del gestore dell'impianto, il consiglio è di prevedere un proprio interruttore entro 3 m dal PdC, dove chiaramente tale valore numerico è riferito alla lunghezza del cavo di collegamento.

Con una potenza installata di 3kW, un buon compromesso, che soddisfa i criteri di selettività riferiti agli interruttori di protezione posizionati all'interno dell'armadio a protezione dei singoli apparecchi, è quello di installare come dispositivo generale un interruttore curva "C" In 25A.
Il potere di interruzione del dispositivo generale deve essere maggiore o uguale alla

corrente massima di cortocircuito dichiarata dal distributore, in questi casi, fino a 33kW di potenza impegnata, su circuiti monofasi è pari a 6kA.
Gli interruttori automatici nei circuiti TT possono avere un solo polo protetto (1P+N) ma il neutro deve essere sezionabile, in quanto è considerato conduttore attivo.
La protezione contro i contatti indiretti (fault protection) deve essere realizzata mediante interruttore automatico differenziale con Idn ≤ 30mA, è consigliabile l'installazione di un modello in classe A, tale interruttore può essere accoppiato al Dispositivo Generale e quindi alloggiato all'interno dell'armadio alimentatore, sei il dispositivo generale è installato in posizione remota rispetto all'armadio e il montante è realizzato a doppio isolamento, non è necessaria un ulteriore protezione, in ogni caso, a favore della sicurezza può essere installato un interruttore differenziale di tipo S (selettivo) con corrente 3Idn rispetto a quello installato a valle.

L'**impianto di terra** deve essere coordinato con la Idn dell'interruttore differenziale, in particolare con la corrente di intervento più elevata.

Il coordinamento deve rispondere alla formula:

$R_A \leq 50/I_{dn}$

Dove R_A è la somma della resistenza del conduttore di protezione delle masse e la resistenza di terra del dispersore (R_E); il dispersore di terra, se realizzato con una puntazza, è bene sia alloggiato in un pozzetto ispezionabile ai fini di verifiche all'impianto, il morsetto del dispersore di terra deve essere ricoperto di grasso neutro, dopo la realizzazione della connessione, al fine di ridurre i fenomeni corrosivi; il cartello di segnalazione del dispersore non è obbligatorio.

Le dimensioni minime di un dispersore a croce in acciaio zincato a caldo sono 50mmx5mm (larghezza del profilo x spessore), in merito alla lunghezza la norma (CEI 99-3) non specifica una lunghezza minima, ma bisogna considerare che un picchetto a croce di lunghezza 2m, se collocato all'interno di un pozzetto 40x40, la parte a contatto con il terreno si riduce ad 1,70m circa. Il dispersore di terra può essere anche costituito da una corda nuda in rame in questo caso la sezione minima deve essere pari a 35mm^2, se realizzato in acciaio zincato a caldo la sezione diventa 50 mm^2.

All'interno dell'armadio è buona norma realizzare un collettore di terra (fig.8) alloggiato in cassetta con adeguato grado di protezione (IP) al fine di contenere i fenomeni corrosivi, la sezione del conduttore di terra (collegamento dispersore/collettore), se il conduttore di fase ha una sezione ≤ 16mm^2, il conduttore di terra, se protetto contro la corrosione (conduttore con guaina GV), deve avere sezione uguale al conduttore di fase, il consiglio, per questioni di sicurezza è di impiegare in questi casi conduttori con sezione di 16mm^2 con guaina GV. I conduttori di protezione afferenti al collettore di terra devono avere sezione maggiore o uguale al conduttore di fase.

Per il **quadro di distribuzione** contenente gli interruttori di protezione, relativi alle varie utenze dell'impianto di protezione catodica, viste le condizioni svantaggiose (polvere, umidità, insetti ecc.) e utile impiegare centralini con sportello e grado di protezione almeno pari a IP55, ciò vale anche per le prese non utilizzate e/o di servizio installate sulle piastre di fondo dell'armadio.

È di fondamentale importanza proteggere la linea di alimentazione proveniente dal contatore da eventuali sovratensioni, atmosferiche e/o di manovra, con l'installazione di **SPD (Surge Protection Device)**; la protezione deve essere garantita da SPD almeno di classe 2 *(fig.9)*, anche se per una protezione totale, soprattutto se la linea in BT che alimenta il POD è di tipo aereo, conviene installare SPD classe 1+2.

Figura 8 – Collettore di terra di terra in cassetta IP55

Qualunque sia la scelta, nel caso di apparecchi dotati di soli varistori, l'installazione deve essere obbligatoriamente eseguita a valle dell'interruttore differenziale, questo ad evitare che in caso di cedimento verso terra dei varistori (dovuto a fulminazioni superiori alla portata del varistore o a degrado nel tempo della capacità isolante del materiale), le masse assumano la tensione di rete per un tempo indefinito esponendo chi entra in contatto con l'impianto al rischio di folgorazione. L'installazione è spesso pensata a monte per paura che le sovracorrenti da fulmine determinino l'intervento del differenziale (in presenza della sovracorrente) con conseguente guasto di quest'ultimo, in realtà la sovracorrente è molto più veloce del tempo di apertura di un interruttore differenziale (**µs** sovracorrente, **ms** tempo apertura differenziale).

Figura 9 – Quadro elettrico in armadio protezione catodica equipaggiato con SPD cl2 (varistore + spinterometro)

Nel caso l'apparecchiatura sia costituita da varistori accoppiati in serie a spinterometri il rischio, nel caso di installazione a monte, non sussiste; gli scatti intempestivi degli interruttori differenziali possono essere evitati con l'adozione di apparecchi dotati di riarmo automatico e/o con caratteristiche aggiuntive di seguito descritte:

- resistenza all'impulso 8/20 µs per correnti fino a 3kA;
- presenza di filtro temporale per correnti differenziali di durata <10ms;
- immunità all'impulso oscillatorio smorzato *(ring wave)*.

Anche l'inserimento di fusibili in serie con gli SPD deve essere attentamente valutato con il produttore, il rischio è che l'intervento dei fusibili, in caso di sovratensione, renda gli SPD scollegati dall'impianto senza che ciò sia noto.

Le sezioni minime per il collegamento a terra degli SPD sono di seguito riportate:

- **SPD CLASSE 1** ≥16 mm^2;
- **SPD CLASSE 2** ≥6 mm^2;
- **SPD CLASSE 3** ≥1,5 mm^2;

Per gli impianti alla lettera b), ovvero impianti di protezione catodica con alimentazione derivata da impianti elettrici di cabine REMI, le cose cambiano!! Le cabine REMI sono luoghi con pericolo di esplosione, quindi ambienti a normativa specifica (CEI EN 60079-X), si applica il DM 37/08, in conseguenza di ciò modifiche ed installazioni aggiuntive all'impianto elettrico devono essere realizzate su progetto di professionista iscritto agli albi professionali.

Se l'impianto elettrico della cabina è già realizzato, il professionista redigerà un addendum al progetto esistente indicando il posizionamento della nuova installazione, la componentistica da installare (protezioni, sezione linea alimentazione, sottoquadri) e le relative canalizzazioni da realizzare.
Bisogna comunque tenere presente che sono vietate dalla norma installazioni in zone classificate ATEX. L'impianto di terra deve essere unico, risulta quindi inutile infiggere ulteriori dispersori di terra. In merito alla protezione differenziale, quest'ultima potrebbe essere posizionata sul quadro della cabina, oppure non essere presente essendoci nell'impianto un unico differenziale a protezione di tutte le utenze.
È utile ricordare che installare interruttori differenziali in serie con identici valori di taratura non garantisce i criteri di selettività imposti dalla norma CEI 64-8, da sottolineare che il test strumentale di interruttori con tale configurazione risulta difficoltoso in quanto il primo differenziale che interviene isola il secondo che non potendo intervenire non viene mai testato, pertanto è evidente che tale configurazione, oltre a rappresentare una violazione normativa, rappresenta uno spreco economico senza miglioramenti in termini di sicurezza.

Per gli impianti alla lettera c), ovvero Impianti di protezione catodica alimentati da fornitura derivata da edifici ad uso civile, anche in questo caso si applica il DM 37/08, in conseguenza di ciò modifiche ed installazioni aggiuntive all'impianto elettrico devono essere realizzate su progetto di professionista iscritto agli albi professionali

senza limiti, oppure dal responsabile tecnico dell'impresa installatrice con i seguenti limiti:

> Unità abitative con potenza impegnata ≤ 6kW e/o superficie ≤ 400m²
> Unità commerciali, attività produttive e terziario con potenza impegnata ≤ 6kW e/o superficie ≤ 200m² (alimentati a tensione ≤ 1000V)

Anche in questo caso, come al punto **b)**, si applica quanto stabilito dal progettista o dal responsabile tecnico dell'impresa.

> Sistemi di distribuzione TN

I sistemi **TN** sono caratterizzati dall'essere alimentati in media tensione.
La cabina di distribuzione è di proprietà dell'utente e il punto di consegna e misura è realizzato sul lato di media tensione, a monte del trasformatore MT/BT.
Questa tipologia di impianti può essere progettata solo da professionisti iscritti agli albi professionali, pertanto, eventuali impianti di protezione catodica devono essere realizzate con le stesse regole degli impianti TT alla lettera b.

> Quadri elettrici

Un quadro elettrico può essere definito come un'apparecchiatura costituita da una "combinazione di **due o più** apparecchi di protezione e/o di manovra, con gli eventuali dispositivi di comando, misura, segnalazione, protezione, regolazione, ecc., completamente cablati sotto la responsabilità del costruttore, con tutte le interconnessioni

elettriche e meccaniche interne, compresi gli elementi strutturali di supporto".
I quadri elettrici sono normalmente alloggiati all'interno degli armadi di protezione catodica al fine di contenere i dispostivi di protezione delle utenze (alimentatore, data logger, prese di servizio ecc.), oppure come avanquadro per contenimento dispositivo generale; all'interno dell'armadio possono essere installati centralini in ABS o policarbonato, come già affermato, è consigliato un grado di protezione ≥ IP 55 al fine di proteggere gli elementi da sporcizia e insetti, all'esterno è consigliabile installare quadri in vetroresina con serrature a chiave e grado di protezione ≥ IP 65.

I quadri elettrici esulano dal DM 37/08, La norma di riferimento per loro costruzione è la CEI EN IEC 61439, la quale prescrive metodologie di costruzione, prove tipo e relativa documentazione da consegnare al committente; vale la pena di ricordare che per i quadri posizionati all'interno dell'armadio alimentatore non è possibile utilizzare

Figura 10 – Targhetta da apporre su quadro elettrico CEI EN IEC 61439

la CEI 23-51, ovvero una norma molto più semplice ma che purtroppo limita la temperatura ambiente a 25°C in condizioni normali, e occasionalmente a 35°C, all'interno degli armadi non è infatti raro superare i 50°C.

La costruzione di un quadro implica la certificazione e l'emissione del certificato CE; la consegna di tali documenti al committente non è obbligatoria, ma può comunque essere concordata in fase di gara e/o CSA. Se il costruttore del quadro è anche l'installatore dell'impianto elettrico, il quadro elettrico risulta un componente dell'impianto e anche in questo caso l'installatore non è obbligato a rilasciare la dichiarazione di conformità del quadro elettrico, vale la pena di segnalare che sia che il quadro sia costruito dall'installatore o acquistato da quest'ultimo presso un costruttore di quadri, è obbligatoria l'apposizione della targhetta indicata come esempio in fig.10. Sussiste inoltre l'obbligo di consegna del manuale di funzionamento e manutenzione come richiesto dalla norma CEI EN IEC 61439-1.

DICHIARAZIONI, OMOLOGAZIONI E VERIFICHE

Quando si parla di impianti elettrici non basta realizzare un buon progetto e installare componenti a norma: serve anche la giusta documentazione che certifichi il lavoro eseguito e controlli periodici che ne garantiscano la sicurezza nel tempo. Dichiarazioni come la DICO o la DIRI, insieme agli obblighi di omologazione e verifica previsti dal DPR 462/01, rappresentano lo strumento con cui installatori e committenti si tutelano, assicurando trasparenza e conformità alle normative.

> Dichiarazione di conformità (DICO)

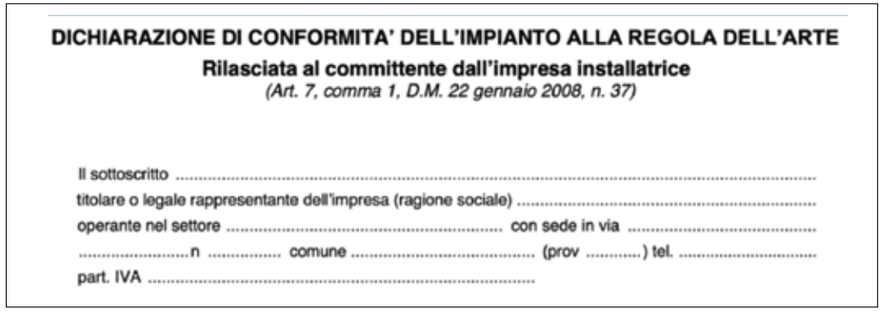
La *Dichiarazione di Conformità* (**DICO**) è un documento obbligatorio emesso da chi installa un impianto elettrico, come prescritto dal DM37/08. Tale documento dichiara che l'impianto è stato realizzato in modo conforme alla regola dell'arte, e verificato secondo le normative vigenti, quindi devono essere rispettati i punti di seguito elencati:

- rispettato il progetto;
- seguito la normativa tecnica vigente;
- installato componenti e materiali idonei;
- controllato l'impianto ai fini della sicurezza.

La DICO deve essere firmata sia dal titolare o legale rappresentante dell'impresa installatrice, sia dal responsabile tecnico, se persona diversa. Il committente, invece, **non appone la firma** ma ne riceve una copia; l'apposizione di eventuali firme del cliente non è richiesto dal Decreto e non è indicato all'interno del modello, pertanto, eventuali firme del cliente per ricevuta devono essere inserite all'interno di altro documento (es. lettera di consegna DICO).
Questo documento tutela il committente, ma anche l'installatore, da qui la necessità della corretta compilazione al fine di tutelare entrambi le parti.
La DICO è obbligatoria per tutti gli impianti, ovvero:

- nuovo impianto;
- trasformazione;
- ampliamento;
- manutenzione straordinaria.

Non è richiesta l'emissione della DICO in caso di manutenzione ordinaria (eventuale sostituzione di parti di impianto elettrico con componenti identici a quanto fornito in origine) e nel caso di misure elettriche (misure elettriche, prove interruttori differenziali con adeguata strumentazione ecc.).
La DICO è un allegato del DM 37/08, pertanto, il modello non può essere variato aggiungendo o sottraendo parti di esso a piacimento, la DICO non ha scadenza fintantoché sull'impianto elettrico non vengono eseguiti lavori straordinari, in questo caso, le modifiche devono essere accompagnate da ulteriore DICO rilasciata dall'installatore che ha eseguito i lavori.
Prima dell'emissione di tale documento l'installatore deve verificare visivamente e con appositi strumenti quanto realizzato.
Se l'impianto è soggetto ad obbligo di progetto l'installatore deve barrare la relativa casella e indicare il nome del progettista, sia esso un professionista iscritto all'albo o il responsabile tecnico anche della stessa impresa, il progetto è un allegato obbligatorio della DICO.



DICHIARAZIONE DI CONFORMITA' DELL'IMPIANTO ALLA REGOLA DELL'ARTE

Rilasciata al committente dall'impresa installatrice

(Art. 7, comma 1, D.M. 22 gennaio 2008, n. 37)

Il sottoscritto .....

titolare o legale rappresentante dell'impresa (ragione sociale) .....

operante nel settore ..... con sede in via .....

.....n ..... comune ..... (prov .....) tel. .....

part. IVA .....

L'installatore deve avere almeno possedere i requisiti tecnico professionali descritti alla lettera "A" (Impianti di produzione, trasformazione, trasporto, distribuzione e utilizzo dell'energia elettrica) dell'elenco impianti del DM 37/08, tale particolarità è rilevabile all'interno della visura camerale che ovviamente deve essere aggiornata e avere data di scadenza uguale o superiore a quella della DICO; la visura camerale è un allegato della DICO, non deve essere consegnata separatamente o peggio non consegnata.
L'allegato (2) denominato "relazione con tipologie dei materiali utilizzati" è molto importante, all'interno di esso devono essere inseriti i soli materiali per l'esecuzione dell'impianto elettrico e non i materiali relativi alla parte di protezione catodica.
L'installatore non è più obbligato ad inviare la DICO allo sportello unico come disposto dal DL 5 del 9 febbraio 2012, deve solo consegnare il documento al committente.
Gli uffici tecnici interni di imprese non installatrici, autorizzate all'installazione, alla trasformazione, all'ampliamento e alla manutenzione degli impianti delle proprie strutture interne e nei limiti della tipologia di lavori per i quali il responsabile tecnico possiede i requisiti previsti all'articolo possono emettere la DICO su un modello (allegato II DM 37/08) predisposto.

DICHIARAZIONE DI CONFORMITA' DELL'IMPIANTO
ALLA REGOLA DELL'ARTE
Rilasciata dagli uffici tecnici interni di imprese non installatrici
(Art. 7, comma 4, D.M. 22 gennaio 2008, n. 37)

Gli impianti elettrici realizzati non a servizio di edifici e relative pertinenze non sono soggetti al DM37/08, quindi non hanno obbligo di progetto e nemmeno obbligo di emissione della DICO, questo è il caso degli impianti di protezione catodica realizzati all'interno di un armadio in vetroresina con propria fornitura EE.

Non bisogna dimenticare che questi impianti, anche se non soggetti al DM 37/08, devono essere ottemperanti alla **Legge 1° marzo 1968 n°186**, pertanto l'installatore deve consegnare un documento al committente dove attesta la conformità, a questo punto è utile fare qualche riflessione:

1. Il committente non può pretendere in questo caso l'emissione della DICO, a meno che tale consegna non sia stata stabilita da accordo scritto tra le parti (obbligo contrattuale);
2. Se l'installatore, a seguito di mancati accordi tra le parti, non intende rilasciare la DICO, potrebbe significare che non possiede i requisiti tecnico professionali richiesti per la realizzazione di un impianto elettrico;
3. Il committente, con almeno un dipendente, ha l'obbligo di richiedere l'omologazione dell'impianto elettrico come prescritto dal DPR 462/01, per far ciò all'interno del portale CIVA bisogna allegare un documento firmato dall'installatore in merito alla conformità normativa di quanto realizzato.

La soluzione in questo caso può essere rappresentata dalla consegna della DICO opportunamente modificata in merito ai punti di seguito descritti:

- Devono essere rimossi i riferimenti al DM 37/08 ed inseriti quelli relativi alla **Legge 1° marzo 1968 n°186**;
- Non devono essere inseriti allegati, quest'ultimi sono richiesti solo dal DM 37/08;
- Deve essere eliminata la firma del responsabile tecnico.

Un documento siffatto è accettato anche all'interno del portale CIVA come da disposizioni INAIL.

Un capitolo a parte è rappresentato dall'emissione di DICO da parte di soggetti abilitati per impianti realizzati da terzi non abilitati; rilasciare una DICO di un impianto sul quale non si è mai intervenuti comporta delle gravi responsabilità perseguibile con gli articoli del codice penale di seguito descritti:

- art. 481 ("Falsità ideologica commessa da persone esercenti un servizio di pubblica utilità"). In questo caso la norma è diretta a tutelare la fiducia dei consociati nei riguardi degli atti pubblici, specificatamente in ordine alla garanzia di veridicità;
- art. 483 ("Falsità ideologica commessa da privato in atto pubblico").

> Dichiarazione di rispondenza (DIRI)

La *dichiarazione di rispondenza* è un documento, introdotto dal Decreto 22 gennaio 2008 n.37 all'art.7comma 6. La dichiarazione di rispondenza serve ad attestare che

un impianto rispetta determinati requisiti di sicurezza, tale documento deve essere redatto solo ed esclusivamente per impianti antecedenti all'emissione del DM 37/08, nel caso che la vecchia dichiarazione sia assente o mai redatta (impianti realizzati dopo l'introduzione della Legge 46/90 e prima del Decreto 37/08 (fino al 27 marzo 2008).
La **DIRI** è redatta da un professionista iscritto all'albo, nel caso di impianti senza obbligo di progetto, può essere licenziata dal responsabile tecnico di un'impresa abilitata ai sensi del DM 37/08.
Eventuali parti non a norma devono essere adeguate con conseguente emissione di DICO relativa alle sole parti adeguate.

> Omologazione (DPR 462/01)

L'omologazione di un impianto elettrico è disciplinata dal **DPR 462/01**, la procedura si applica nel caso che l'azienda proprietaria dell'impianto di protezione catodica sia composta da almeno un dipendente o uno o più soci lavoratori.
Nel caso degli impianti di protezione catodica con fornitura elettrica dedicata, al termine dei lavori, il datore di lavoro proprietario dell'impianto, esegue la denuncia dell'impianto di terra; nel caso l'impianto di protezione catodica sia derivato da altro impianto esistente non si procede in tal senso, in quanto tale realizzazione risulta un addendum dell'esistente già denunciato.

La procedura per denuncia e omologazione è di seguito descritta:

- l'omologazione dell'impianto di terra viene fatto con la verifica dell'installatore che rilascia la dichiarazione di conformità ai sensi del DM 37/08 (oppure con dichiarazione L.186/08);
- entro trenta giorni dalla messa in esercizio dell'impianto, il datore di lavoro è obbligato a registrare l'impianto di terra, mediante l'applicativo CIVA di INAIL caricando sul portale la DICO (oppure dichiarazione L.186/08); ed effettuando un versamento con causale "impianto di terra";
- entro trenta giorni dalla messa in esercizio dell'impianto, il datore di lavoro è obbligato a inoltrare la DICO alla competente ARPA territoriale.

Da sottolineare che la scadenza per l'effettuazione della denuncia non è quella di rilascio della DICO ma quella relativa alla messa in esercizio dell'impianto.
Come già anticipato, in luogo della DICO, per la procedura sopra descritta, il datore di lavoro può effettuare quanto richiesto con la dichiarazione di conformità riferita alla Legge 1° marzo 1968 n°186.

> Verifiche (DPR 462/01)

Ai sensi del **DPR 462/01**, il datore di lavoro ha l'obbligo di richiedere le verifiche periodiche, con frequenza quinquennale (effettuazione prima verifica dopo 5 anni dalla data riportata sulla DICO), allo scopo di verificare il mantenimento delle condizioni di sicurezza dell'impianto; le verifiche devono essere eseguite da Organismi di Ispe-

zione appositamente abilitati dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy (MIMIT), oltre che da ASL/ARPA territorialmente competenti.
Inoltre, attraverso l'applicativo CIVA deve essere comunicato ad INAIL il nominativo dell'organismo abilitato incaricato di svolgere le attività di verifica periodica (art.7-bis DPR 462/01).
in caso di esito negativo della verifica periodica o di modifiche sostanziali dell'impianto, deve essere effettuata una verifica straordinaria, sempre ad opera di un Organismo di Ispezione abilitato dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy (MIMIT) o ASL/ARPA.
Le verifiche obbligatorie per legge non hanno nulla a che vedere con la regolare manutenzione che il datore di lavoro è comunque tenuto ad effettuare registrando le operazioni svolte su modulistica che dovrà rimanere disponibile per almeno 5 anni (CEI 64-8), per questi interventi, il datore di lavoro può avvalersi di personale interno qualificato e/o imprese esterne qualificate.

CONCLUSIONI

Un impianto di protezione catodica non è fatto solo di anodi, alimentatori e cavi: dietro c'è un vero e proprio sistema elettrico che deve rispettare regole precise.
Le norme, le protezioni elettriche e le verifiche periodiche non sono un dettaglio burocratico, ma strumenti concreti per tutelare la sicurezza di chi lavora sugli impianti e la continuità del servizio.
Capire la differenza tra bassa e media tensione, conoscere i vari sistemi di distribuzione (TT, TN, IT) e applicare correttamente dispositivi come interruttori differenziali, messa a terra e scaricatori di sovratensione significa ridurre drasticamente il rischio di incidenti, anche mortali.
In sintesi, la protezione catodica funziona davvero solo se va di pari passo con un impianto elettrico progettato e mantenuto "a regola d'arte": è questo l'unico modo per coniugare sicurezza degli operatori, affidabilità delle strutture e rispetto della legge.

Installazione Coupon: dalle Norme all'Esperienza di Campo. Una procedura verificata per installazioni di successo

Ing. Ivano Magnifico – *AUTOMA srl*

INSTALLAZIONE COUPON: DALLE NORME ALL'ESPERIENZA DI CAMPO. UNA PROCEDURA VERIFICATA PER INSTALLAZIONI DI SUCCESSO

Ing. Ivano Magnifico - *Automa srl*

INTRODUZIONE

Nel panorama della protezione catodica italiana, stiamo vivendo un momento di grande evoluzione: nei prossimi anni avremo l'opportunità di installare, monitorare e far funzionare un numero crescente di sonde con coupon. Questa evoluzione tecnologica rappresenta un'occasione importante per migliorare l'efficacia del monitoraggio e ottenere dati più precisi e affidabili.

La domanda che naturalmente si pone ogni tecnico del settore è: come possiamo assicurarci che queste installazioni diano i migliori risultati fin dal primo intervento? L'esperienza maturata sul campo in questi anni ha portato allo sviluppo di una procedura di installazione che può fare la differenza per una installazione a regola d'arte e per il successo dei nostri progetti.

LE SFIDE DELL'INSTALLAZIONE: UN'ESPERIENZA COMUNE

Immaginiamo una situazione che molti di noi hanno vissuto: abbiamo selezionato

con cura la sonda migliore secondo quanto indicato dalla norma UNI 11094 e secondo il protocollo Apce, scelto addirittura quella che offre le prestazioni superiori rispetto alle specifiche richieste, l'abbiamo installata seguendo le procedure standard e collegata ad un ottimo dispositivo di monitoraggio remoto. Tutto sembra essere andato per il verso giusto.

Arriviamo in ufficio, accediamo al sistema per visualizzare i primi dati e ci troviamo di fronte a misure inaspettate: valori che sembrano anomali, letture che non corrispondono a quello che ci aspettavamo.

UM	Min	Med	Max	Mode	SQM	V...	TFSMin	TFSMax	NFSMin	NFSMax
Eoff	-0.484	-0.417	-0.313	-0.410	0.029		0	86400	0	1
Eon.dc	-3.753	-2.083	-1.194	-2.140	0.144		1	0	1	0
mIon	-0.009	+0.005	+0.023	+0.010	0.004		7430	0	6742	0
Eoff	-0.491	-0.422	-0.325	-0.410	0.028		0	86400	0	1
Eon.dc	-3.897	-2.085	-1.301	-2.170	0.136		2	0	2	0
mIon	-0.010	+0.005	+0.023	+0.010	0.004		7154	0	6513	0
Eoff	-0.499	-0.422	-0.327	-0.420	0.029		0	86400	0	1
Eon.dc	-3.753	-2.088	-1.421	-2.120	0.144		3	0	3	0
mIon	-0.013	+0.005	+0.026	0.000	0.004		12682	0	10250	0
Eoff	-0.506	-0.424	-0.319	-0.420	0.031		0	86400	0	1
Eon.dc	-3.448	-2.092	-1.310	-2.130	0.141		0	0	0	0
mIon	-0.012	+0.005	+0.023	+0.010	0.004		10769	0	9093	0
Eoff	-0.509	-0.425	-0.325	-0.420	0.030		0	86400	0	1
Eon.dc	-2.485	-2.075	-1.243	-2.140	0.133		0	0	0	0
mIon	-0.023	+0.004	+0.023	0.000	0.005		15522	0	10869	0
Eoff	-0.548	-0.425	-0.319	-0.420	0.032		0	86400	0	1
Eon.dc	-4.065	-2.083	-0.918	-2.150	0.315		1431	0	1431	0
mIon	-0.015	+0.004	+0.023	0.000	0.004		12888	0	10414	0

La prima reazione è naturale: cosa è successo? Siamo davvero non conformi? In realtà, in questi casi, la spiegazione è spesso più semplice di quanto sembri: il coupon potrebbe non essere in perfetto contatto con il terreno. È una situazione che può capitare e la buona notizia è che si può evitare facilmente. Non c'è motivo di allarmarsi: abbiamo fatto l'investimento giusto, installato la strumentazione corretta e ora dobbiamo semplicemente assicurarci che funzioni al meglio.

Quando si presenta questa situazione, il costo per una verifica e un eventuale adeguamento dell'installazione si può aggirare intorno a qualche centinaio euro per punto di misura. Considerando il numero crescente di installazioni previste nei prossimi anni, vale la pena investire qualche minuto in più durante la prima installazione per evitare questi inconvenienti.

LA SOLUZIONE: PREVENIRE È MEGLIO CHE CURARE

La domanda cruciale diventa: esiste un modo per essere sicuri che quando facciamo il lavoro la prima volta, lo facciamo a regola d'arte? La risposta è sì e la soluzione è più semplice di quanto si possa pensare.

Quello che proponiamo in questo focus è una procedura di installazione delle sonde con una checklist di avvio che è stata provata, sperimentata e perfezionata in campo nel corso di diversi anni. L'obiettivo è garantire, con pochi minuti aggiuntivi durante l'installazione per fare un paio di controlli supplementari, che il coupon venga installato correttamente.

La matematica è semplice: è meglio investire 5 minuti in più durante l’installazione (che già richiede tempo considerevole) o spendere 1.000 euro per rifare il lavoro? La scelta appare ovvia, ma spesso la pressione dei tempi e la routine possono portare a saltare questi controlli fondamentali.

IL RUOLO DEI COUPON NELLA PROTEZIONE CATODICA

Prima di entrare nel dettaglio della procedura, è importante comprendere quando e perché utilizziamo i coupon. La misura del potenziale su coupon diventa necessaria quando effettuare la misura OFF direttamente sulla struttura non è possibile o affidabile.

Le situazioni più comuni includono:

- Zone soggette a correnti vaganti (o telluriche su alcune latitudini);
- Presenza di strutture complesse;
- Mutua interferenza tra diversi sistemi di protezione catodica;
- Presenza di correnti di equalizzazione tra difetti adiacenti (abbastanza tipico quando andiamo a fare una misura off sulla struttura);
- Ove non sia possibile spegnere in maniera sincronizzata gli alimentatori (in presenza di più alimentatori all’interno del sistema di protezione catodica).

Oltre alla verifica dell’efficacia della protezione catodica (e del rischio di sovraprotezione), i coupon sono richiesti anche per la misura e valutazione delle densità di corrente, sia in continua che in alternata.

Le normative europee e internazionali specificano chiaramente questi requisiti:

- CEI EN 50162: Protezione contro la corrosione da correnti vaganti causate dai sistemi elettrici a corrente continua
- UNI EN ISO 21857: Industria petrolifera, petrolchimica e del gas naturale – Prevenzione della corrosione su sistemi di condotte influenzate da correnti vaganti
- ISO 18086: Corrosione dei metalli e loro leghe - Determinazione della corrosione in corrente alternata - Criteri di protezione.

LA NORMA ISO 22426: UN QUADRO DI RIFERIMENTO

Nel 2020 è stata pubblicata la norma ISO 22426, dedicata specificamente alla verifica dell'efficacia della protezione catodica basata su misure su coupon. Questa norma rappresenta un punto di riferimento fondamentale perché specifica tutti i requisiti per la progettazione, installazione, posizionamento, dimensionamento, uso e manutenzione dei coupon.

Una premessa fondamentale: nella norma ISO 22426 il termine "coupon è utilizzato sia per indicare il coupon a sé stante (un oggetto separato dall'elettrodo di riferimento), sia per designare la sonda (elettrodo di riferimento con coupon integrato). In questo focus con il termine coupon si intendono invece solo le sonde. Tuttavia, le indicazioni riportate in merito alle procedure per garantire il corretto contatto della superficie metallica del coupon con il terreno possono essere applicate anche ai

coupon a sé stanti. Un concetto chiave per comprendere il funzionamento dei coupon è quello della *"Spread Resistance"*. Questa rappresenta la resistenza ohmica dalla superficie metallica esposta del coupon verso la terra remota e controlla la corrente (ca o cc) che circola attraverso il coupon (o di un difetto del rivestimento) ad una determinata tensione (ca o cc).

LA SCELTA DELLA DIMENSIONE: UN COMPROMESSO STRATEGICO

La dimensione del coupon non è una scelta casuale, ma deve essere calibrata in base allo scopo della verifica e al tipo di analisi che vogliamo effettuare.

In generale, aumentando la dimensione del coupon si ottiene una densità di corrente media inferiore: questo avviene perché la *"Spread Resistance"* aumenta linearmente all'aumentare del diametro del coupon, mentre la densità di corrente diminuisce linearmente all'aumentare dell'area della superficie del coupon stesso.

Per l'analisi dell'efficacia della protezione catodica, la condizione conservativa richiede che il coupon riceva meno corrente di un difetto reale. Per questo motivo, la dimensione del coupon deve essere maggiore dei difetti attesi sulla struttura.
Se il coupon è protetto e rispetta i criteri di polarizzazione, anche i difetti reali la cui dimensione risulti inferiore a quella scelta per il coupon saranno protetti.

Al contrario, per verificare livelli di densità di corrente (come nel caso della corrosione alternata), la condizione conservativa richiede un coupon più piccolo possibile

per sovrastimare la corrente. Per questo motivo la norma ISO 18086 specifica che, per la valutazione del rischio di corrosione alternata, il coupon deve essere di 1 cm^2.

POSIZIONAMENTO E INSTALLAZIONE: I DETTAGLI FANNO LA DIFFERENZA

Il posizionamento del coupon rappresenta uno degli aspetti più critici dell’intero processo. La norma indica che il coupon dovrebbe essere posizionato in prossimità della struttura per garantire condizioni del terreno simili a quelle della struttura da controllare.

Questa indicazione, apparentemente semplice, nasconde in realtà complessità operative interessanti. Nel contesto italiano dei prossimi anni, molte installazioni non saranno nuove posa di tubazioni, ma retrofitting di sistemi esistenti. Questo significa poter aggiornare elettrodi esistenti con elettrodi dotati di coupon, spesso in condizioni logistiche che richiedono creatività operativa.

Pensiamo a un tubo che passa al centro di una strada cittadina: risulterebbe molto più pratico installare il coupon sul marciapiede piuttosto che interrompere la circolazione. La norma permette questa soluzione, purché il terreno sia *“selezionato”*.

Una volta definita la posizione, l’installazione deve essere effettuata in modo da essere quanto più rappresentativa possibile delle condizioni di un difetto reale. Idealmente, il coupon dovrebbe essere installato nello stesso tipo di terreno della struttura. Tuttavia, considerando che una tubazione installata da anni può aver

perso nel tempo le caratteristiche originali del letto di posa a causa di infiltrazioni d'acqua o altri lavori, è sufficiente che il riempimento scelto a contatto con il coupon garantisca una condizione conservativa rispetto al tipo di analisi che si vuole effettuare.

LA MESSA IN SERVIZIO: VERIFICHE FONDAMENTALI PER IL SUCCESSO

Una volta completata l'installazione fisica del coupon, è necessario verificare che il sistema funzioni correttamente attraverso una serie di misure specifiche. La norma ISO 22426 fornisce indicazioni precise su questa fase cruciale, distinguendo tra misure da effettuare prima e dopo il collegamento del coupon alla struttura.

Può capitare, a volte, di dover installare un coupon anche su strutture che non dispongono ancora di una protezione catodica attiva. In questi casi sorge spesso il dubbio se il coupon debba essere collegato subito alla struttura oppure lasciato scollegato, in attesa dell'attivazione della protezione catodica.

Come regola generale, per consentire al coupon di funzionare da subito come se fosse un difetto reale della struttura, esso deve sempre essere collegato alla struttura, anche in assenza di protezione catodica. Fanno eccezione i casi in cui, per specifica aziendale o su indicazione del responsabile del progetto, sia richiesto di lasciarlo scollegato. Ciò può avvenire, ad esempio, negli impianti di protezione catodica eserciti a potenziale costante, dove è necessario prima effettuare nuovamente il

collaudo per stabilire il nuovo setpoint di regolazione, considerando che il potenziale On con coupon scollegato e il potenziale "E_{sonda}" con coupon collegato possono differire in maniera significativa.

VERIFICHE PRE-COLLEGAMENTO

Prima di collegare il coupon alla struttura da proteggere, devono essere effettuate le seguenti misure:

- **Potenziale dell'elettrodo permanente** rispetto a un elettrodo di riferimento portatile. In questa tipologia di controllo occorre tuttavia considerare che entrano in gioco diversi parametri non sempre controllabili, come le correnti interferenti, la corrente degli impianti di protezione catodica della struttura su cui si sta installando la sonda e il contatto dell'elettrodo portatile con il terreno.
- **Potenziale di libera corrosione del coupon** scollegato dalla struttura
- **Potenziale ON della struttura in protezione catodica** con coupon ancora scollegato
- **Spread Resistance del coupon** utilizzando un misuratore di resistenza alternata tra coupon e struttura, quando possibile
- **Resistività del terreno** in prossimità del coupon, quando possibile.

Queste misure forniscono informazioni fondamentali sulle condizioni iniziali del sistema e permettono di identificare eventuali anomalie prima della messa in servizio.

VERIFICHE POST-COLLEGAMENTO

Dopo aver collegato il coupon alla struttura, il protocollo prevede l'esecuzione delle seguenti misure:

- **Corrente alternata del coupon**
- **Corrente continua del coupon**
- **Potenziale ON** della struttura con coupon collegato (E_{sonda}/E_{coupon})
- **Potenziale IR-Free**

MONITORAGGIO NEL TEMPO

Le misurazioni dovrebbero essere ripetute dopo un periodo sufficiente di polarizzazione. L'utilizzo di dispositivi di monitoraggio remoto offre il vantaggio di poter acquisire la misura iniziale e poi ricevere dati quotidiani, permettendo di valutare l'evoluzione del sistema nel tempo.

È importante considerare che esiste sempre un periodo iniziale, la cui durata dipende dal tipo di terreno, dalle condizioni meteorologiche e da altri fattori ambientali, durante il quale il coupon appena installato si polarizza gradualmente fino a raggiungere le condizioni di equilibrio.

DOCUMENTAZIONE: LA CHIAVE PER IL FUTURO

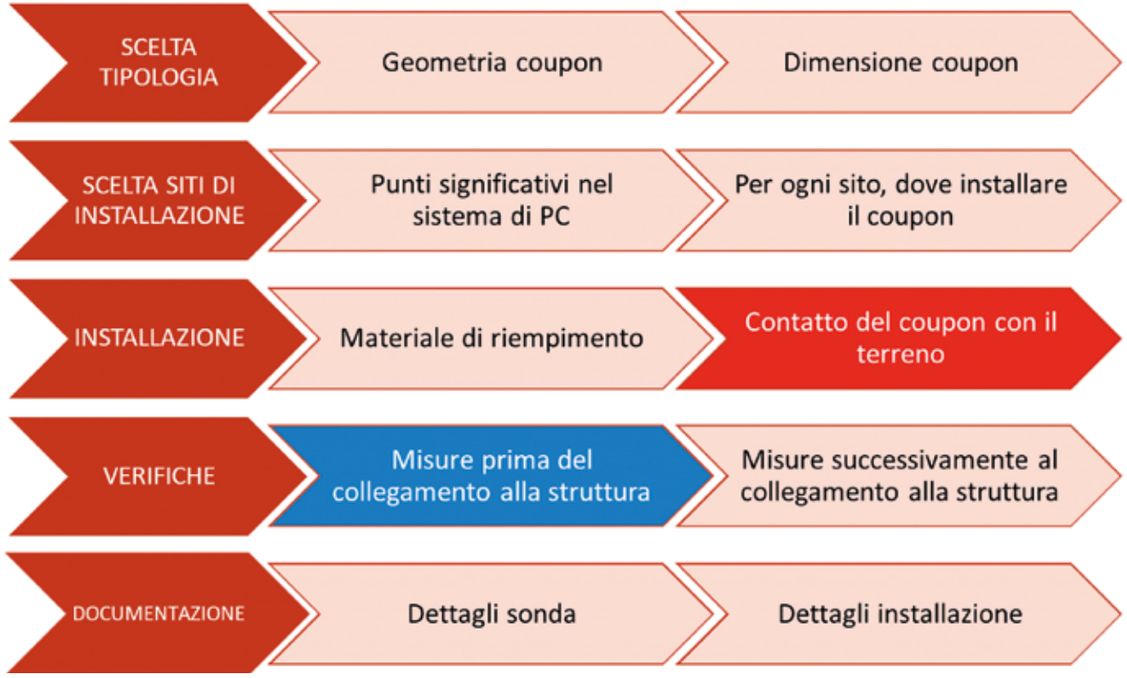
Un aspetto spesso sottovalutato ma fondamentale è la documentazione completa di tutte le attività di installazione.

La norma specifica che devono essere registrati:

- Data e ora di installazione
- Tipo e dimensioni del coupon utilizzato
- Disegno del posizionamento del coupon nel terreno e rispetto alla struttura
- Profondità e distanza di installazione
- Tutte le misurazioni effettuate prima e dopo la messa in servizio
- Descrizione dettagliata dell'installazione

Questa documentazione diventa il riferimento per tutti i controlli successivi che verranno effettuati su quel punto di misura.
La qualità e completezza delle informazioni raccolte durante la prima installazione determineranno l'efficacia del monitoraggio a lungo termine e faciliteranno eventuali interventi futuri di manutenzione o troubleshooting.

Il seguente schema riassume la procedura e le raccomandazioni indicate nella norma ISO 22426.



IL PUNTO CHIAVE: IL CONTATTO CON IL TERRENO

Il punto chiave dell'intero processo è garantire che il coupon mantenga un perfetto contatto con il terreno circostante. Questo contatto deve essere mantenuto nel tempo, resistendo a variazioni di temperatura, umidità, assestamenti del terreno e altri fattori ambientali.

La norma specifica che il terreno deve essere compattato in modo da evitare cedimenti e sacche d'aria. Questo aspetto, apparentemente banale, è in realtà la causa principale dei problemi che si possono riscontrare nelle installazioni mal riuscite: la buona notizia è che la soluzione è davvero molto semplice, ed è l'integrazione alla procedura richiesta dalla norma oggetto proprio di questo focus.

LA PROCEDURA VERIFICATA: DALL'ESPERIENZA ALLA PRATICA

L'esperienza maturata in campo ha portato allo sviluppo di una procedura che integra i requisiti normativi con verifiche aggiuntive pratiche. La procedura si articola in diverse fasi, ciascuna con controlli specifici.

FASE 1: VERIFICA PRELIMINARE IN ACQUA

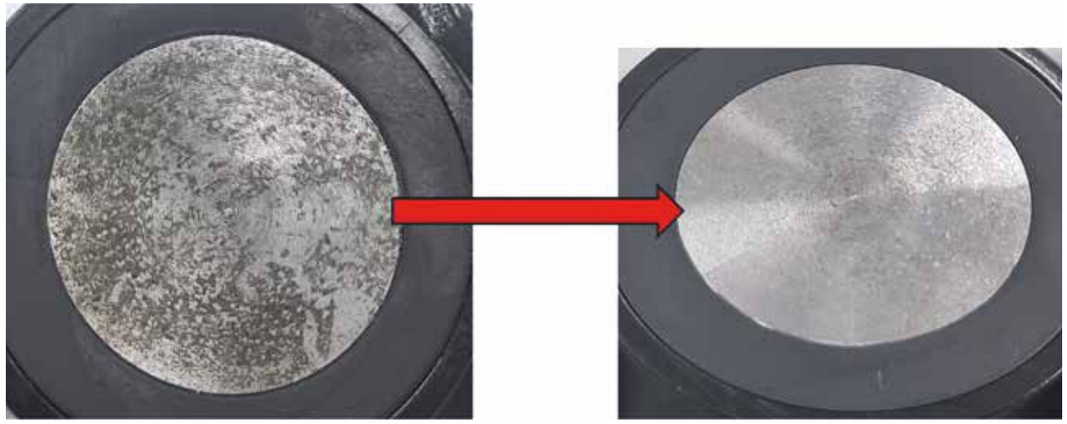
Prima di procedere con l'installazione vera e propria, è fondamentale effettuare una verifica preliminare dell'elettrodo immerso in acqua. Questa fase di attivazione iniziale, spesso trascurata ma in realtà richiesta da tutti i produttori di sonde e di elettrodi di riferimento in generale, può rivelare immediatamente possibili criticità che altrimenti si manifesterebbero solo dopo l'installazione. Per questo motivo è fondamentale leggere con attenzione le istruzioni fornite dal produttore della sonda, in particolare quelle relative al tempo minimo di permanenza in acqua richiesto per la prima attivazione dell'elettrodo.

Durante questa fase vengono effettuate due misure cruciali:

- Offset in mV rispetto a un elettrodo di riferimento portatile calibrato
- Potenziale tra ciascun coupon e l'elettrodo di riferimento in acqua

La prima misura è molto più accurata se effettuata direttamente in acqua al termine del periodo di attivazione piuttosto che nel terreno, specialmente in presenza di interferenze elettriche significative. La seconda misura serve a identificare la presenza di eventuali film di ossido o altri contaminanti, magari accumulatisi sulla superficie del coupon durante la sua conservazione prima dell'installazione: questi normalmente tendono a rimuoversi da soli una volta interrata la sonda, ma c'è una probabilità non nulla che invece il film rimanga sul coupon e porti a mantenere il coupon isolato dal terreno, con i risultati visti all'inizio. Per questo motivo è sempre raccomandato pu-

lire la superficie dei coupon prima dell’attivazione, in modo da rimuovere eventuale sporcizia o ossidazione accumulata durante la fase di conservazione in magazzino della sonda.



L’esperienza e diverse verifiche in campo durante l’installazione delle sonde hanno dimostrato che coupon con valori più negativi (in acqua) di -500 mV CSE possono essere considerati generalmente puliti in buone condizioni. Valori meno negativi possono indicare la presenza di film di ossido che, se identificato in questa fase, può essere facilmente ed immediatamente rimosso con una leggera pulizia meccanica.

Nelle immagini di seguito due esempi di verifica su degli elettrodi con doppio coupon:

- Nel primo caso entrambi i coupon erano perfettamente puliti
- Nel secondo caso il coupon da 1 cm^2 presentava un valore più positivo di -500 mV CSE: passando leggermente i puntali stessi del multimetro sulla superficie del coupon per rimuovere i residui del film e ripetendo subito la misura, il valore risultava immediatamente più negativo.

Coupon 1 cm^2
-0,705 V CSE

Coupon 10 cm^2
-0,681 V CSE

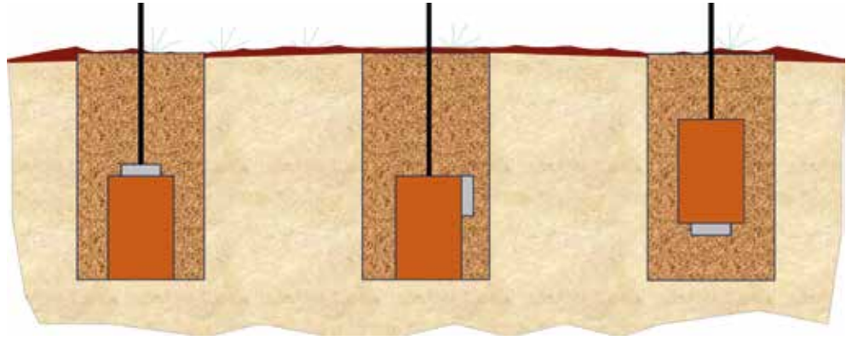
Coupon 10 cm^2
-0,558 V CSE

Coupon 1 cm^2 #1
-0,428 V CSE

Coupon 1 cm^2 #2
-0,518 V CSE

FASE 2:
INSTALLAZIONE E COMPATTAZIONE

La fase di installazione fisica richiede particolare attenzione al posizionamento e alla compattazione del terreno. Un aspetto a volte sottovalutato riguarda l'orientamento del coupon rispetto al terreno.



Se il coupon è orientato verso l'alto o lateralmente, l'installazione è relativamente semplice: si posiziona l'elettrodo fino in fondo allo scavo effettuato e si procede con l'interramento. Se invece il coupon è orientato verso il basso, è necessario prima riempire parzialmente lo scavo con terreno morbido, per poi posizionare l'elettrodo e continuare con la compattazione, in modo da evitare che il coupon sia a contatto diretto con il terreno duro e si possano creare delle bolle d'aria che successivamente non si riempiano durante l'interramento.

Il processo di compattazione del terreno al termine dell'interramento è il punto cruciale per garantire l'ottimo funzionamento della sonda: il modo più semplice per assicurare un contatto col terreno che possa essere duraturo e resistente anche ai micromovimenti del terreno, si ottiene alternando il riempimento dello spazio vuoto attorno all'elettrodo con terreno (anche quello rimosso durante lo scavo facendo attenzione a rimuovere eventuali corpi solidi) e acqua (per esempio la stessa utilizzata durante l'attivazione dell'elettrodo). La compattazione deve essere eseguita con cura, utilizzando strumenti appropriati per garantire che il terreno attorno al coupon sia veramente compatto. Una volta interrato completamente il corpo della sonda, della quale deve sporgere dal terreno solo il cavo, si può procedere alla fase successiva di verifica.

FASE 3:
VERIFICA POST-INTERRAMENTO

A questo punto, dopo aver effettuato l'installazione e la compattazione, ma prima di riempire completamente lo scavo, è fondamentale effettuare una verifica immediata del potenziale dei coupon, quando solo la parte superiore dei cavi della sonda è fuori terra.

Questo è il secondo punto in aggiunta alla procedura descritta nella ISO 22426, qui si va a misurare di nuovo il potenziale dei coupon per verificare che il contatto con il terreno sia effettivo. In presenza di un corretto interramento, si misureranno dei potenziali simili a quelli di libera corrosione (essendo appena stato interrato, non potrà già essere il potenziale di libera corrosione).

Valori di potenziale nell'ordine di -0,1/-0,2 V indicheranno invece che chiaramente il coupon non è in contatto corretto con il terreno.

In questo caso, essendo l'elettrodo appena interrato, la sua estrazione diventa una operazione facile e rapida, e permette di ripetere subito la procedura di compattazione, effettuandola stavolta con maggiore attenzione.

Ovviamente, molto più complesso sarebbe stato identificare questa situazione una volta chiuso completamente lo scavo: in quel caso il tempo necessario al ripristino della condizione ottimale sarebbe stato ben maggiore del tempo necessario per effettuare le misure di controllo appena descritte.

UN CASO STUDIO:
L'ESPERIENZA MALESE

L'efficacia di questa procedura è stata dimostrata in un progetto internazionale particolarmente sfidante. Nel novembre 2019, durante una collaborazione con Petronas in Malesia, si è reso necessario formare tecnici locali all'installazione di elettrodi con coupon, una tecnologia che non avevano mai utilizzato.

La sfida è diventata ancora più complessa con l'arrivo del COVID-19 nel febbraio 2020, che ha reso impossibile la formazione in presenza. Tutte le spiegazioni e il supporto tecnico hanno dovuto essere forniti da remoto.

Nelle prime dieci installazioni, circa la metà presentava problemi di misura simili a quelli mostrati all'inizio di questo articolo. La soluzione è stata fornire ai tecnici locali una checklist dettagliata basata sulla procedura sviluppata, che potessero utilizzare per effettuare tutte le verifiche necessarie.

I risultati sono stati sorprendenti: nel corso di quattro anni sono stati installati più di 200 dispositivi, e i problemi iniziali non si sono più ripresentati, confermando l'efficacia della procedura.

PROBLEMI COMUNI E SOLUZIONI

L'esperienza ha evidenziato alcuni problemi ricorrenti che vale la pena analizzare:

- **Il Problema dell'Ossidazione**
  > Durante la conservazione in magazzino, i coupon possono sviluppare sottili film di ossido che, pur essendo spesso invisibili, possono compromettere il contatto elettrico. La verifica in acqua descritta permette di identificare e risolvere questo problema prima dell'installazione.
- **Il Problema del Posizionamento**
  > Un coupon posizionato su superficie rigida (fondo scavo) e poi coperto con terreno morbido può creare spazi vuoti che compromettono il contatto. La soluzione è creare sempre un letto di terreno morbido sotto il coupon.
- **Il Problema della Compattazione Inadeguata**
  > Una compattazione insufficiente può portare a cedimenti successivi e formazione di sacche d'aria. L'utilizzo dell'acqua insieme al terreno per migliorarne la compattazione e la verifica immediata dei potenziali dei coupon aiutano a identificare le situazioni di non perfetto contatto dei coupon con il terreno, in una fase dell'installazione che ne rende la risoluzione facile ed immediata.

CONSIDERAZIONI ECONOMICHE

L'analisi costi-benefici di questa procedura è inequivocabile. I pochi minuti aggiuntivi richiesti per le verifiche preliminari rappresentano un investimento minimo rispetto al costo necessario per rifare un'installazione mal riuscita.

Considerando che l'installazione di un coupon è già un'operazione che richiede un certo tempo (considerando soprattutto l'attività di scavo), l'incremento percentuale è trascurabile. Inoltre, il costo di una seconda visita include non solo il tempo dei tecnici, ma anche i costi di trasferta, l'uso di attrezzature e l'eventuale disagio.

IMPLICAZIONI PER IL FUTURO

Con l'incremento previsto delle installazioni di coupon in Italia, l'adozione di procedure standardizzate diventa sempre più importante. La formazione dei tecnici su queste procedure può essere la chiave per il successo di questi progetti su larga scala.

La procedura descritta non rappresenta solo un insieme di controlli aggiuntivi, ma un cambio di approccio culturale che privilegia la prevenzione rispetto alla correzione.

RACCOMANDAZIONI PER L'IMPLEMENTAZIONE

Per implementare efficacemente questa procedura, si raccomanda:

1. **Formazione del personale**: Tutti i tecnici coinvolti nelle installazioni devono essere formati sulla procedura e sulla sua importanza

2. **Standardizzazione della documentazione**: Utilizzare checklist standardizzate per garantire consistenza tra diverse installazioni
3. **Controllo qualità**: Implementare controlli a campione per verificare l'aderenza alla procedura
4. **Aggiornamento continuo**: Raccogliere feedback dal campo per migliorare continuamente la procedura.

CONCLUSIONI

L'installazione dei coupon rappresenta oggi un'area di crescita importante per il settore della protezione catodica. La procedura descritta, sviluppata e arricchita attraverso anni di esperienza collaborativa sul campo, offre un supporto concreto per valorizzare le competenze dei tecnici e ottimizzare i risultati delle installazioni.

Il tempo aggiuntivo dedicato alle verifiche preliminari rappresenta un investimento intelligente che può prevenire la necessità di interventi successivi, con evidenti benefici sia in termini di efficienza operativa che di qualità del risultato ottenuto. In un settore dove la qualità e l'affidabilità costituiscono il valore distintivo del nostro lavoro, strumenti come questa checklist rappresentano un'evoluzione naturale verso standard sempre più elevati.

L'implementazione di questa procedura si integra perfettamente con le competenze esistenti dei nostri tecnici, valorizzando la loro esperienza senza richiedere investimenti significativi in nuove attrezzature o formazioni complesse. Si tratta piuttosto di sistematizzare best practice già note, creando un framework che supporta il tecnico nelle decisioni operative più critiche.

L'esperienza maturata dimostra che quando i tecnici hanno a disposizione strumenti operativi chiari e verificati, i risultati migliorano sensibilmente. La checklist proposta non sostituisce l'esperienza professionale, ma la completa, offrendo un riferimento pratico che aiuta a non trascurare aspetti che potrebbero sembrare secondari ma che si rivelano determinanti per il successo dell'installazione.

Il futuro della protezione catodica italiana si costruisce valorizzando l'esperienza dei nostri professionisti e fornendo loro strumenti sempre più efficaci. L'adozione di procedure collaborative come questa rappresenta un passo importante verso un settore più maturo, dove la condivisione delle best practice diventa un vantaggio competitivo per tutti.

CHECKLIST DI INSTALLAZIONE SONDA CON COUPON

Fase Preliminare (Sonda in Acqua)

- Attivazione elettrodo per il tempo minimo specificato dal produttore
- Misura offset elettrodo vs. riferimento portatile calibrato
- Misura potenziale coupon vs. riferimento (atteso < -500 mV CSE)
- Verifica visiva pulizia coupon
- Eventuale pulizia meccanica se necessaria

Fase di Installazione

- Verifica orientamento coupon
- Preparazione letto di posa (se coupon orientato verso il basso)
- Posizionamento elettrodo
- Compattazione alternata terreno/acqua
- Compattazione finale fino alla sommità dell’elettrodo

Fase di Verifica

- Misura potenziale coupon con elettrodo sommerso
- Verifica valori accettabili
- Interramento definitivo
- Misura potenziale ON (ancora a coupon scollegato)
- Misura potenziale di libera corrosione del coupon

Fase di Collegamento

- Collegamento coupon alla struttura
- Misura potenziale Esonda (struttura con coupon collegato)
- Misura corrente di polarizzazione
- Misura potenziale OFF (instant-off su coupon)
- Verifica finale parametri
- Documentazione completa installazione

Documentazione Richiesta

- Data e ora installazione
- Tipo e dimensioni coupon
- Disegno posizionamento
- Profondità e distanza dalla struttura
- Tutte le misure effettuate
- Descrizione dettagliata installazione
- Condizioni ambientali
- Personale coinvolto

Codice PdM				
Data installazione				
Produttore sonda				
Modello sonda				
n° di coupon				
Forma coupon #1				
Superficie coupon #1				
Forma coupon #2				
Superficie coupon #2				
Forma coupon #3				
Superficie coupon #3				
Verifiche preliminari agg.	***Offset in acqua da elettrodo calibrato***			
		Coupon 1	*Coupon 2*	*Coupon 3*
Verifiche preliminari agg.	***Pot. in acqua***			
Verifiche preliminari agg.	***Pot. Libera corrosione appena interrato***			
Verifiche preliminari	Pot. Libera corrosione			
Messa in servizio	Pot. On			
Messa in servizio	Pot. On coupon collegato (Ecoupon / Esonda)			
Messa in servizio	Corrente coupon DC			
Messa in servizio	Corrente coupon AC			
Messa in servizio	Pot. Off coupon			
Disegno e descrizione installazione				

Carica elettrochimica ed infragilimento da idrogeno di acciai al carbonio e basso legati per applicazioni Oil & Gas

Ing. Luca Paterlini, Fabio Maria Bolzoni, Marco Ormellese e Giorgio Re
Politecnico di Milano

CARICA ELETTROCHIMICA ED INFRAGILIMENTO DA IDROGENO DI ACCIAI AL CARBONIO E BASSO LEGATI PER APPLICAZIONI OIL & GAS

Ing. Luca Paterlini, Fabio Maria Bolzoni, Marco Ormellese e Giorgio Re
Dipartimento di Chimica Materiali ed Ingegneria Chimica “Giulio Natta”
Politecnico di Milano

INTRODUZIONE

La decarbonizzazione del settore energetico ha negli ultimi decenni posto l’idrogeno al centro dell’attenzione mondiale come vettore energetico strategico a basso impatto ambientale. La sua versatilità come combustibile a basso impatto e mezzo di accumulo di energia lo rende infatti un elemento chiave nelle reti energetiche del futuro. Tuttavia, le sue proprietà chimiche e fisiche pongono una serie di nuove sfide nella selezione e qualifica dei materiali coinvolti nel suo trasporto e stoccaggio. L’infragilimento da idrogeno, ovvero la degradazione delle prestazioni meccaniche dovuta all’assorbimento di idrogeno nelle strutture metalliche, rimane infatti una delle principali barriere alla distribuzione sicura e su larga scala dell’idrogeno gassoso.

Gli acciai per condotte, prevalentemente acciai al carbonio e basso legati standardizzati secondo le specifiche API, rappresentano un pilastro della filiera Oil & Gas e sono attualmente considerati validi candidati per il trasporto e lo stoccaggio dell’i-

drogeno. La buona resistenza meccanica, il basso costo e la facilità di produzione su larga scala li rende infatti competitivi a livello industriale. Tuttavia, la loro suscettibilità all'infragilimento da idrogeno può compromettere significativamente l'affidabilità delle condotte e dei serbatoi.

Il fenomeno è studiato da decenni ed è noto per ridurre la duttilità, la tenacità e la resistenza alla propagazione delle cricche. I meccanismi coinvolti sono molteplici (Hydrogen Enhanced Local Plasticity "HELP", Adsorption-induced Dislocation Emission "AIDE" and Hydrogen Enhanced Decohesion Emission "HEDE") e spesso interdipendenti: l'idrogeno può infatti indebolire i legami atomici del reticolo, favorire la plasticità localizzata o indurre l'emissione di dislocazioni in corrispondenza dell'apice di cricca. In tutti i casi, l'effetto finale consiste in una riduzione dello sforzo o dell'energia necessaria per l'innesco e la propagazione della cricca *(Figura 1)*.

Dal punto di vista industriale, la sfida è ulteriormente aggravata dai costi e dalla complessità dei metodi convenzionali di qualificazione per il servizio in idrogeno. Le prove in-situ in idrogeno ad alta pressione rappresentano l'approccio standard, ma richiedono autoclavi specializzate, rigorose misure di sicurezza e lunghi tempi sperimentali. Queste limitazioni ostacolano una caratterizzazione sistematica della compatibilità dei materiali e complicano ulteriormente la progettazione di una nuova infrastruttura dedicata all'idrogeno. Per ovviare a tali criticità, lo studio presentato esplora la carica elettrochimica di idrogeno come approccio complementare.

Questa tecnica consente di introdurre idrogeno atomico negli acciai in modo control-

lato, permettendo l'esecuzione di prove meccaniche convenzionali in aria, evidenziando comunque l'influenza dell'idrogeno assorbito sulle prestazioni meccaniche delle leghe studiate. Il lavoro integra questa metodologia sperimentale con la modellazione della diffusione mediante modelli ad elementi finiti ed analisi della frattura, con l'obiettivo di comprendere e quantificare l'infragilimento da idrogeno in acciai di rilevanza industriale.

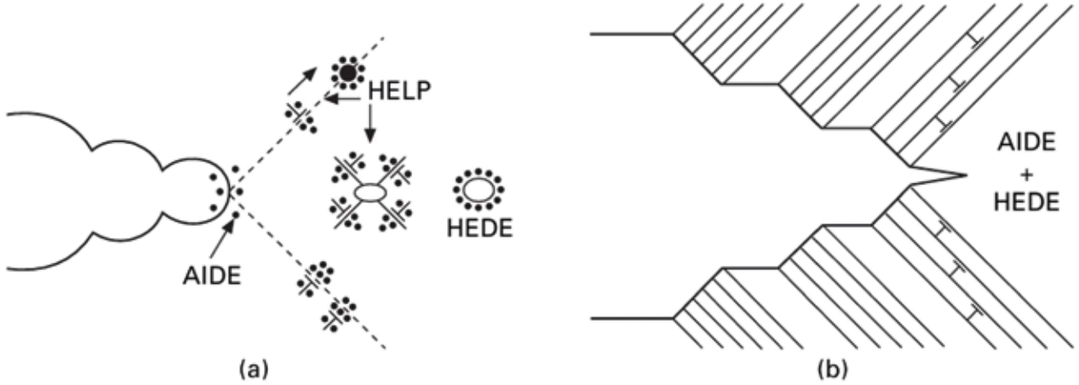


Figura 1 – Rappresentazione schematica dei meccanismi ibridi di infragilimento da idrogeno (HE).
a) Meccanismo AIDE con il contributo di HELP e HEDE nella zona antistante all'apice della cricca.
b) Alternanza tra i meccanismi AIDE e HEDE.

MATERIALI E METODI

Gli acciai oggetto dello studio coprono un ampio spettro di applicazioni nel settore Oil & Gas. Tra questi figurano gradi per condotte come l'API 5L X60, analizzato sia in una versione vintage di produzione negli anni '60 (d'ora in avanti denominata X60 Vintage), sia in una variante moderna ottenuta mediante processo termomeccanico controllato (d'ora in avanti X60 TMCP); sono inoltre inclusi acciai da valvole e flange, come l'A694 F65 (F65) e l'A350 LF2 (LF2). L'acciaio 4140, sia a seguito di trattamento di tempra e rinvenimento (4140 Q&T) che di ricottura (4140 annealed) è stato considerato per rappresentare applicazioni per tubazioni e componenti ad alta resistenza, mentre l'API 5CT T95 (T95) è stato scelto per la sua rilevanza come materiale per incamiciature in ambienti "sour". L'insieme dei materiali analizzati copre quindi un intervallo che va da microstrutture ferritico-perlitiche fino alla martensite rinvenuta, rappresentativo della gamma di acciai attualmente impiegati in condotte per il trasporto del gas naturale e pozzi petroliferi.

L'introduzione dell'idrogeno nelle leghe è avvenuta mediante carica elettrochimica, sfruttando la reazione di evoluzione dell'idrogeno, in modo analogo alla sovraprotezione catodica; una rappresentazione schematica dell'apparato di carica elettrochimica impiegato nello studio è riportata in *Figura 2*. I campioni metallici sono stati immersi in soluzioni elettrolitiche acide e polarizzati catodicamente per favorire la formazione di idrogeno atomico e promuoverne l'assorbimento nel reticolo cristallino dell'acciaio. All'elettrolita è stato aggiunto triossido di arsenico come veleno di

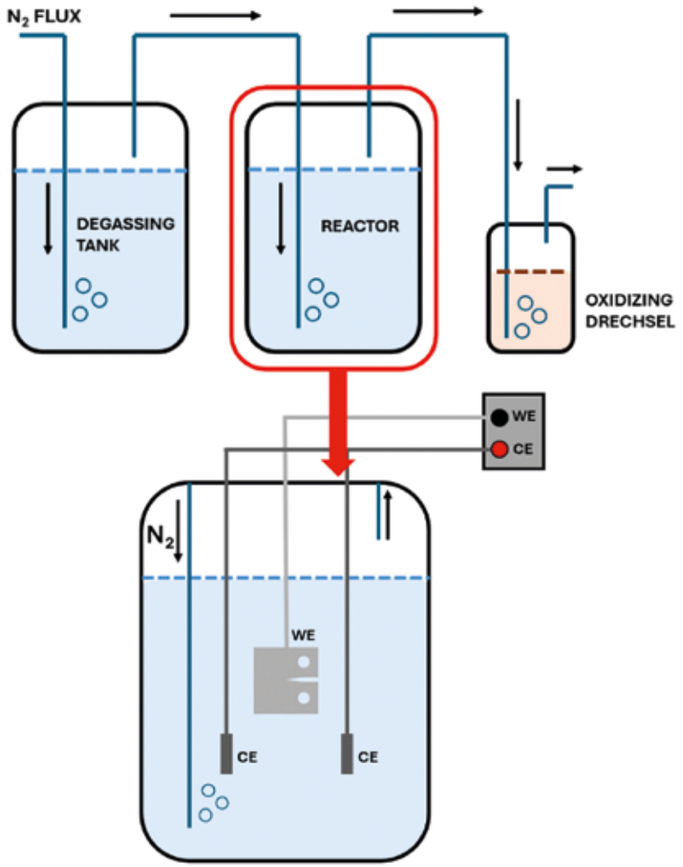


Figura 2 – Rappresentazione schematica dell'apparato di carica elettrochimica dell'idrogeno nella parte superiore; dettaglio della cella del reattore nella parte inferiore

ricombinazione, al fine di aumentare il tempo di permanenza degli atomi di idrogeno sulla superficie ostacolandone la ricombinazione in molecole di H_2 e quindi incrementandone la frazione assorbita.

Attraverso il controllo della densità di corrente e della durata della carica, la concentrazione di idrogeno assorbito è stata modulata per simulare differenti condizioni operative, dall'idrogeno ad alta pressione fino ai casi di *"sour service"*. Per garantire un'adeguata uniformità nella distribuzione dell'idrogeno all'interno dei campioni metallici, sono state condotte analisi agli elementi finiti (FEM) basate sui coefficienti di diffusione dell'idrogeno determinati da prove di permeazione elettrochimica.

Queste ultime, eseguite in celle elettrochimiche di tipo Devanathan–Stachurski secondo la norma ISO 17081, hanno permesso di misurare i coefficienti apparenti di diffusione dell'idrogeno nelle diverse leghe, includendo quindi anche l'effetto dei siti di intrappolamento microstrutturali (bordi grano, inclusioni, dislocazioni, ecc…) oltre alla pura diffusione reticolare. La rappresentazione schematica dell'apparato sperimentale di permeazione elettrochimica è riportata in *Figura 3*.

Le prove meccaniche sono state poi eseguite sui provini pre-caricati con idrogeno dal Dipartimento di Meccanica (DMEC) del Politecnico di Milano. Le concentrazioni di idrogeno assorbite sono state quantificate prima delle prove mediante estrazione in glicerolo. Le prove di trazione hanno permesso di valutare il carico di snervamento, il carico a rottura, l'allungamento e la riduzione di area, mentre la tenacità a frattura è stata misurata con metodi di integrale-J su provini compact tension (CT) e single-edge notched bending (SENB). Infine, le analisi frattografiche, condotte sugli stessi provini mediante microscopia elettronica a scansione (SEM), hanno fornito informazioni dirette sui meccanismi di frattura attivati dalla presenza di idrogeno.

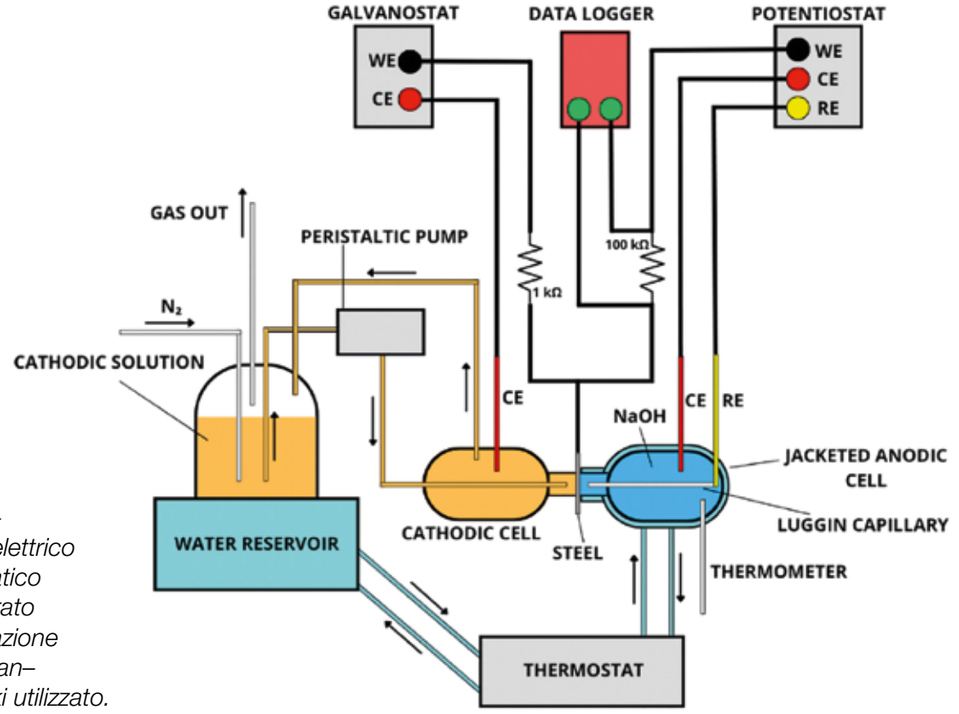


Figura 3 – Schema elettrico e pneumatico dell'apparato di permeazione Devanathan–Stachurski utilizzato.

RISULTATI

Le prove meccaniche condotte su provini caricati con idrogeno hanno evidenziato l'importanza dello studio del fenomeno. Le proprietà a trazione hanno confermato che i parametri legati alla resistenza, quali il carico di snervamento e di rottura, risultano sostanzialmente invariati anche a seguito dell'assorbimento di idrogeno. Al contrario, per i parametri legati alla duttilità è stata riscontrata una riduzione: sia l'allungamento a rottura sia la riduzione dell'area di frattura diminuiscono una volta introdotto l'idrogeno nelle leghe oggetto dello studio. Tuttavia, nel corso della ricerca non è emersa alcuna tendenza chiara in grado di spiegare la dispersione dei dati relativi a tali parametri.

Il risultato più significativo è stato invece osservato nelle prove di tenacità a frattura (KJc). In aria, diversi degli acciai analizzati hanno mostrato elevata tenacità, con valori di KJc ben superiori a 400 MPa√m. Dopo la carica elettrochimica di idrogeno, tuttavia, la tenacità si è ridotta drasticamente, convergendo verso un intervallo ristretto compreso tra 120 e 150 MPa√m, indipendentemente dal tipo di lega o dal valore iniziale di tenacità, come evidenziato in *Figura 4*. Tale convergenza suggerisce, secondo gli autori, che una volta assorbito l'idrogeno, le differenze di tenacità iniziale tra le diverse leghe cessano di essere determinanti. In termini di progettazione, ciò implica che acciai tradizionalmente considerati più tenaci in servizio con gas naturale non possano essere automaticamente ritenuti più performanti in presenza di idrogeno.

Una riduzione significativa della tenacità a frattura è stata inoltre riscontrata anche in

condizioni di carica più blande, indicando che anche basse concentrazioni di idrogeno possono influenzare la tenacità e che, nelle condizioni di prova considerate, non esiste una soglia minima di contenuto di idrogeno al di sotto della quale il fenomeno possa essere trascurato *(Figura 4)*.

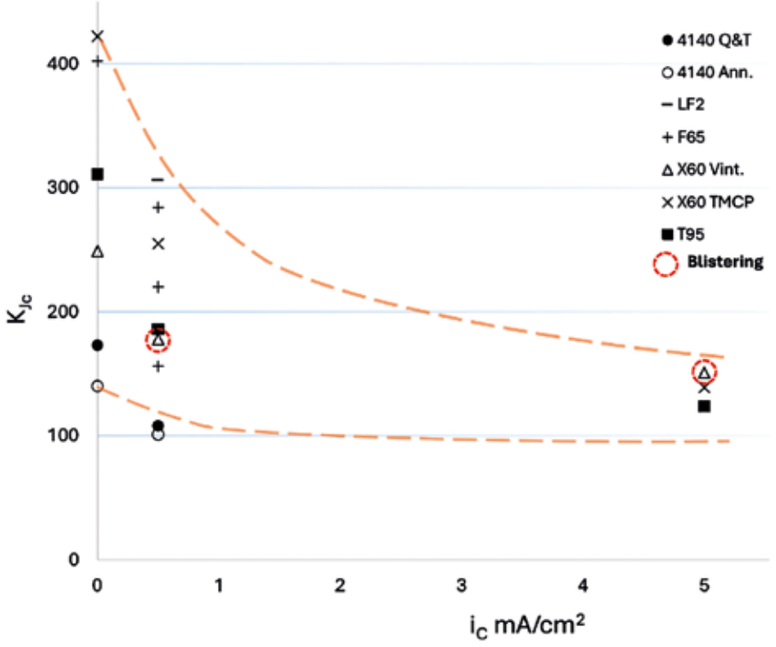
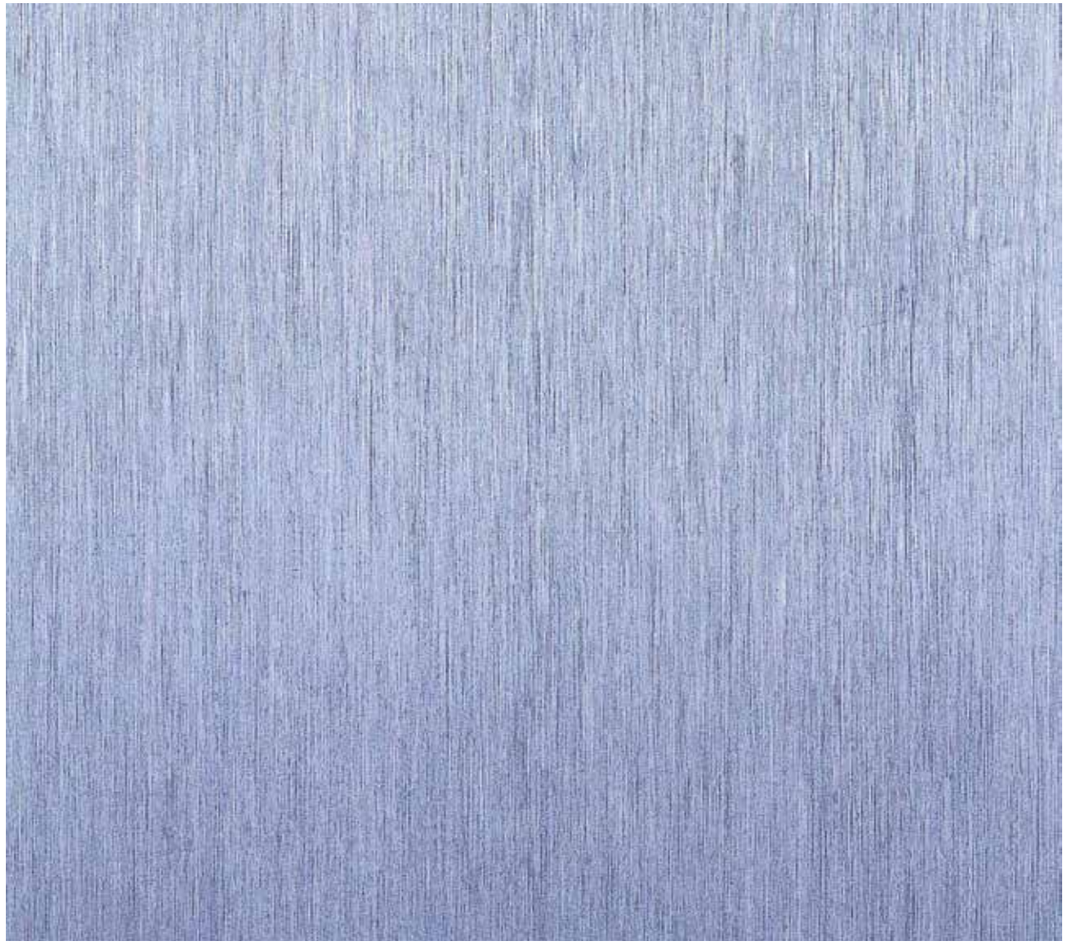


Figura 4 – Fattore d'intensificazione degli sforzi critico (KJc) in funzione della densità di corrente di carica elettrochimica applicata (ic). Valori più elevati di ic corrispondono a condizioni di esposizione all'idrogeno progressivamente più severe.



Queste osservazioni confermano che per gli acciai soggetto dello studio, l'infragilimento da idrogeno non è direttamente legato a una perdita di resistenza, ma bensì ad una riduzione della capacità del materiale di accomodare deformazioni prima della frattura.

I risultati ottenuti sono in ottimo accordo con prove di integrale-J eseguite in idrogeno ad alta pressione eseguite in letteratura, indicando una buona coerenza tra i test condotti su campioni caricati elettrochimicamente e quelli eseguiti in idrogeno gassoso, nonostante le evidenti differenze tra i due ambienti.

Un'ulteriore conferma è stata fornita dall'analisi frattografica: nei campioni testati in assenza di idrogeno, infatti, le superfici di frattura hanno mostrato una morfologia duttile caratterizzata da chiari segni di coalescenza di microvuoti. Al contrario, nei provini caricati con idrogeno sono state riscontrate morfologie miste, caratterizzate dalla coesistenza di microvuoti superficiali meno profondi, sfaccettature di quasi clivaggio e cricche secondarie di tipo fragile *(Tabella 1)*.

Le leghe più tenaci, come l'X60 TMCP ed il T95 *(Tabella 1, colonna centrale e destra)*, hanno mostrato una marcata transizione da una morfologia di frattura duttile a una fragile, evidenziando la loro sensibilità alla presenza di idrogeno.

Al contrario, nonostante la sua minore tenacità a frattura iniziale, l'acciaio X60 Vintage ha mantenuto in larga parte le caratteristiche di frattura duttile anche quando sottoposto alle condizioni più severe di carica elettrochimica di idrogeno *(Tabella 1, colonna sinistra)*.

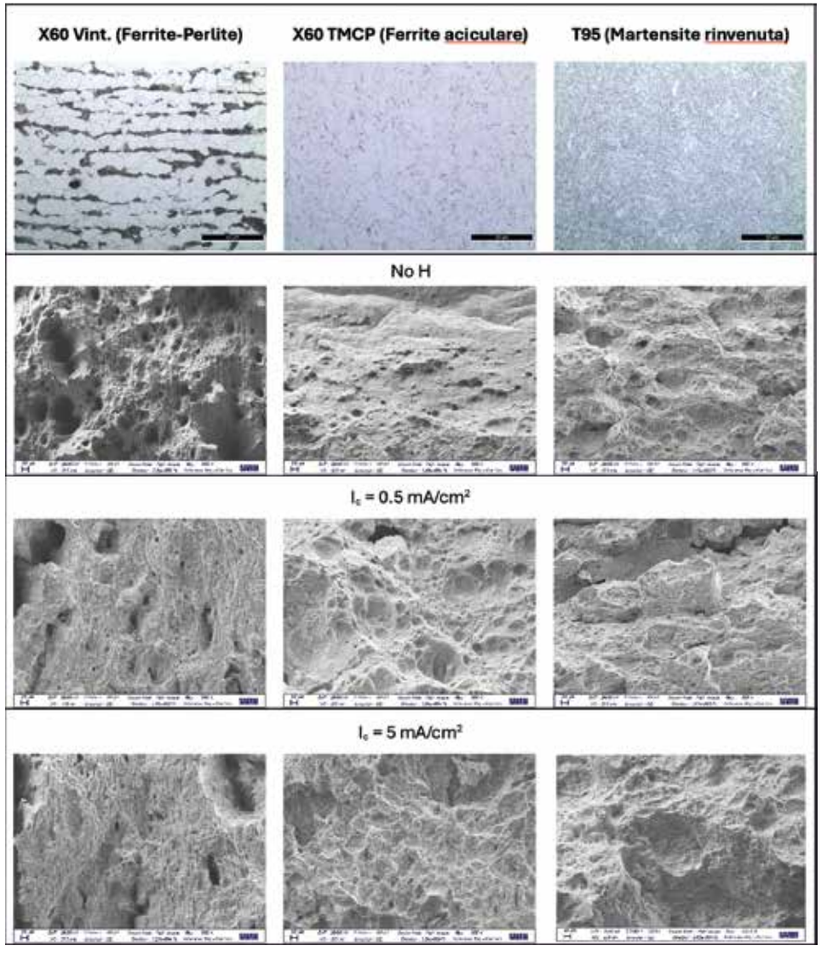


Tabella 1 – Microstruttura e morfologia di frattura di acciai X60 Vint., X60 TMCP e T95. Provini sottoposti a prova di integrale-J in condizioni di severità di esposizione ad idrogeno crescente, dall'alto verso il basso.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I risultati confermano che l'infragilimento da idrogeno agisce principalmente attraverso la degradazione della tenacità e della duttilità, piuttosto che della resistenza meccanica. Questa distinzione è cruciale per le applicazioni industriali: le condotte ed i serbatoi di stoccaggio, infatti, non sono progettati solo per sopportare gli Hoop stresses, ma anche per resistere all'innesco e alla propagazione di eventuali cricche.

La marcata riduzione della tenacità a frattura in presenza di idrogeno influisce direttamente sulla tolleranza ai difetti e sulla vita a fatica, entrambi parametri fondamentali nella gestione dell'integrità di infrastrutture su larga scala.

La convergenza dei valori di tenacità osservata tra gli acciai studiati suggerisce che le distinzioni tradizionali tra gradi, basate sulle proprietà meccaniche misurate in aria, risultano essere di minore rilevanza in ambiente contenente idrogeno. Ad esempio, l'acciaio TMCP di moderna produzione, caratterizzato da un'elevata tenacità in condizioni convenzionali, ha mostrato valori degradati simili a quelli di materiali più datati e meno raffinati dal punto di vista microstrutturale a seguito dell'esposizione all'idrogeno. Questo risultato indica quindi, che l'idrogeno impone una soglia inferiore di resistenza alla frattura, e che tende a mitigare o addirittura annullare i benefici delle ottimizzazioni microstrutturali sviluppate per il servizio tradizionale, almeno per le leghe oggetto di studio.

Infine, la pre-carica elettrochimica, combinata con la modellazione della diffusione dell'idrogeno, si è dimostrata in grado di riprodurre livelli di infragilimento compatibili

a quelli ottenuti attraverso più onerose prove in autoclave ad alta pressione. Pur non potendo replicare completamente la dinamica di assorbimento e diffusione dell'idrogeno all'apice di una cricca in ambiente gassoso, il metodo fornisce uno strumento efficace e scalabile per l'esame dei materiali e la produzione di dati comparativi. Ciò rappresenta un compromesso di grande valore applicativo: è possibile ottenere informazioni affidabili sugli effetti dell'idrogeno senza i costi e i tempi proibitivi associati alle campagne sperimentali su larga scala in autoclave.

Ringraziamenti

Si ringrazia Apce per il finanziamento del Dottorato di Luca Paterlini.

Si ringrazia la Fondazione Politecnico per il finanziamento del progetto Joint Research Partnership Hydrogen (JRPH), contribuendo allo sviluppo della ricerca.

Si ringrazia il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (DMEC) per la collaborazione, con un sentito ringraziamento a Laura Vergani.

PROTEZIONE CATODICA GASDOTTI: NORME UNI DI RIFERIMENTO E LORO ATTUAZIONE

Fabio Brugnetti - *Referente Tecnico Apce*

Dopo qualche edizione, Apce, nelle sue Giornate Studio, tipicamente a cadenza semestrale, è tornata nel mese di novembre 2025, a trattare l'argomento ***"Protezione Catodica applicata ai gasdotti"***, ponendo il focus sull'ultima versione delle norme italiane UNI 11094:2019 *"Criteri generali per l'attuazione, verifiche e controlli, ad integrazione della norma ISO EN 15589-1 e UNI 10950_2021 Telecontrollo dei sistemi di protezione catodica"*.

L'obiettivo di questo articolo non è quello di riassumere il contenuto delle norme UNI, ma riepilogare i punti di vista scambiati durante i dibattiti tecnici per permettere ai lettori di avere una panoramica su quello che l'industria gas sta implementando.

Un primo aspetto è il simpatico sondaggio sulla conoscenza della norma UNI 10950, la cui prima edizione ha ormai oltre venti anni!… e sì, l'Italia è stata paese europeo pioniere nell'introdurre una modalità di implementazione della telesorveglianza univoca sia per trasporto distribuzione e stoccaggio gas… un attimo di stupore è stato scatenato dal bassissimo numero di persone presenti in platea a conoscerne i dettagli!!!…

in realtà il relatore ma anche la stessa Apce si aspettava questo risultato, giustificato dal fatto che, per la maggior parte delle società gas, la gestione della telesorveglianza è vista come un servizio chiavi in mano in termini di gestione dei dispositivi ed emissione di reportistica annuale in conformità alle linee guida Apce e alle norme tecniche vigenti in materia… l'occasione è stata ottima per inquadrare gli aspetti che possono permettere alle società committenti di poter effettuare un confronto tecnico in termini di qualità apparati elettronici proposti e tipologia di elaborazione del dato offerto dalle società di servizio presenti sul mercato.

Conoscenza ben più allargata è stata dimostrata per la norma UNI 11094, complice il fatto che è una norma che abbraccia la manutenzione ordinaria quindi effettuata sia da società di servizio ma anche direttamente dai gestori della rete gas… i confronti tecnici hanno avuto come oggetto le seguenti domande/tematiche:

Quali sono gli obiettivi sfidanti per l'industria?

Gli obiettivi da perseguire, per allineare la gestione dei sistemi di protezione catodica alla normativa vigente, sono:

1) *anno riferimento 2025:* aggiornamento completo alla UNI 11094:2019 dei sistemi di protezione catodica:

- *i.* obbligo aggiornamento classificazione dei punti di misura;
- *ii.* obbligo valutazione interferenza elettrica e definizione/aggiornamento del numero minimo dei punti di misura caratteristici;

iii. obbligo avvio messa in esercizio del numero minimo punti di misura caratteristici con relativo monitoraggio;

2) ***anno riferimento 2030:*** completare l'installazione delle sonde di potenziale nei punti di misura caratteristici;

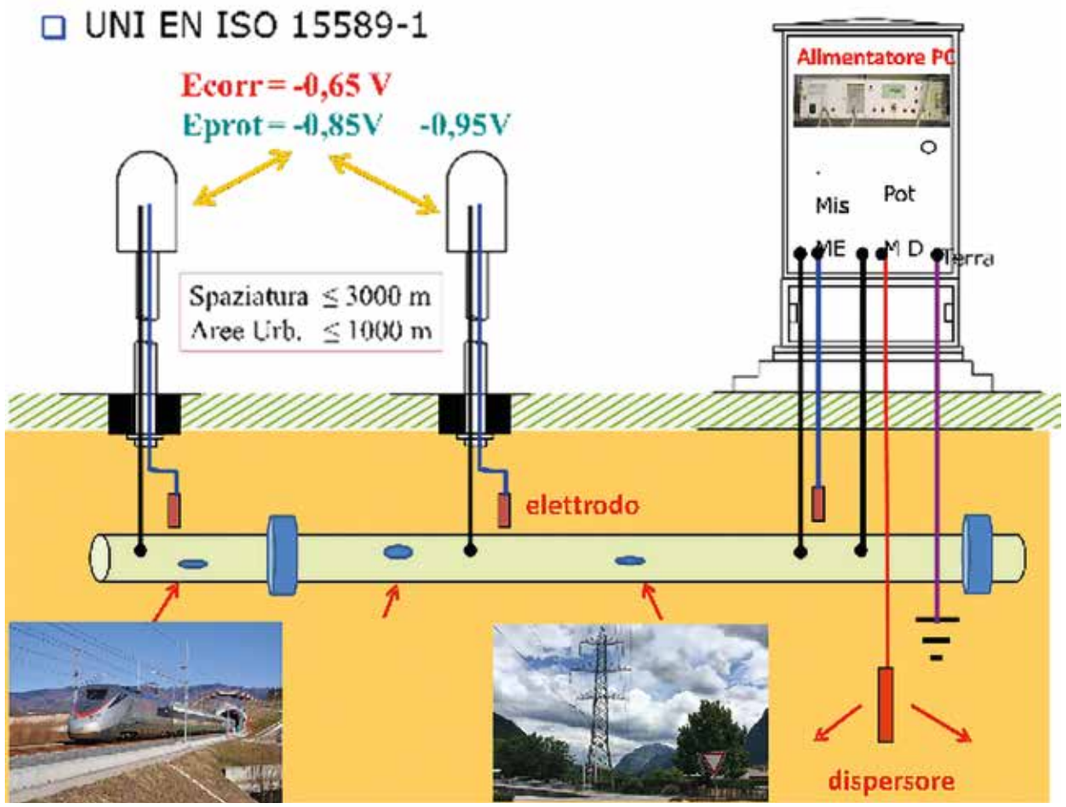
3) ***anno riferimento 2030:*** completare l'aggiornamento degli apparati di telesorveglianza ai criteri UNI 10950;

4) esecuzione del collaudo dello stato elettrico dei sistemi di protezione catodica secondo i criteri UNI EN ISO 15589-1.

Il primo approccio che si potrebbe avere, leggendo questa scaletta di attività da svolgere è: ma c'è tempo… peccato che non è proprio così!

I **punti di misura caratteristici** rappresentano le postazioni fisiche dove poter monitorare, attraverso un sistema di telesorveglianza, le aree con maggiore rischio di corrosione elettrolitica; va da sé che la loro determinazione deve avvenire a seguito di un'analisi puntuale da parte di personale adeguatamente certificato.

Queste postazioni, se attrezzate con sonde di potenziale, restituiscono una migliore analisi dell'efficacia della protezione catodica anche in condizioni di situazioni elettriche dinamiche che possono interessare un sistema di protezione catodica.



Qual è lo stato dell'arte delle sonde di potenziale

L'impiego delle **sonde di potenziale** è diventata oramai una realtà nell'industria del trasporto e distribuzione del gas e gli aspetti accademici e i risultati da campo presentati e messi a confronto convergono nell'importante conclusione che l'aggiornamento del sistema di monitoraggio alla normativa internazionale UNI EN ISO 15589-1 porta ad un evidente miglioramento della potenzialità di analisi dell'efficacia della protezione catodica.

Il fabbisogno di sonde di potenziale da parte dei gestori delle infrastrutture ha stimolato i costruttori italiani nel progettare questi dispositivi in alternativa ai prodotti internazionali presenti sul mercato da svariati anni; in questo processo i requisiti tecnici di base riportati nella norma UNI 11094 hanno mostrato, strada facendo, debolezze nel metodo di valutazione delle loro caratteristiche elettriche.

Apce, attraverso la collaborazione con il Politecnico di Milano, ha portato a termine una ricerca con prove di laboratorio, identificando una procedura di prova per valutare la loro accettabilità per il monitoraggio dei parametri di protezione catodica.

La procedura di prova verrà utilizzata da tutti i produttori per dichiarare attraverso le schede tecniche di prodotto che:

- l'accuratezza e la stabilità del potenziale dell'elettrodo di riferimento interno della sonda è conforme ai requisiti delle normative di riferimento;
- la capacità della sonda di minimizzare le cadute ohmiche nella misura del potenziale di protezione catodica, come richiesto nella norma UNI 11094.

Se da una parte l'uso della sonda di potenziale porta a soddisfare i requisiti normativi in termini di analisi dell'efficacia della protezione catodica, dall'altra non si può neanche escludere dal monitoraggio lo storico potenziale ***Eoff*** *(potenziale della struttura monitorato in assenza di corrente nel terreno)*.

È emersa infatti la necessità di acquisire esperienza nella valutazione di questo parametro in quanto si integra al potenziale acquisito con le sonde ma potrebbe essere impiegato per più obiettivi, ad esempio valutare i tempi di stabilità della protezione in assenza di corrente *(ricerca sponsorizzata da Apce con Politecnico di Milano)*, piuttosto che escludere qualsiasi parametro spurio residuo restituito dalla sonda stessa; diventa quindi fondamentale arricchire le banche dati con questo parametro per poi armonizzare in modo pragmatico le line guida per il suo utilizzo; questa tematica rientra negli obiettivi del Comitato Tecnico Apce.

Se da un lato i costruttori hanno raggiunto un livello tecnico soddisfacente, dall'altro l'impiego di questi dispositivi offre ancora terreno fertile per approfondimenti che potranno essere molto utili all'analisi dell'integrità delle infrastrutture.

Esiste poi una realtà nella predisposizione impiantistica, definibile ibrida, ovvero l'impiego di dispositivi di monitoraggio simili a sonde di potenziale, che puntano alla stessa finalità tecnica ma che possono non rispettare l'accuratezza prevista nel protocollo di test; questi dispositivi sono riconosciuti dalle Linee Guida Apce come utili a mettere in pratica il criterio di monitoraggio secondo le norme tecniche internazionali vigenti; gli stessi, al termine della loro vita utile, potranno essere sostituiti con sonde di potenziale di ultima concezione.

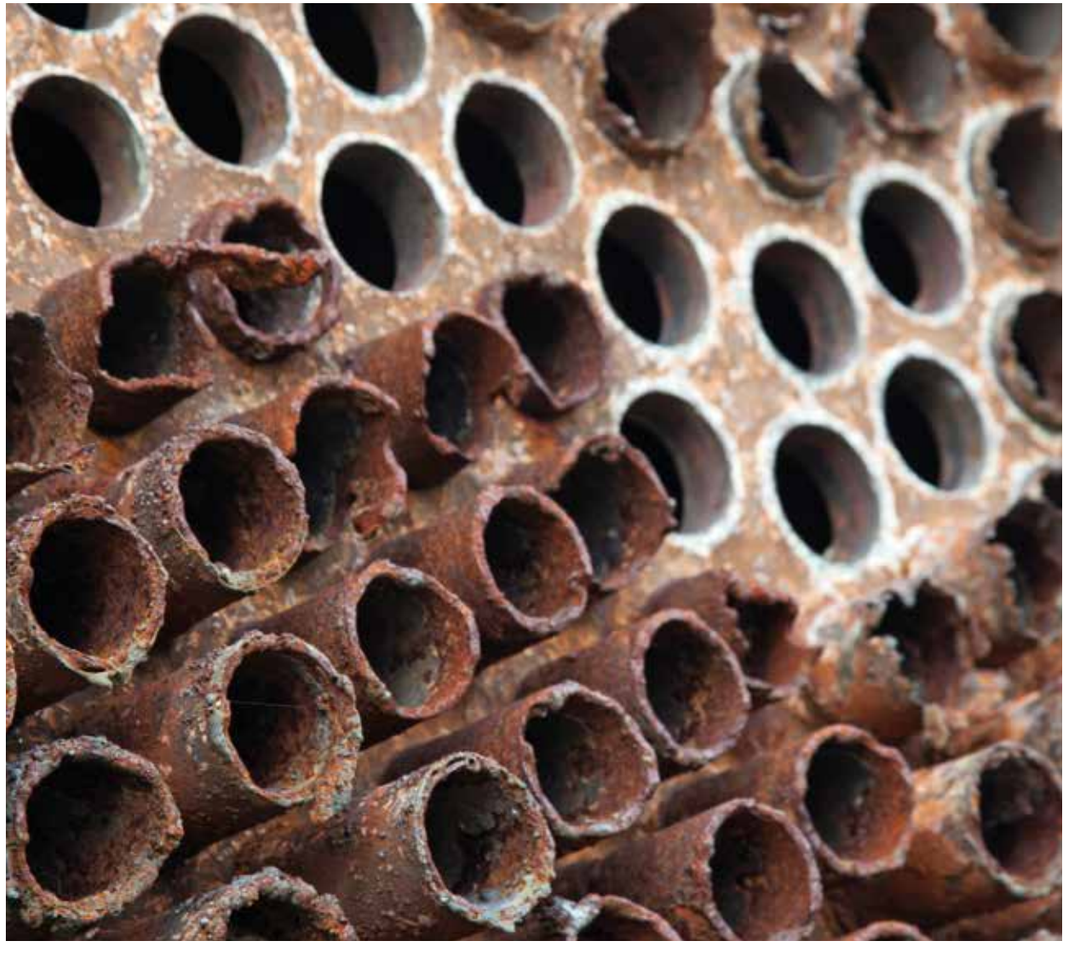
Nasce a questo punto una domanda, forse quasi scontata… continuiamo a leggere!

L'introduzione fisica della sonda di potenziale in un sistema di protezione catodica comporta un aggiornamento della manutenzione ordinaria e il conseguente revamping dei dispositivi di telesorveglianza: come si gestisce l'eventuale instabilità di nuovi dispositivi usati per il monitoraggio?

Per i sistemi a corrente impressa, l'efficacia della protezione è valutata verificando il rispetto dei criteri di protezione *(preferibilmente su potenziali EIR-free/instant-off)* e, a livello gestionale, tramite l'indicatore KT: nell'anno di riferimento un valore KT ≥ 60 consente di classificare il sistema come gestito con efficacia secondo la metodologia di Linea Guida.

Come ben noto questo algoritmo offre un peso alla progettazione con valore massimo a 30 e un parametro legato alla valutazione della conformità delle misurazioni minime richieste dalla norma UNI 11094, ovvero il peso dinamico del coefficiente KT.

L'instabilità dei dispositivi, sonde o l'elettronica della telesorveglianza, possono in-



cidere nella valutazione della conformità mettendo in difficoltà i gestori nel poter dimostrare l'efficacia della protezione catodica, oltre a realtà imponderabili legate a condizioni straordinarie che possono limitare o impedire, anche per tempi prolungati, l'esecuzione della manutenzione ordinaria; per tali motivi, le linee guida prevedono che particolari condizioni di esercizio degli impianti (anomalie) possono determinare KT<60; per questi sistemi è possibile attribuire nell'anno di riferimento ***"KT=60 forzato"*** se i tre seguenti criteri sono rispettati:

- nel periodo antecedente all'anomalia è dimostrabile il rispetto dei criteri di protezione;
- il valore del KT nei due anni precedenti a quello di riferimento era ≥ 60 o KT=60 forzato per cause di forza maggiore, intese come atti di autorità pubblica, eventi naturali eccezionali per i quali sia stato dichiarato lo stato di calamità dall'autorità competente, a condizione che in ogni anno di forzatura sia dimostrabile l'efficacia della protezione catodica;
- il responsabile della protezione catodica è in grado di documentare e giustificare la causa dell'anomalia.

Il ***"KT=60 forzato"*** può anche essere attribuito:

- nell'anno di riferimento ai sistemi di prima messa in protezione a condizione che sia dimostrabile il rispetto dei criteri di protezione catodica;

- nell'anno di riferimento per ulteriori cause di forza maggiore, intese come atti di autorità pubblica, eventi naturali eccezionali per i quali sia stato dichiarato lo stato di calamità dall'autorità competente, a condizione che nello stesso anno di riferimento sia dimostrabile il rispetto dei criteri di protezione catodica;
- nell'anno di riferimento in caso di subentro nella gestione dell'impianto di distribuzione, nel terzo quadrimestre dell'anno, a condizione che sia dimostrabile il rispetto dei criteri di protezione catodica.

Nel periodo transitorio caratterizzato dall'implementazione impiantistica e adeguamento dei sistemi di telesorveglianza, dall'anno di riferimento 2025 al 2030, i gestori delle reti potranno aggiungere al valore KT finale, acquisito secondo il criterio di calcolo della presente Linea Guida, una quota massima pari a 5 punti, secondo il seguente criterio:

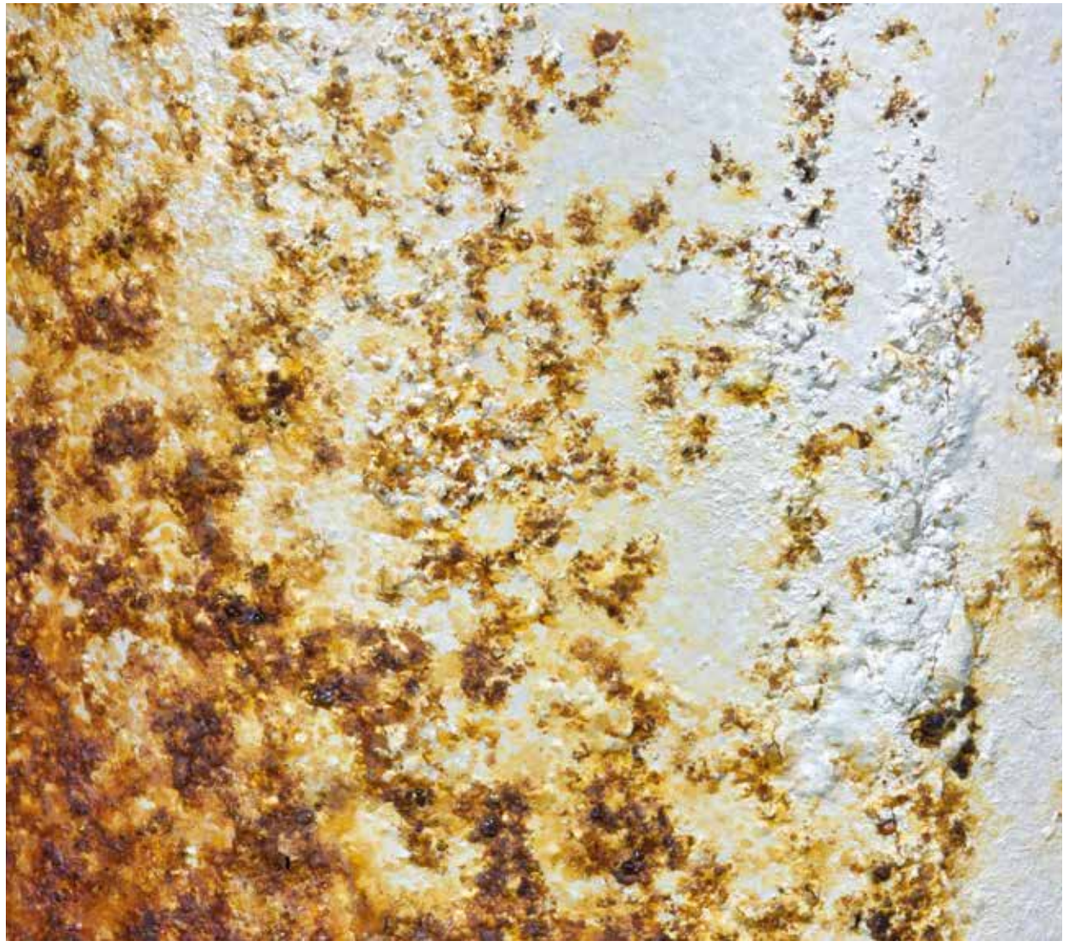
> sistema dove i punti di misura caratteristici sono attrezzati TUTTI con elettrodi con piastrina o sonde di potenziale non conformi a UNI 11094: **1 PUNTO**

o

> sistema dove i punti misura caratteristici sono TUTTI attrezzati con sonde di potenziale conformi ai criteri di accettabilità UNI 11094: **2 PUNTI**

e

> tutti i punti minimi richiesti per SPC TLS UNI 11094 sono attrezzati con dispositivo aggiornato UNI 10950 e con possibilità acquisizione E_{OFF}/E_{IRfree}: **3 PUNTI**.



Il gestore della rete, in funzione dei materiali installati **“da dichiarare nel campo note del modulo calcolo KT”**, può attribuire al singolo SPC il bonus legato all’implementazione impiantistica.

Il bonus da reiterare per ciascun anno di questo periodo transitorio serve a mitigare le situazioni di instabilità che possono incorrere nelle fasi di revamping impiantistici. Al termine di questo periodo il bonus deve essere eliminato.

Il bonus è applicabile ai soli sistemi che hanno avuto nell’anno antecedente a quello di riferimento un KT≥ 60 non forzato, al netto di punti bonus precedentemente accreditati.

Cosa si intende per “valutazione dell’interferenza elettrica”?

La variabilità del campo elettrico di un sistema di protezione catodica, causata da interferenze elettriche esterne, è un parametro fondamentale per definire la tipologia e la quantità di misure elettriche necessarie per la corretta verifica dell’efficacia della protezione catodica.

Per valutare la variabilità di un sistema elettrico devono essere eseguite delle registrazioni dei valori di potenziale, con impianti di protezione catodica disinseriti o impostati a corrente costante, nelle posizioni in cui meglio si riescano a intercettare le variazioni dei campi elettrici delle fonti interferenti e nei punti dove insistono i dispositivi di protezione catodica.

La norma UNI 11094 entra in questo dettaglio tecnico prevedendo due livelli di inter-

ferenza: sistema di protezione catodica interferito o non interferito, dai quali dipende il numero minimo di punti di misura caratteristici da individuare.

La differenza sostanziale tra le precedenti linee guida e le nuove versioni è che nelle precedenti i livelli di interferenza erano tre: bassa media alta; non è prevista, o meglio, non è possibile un'associazione a tavolino che rapporti il vecchio criterio con il nuovo.

Come cambia l'algoritmo del KT per gestire i nuovi criteri di monitoraggio?

Paradossalmente, l'**algoritmo del KT** risulta trasparente rispetto al criterio monitoraggio fisico dal campo; ovvero:

- l'algoritmo del KT contempla la conformità del potenziale di protezione catodica; questi criteri sono rimasti invariati quindi la modalità di acquisizione non ha di fatto inciso sull'algoritmo;
- il criterio di monitoraggio UNI 11094, base tecnica delle linee guida, ha conservato il concetto di valutazione generare e dettagliata della protezione catodica; di conseguenza le linee guida aggiornate sono proiettate all'impiego delle sonde di potenziale per l'analisi dell'efficacia della protezione catodica sfruttando la frequenza di controllo che rimane sostanzialmente uguale al passato.

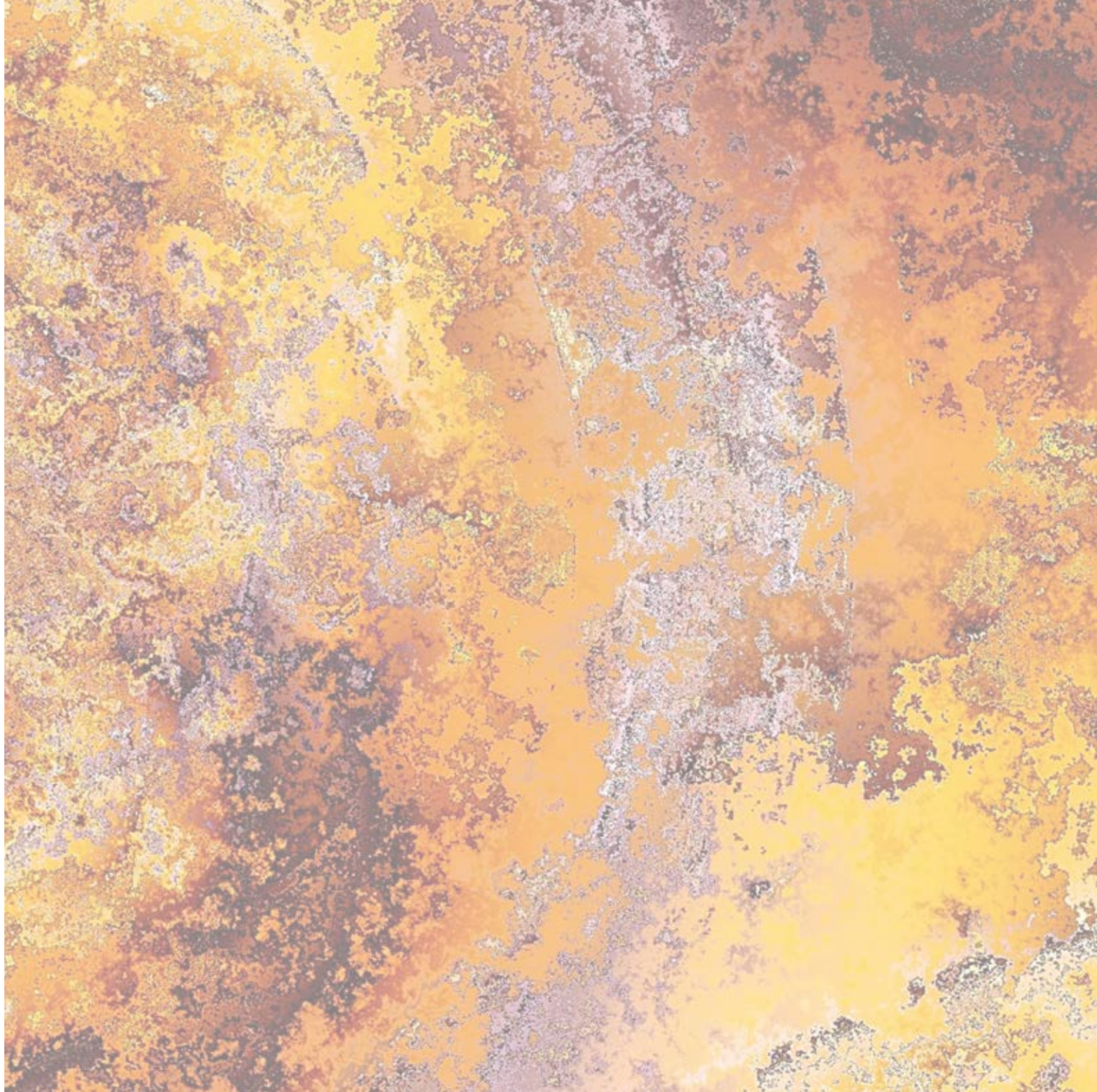
Il concetto chiave è che le misure di protezione catodica, acquisite con più precisione, di fatto contribuiscono ad attribuire al coefficiente KT una maggiore valenza della sua definizione: "Coefficiente di efficacia della protezione catodica".

Quali conclusioni si possono dedurre

L'industria si è attivata per collaudare tutta la rete gasdotti trasporto distribuzione e stoccaggio del gas naturale; questo significa che c'è la volontà di caratterizzare la rete per aggiornare i criteri di attuazione della protezione catodica e aggiornare i criteri di applicazione della manutenzione ordinaria secondo le normative vigenti in materia.

L'interazione tra i Soci Apce che collaborano all'interno del Comitato Tecnico di Apce, dimostra la volontà collettiva di crescere e migliorare sempre per soddisfare l'obiettivo comune che è quello di assicurare nel miglio modo possibile l'integrità delle strutture adibite al trasporto distribuzione e stoccaggio del gas naturale.

Le linee guida aggiornate sono pubblicate sul sito *www.APCE.it*



ENERGIAMEDIA EDITORE