



REGIONE BASILICATA



COMPLETAMENTO DEI DISTRETTI IRRIGUI IN AGRO DI MONTEMILONE ED INTEGRAZIONE RISORSE IDRICHE

PROGETTO ESECUTIVO

A-ELABORATI DESCRITTIVI

A11

Relazione protezione catodica

Giugno 2014

IL PROGETTISTA

Prof. Ing. A.F. PICCINNI

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.7288



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Fileno PENNACCHIO

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO

Avv. G. MUSACCHIO

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	SCELTA DEL SISTEMA DI PROTEZIONE ATTIVA	3
2.1	Sistema a corrente impressa.....	3
2.2	Determinazione del fabbisogno di corrente di protezione	4
3	DIMENSIONAMENTO DEI DISPERSORI.....	6

1 PREMESSA

La protezione delle condotte di acciaio dagli effetti della corrosione (protezione catodica) si ottiene realizzando uno specifico impianto elettrico in grado di portare a valori di immunità il potenziale della struttura da proteggere e capace, quindi, di ridurre o arrestare le reazioni elettrochimiche di ossidazione dei metalli.

La corrosione umida delle strutture metalliche interrato è causata essenzialmente dal crearsi di una f.e.m. nel sistema fisico condotta/suolo: tale f.e.m. sviluppa una corrente elettrica di intensità variabile a seconda della composizione chimica dei terreni di posa della tubazione che, dal suolo (elettrolita) passa alla struttura metallica per poi ritornare nuovamente al suolo.

La zona in cui si verifica l'ingresso della corrente elettrica nella struttura viene denominata catodo (o zona catodica); la zona in cui la corrente elettrica abbandona la struttura per ritornare al suolo è detta anodo (o zona anodica). Come è semplice intuire, il manufatto metallico investito dal flusso elettronico in questione si corroderà nella zona anodica in quanto, nel ritornare all'elettrolita la corrente elettrica di cui sopra trascina in soluzione parte del materiale ferroso sotto forma di ioni, creando un visibile cratere tronco-conico svasato verso l'esterno, sulla superficie della struttura metallica.

Nell'ipotesi che la condotta sia protetta dalla corrosione mediante opere di difesa passiva (rivestimenti), la zona anodica è costituita dall'insieme dei punti in cui si creano falle nel rivestimento, ponendo in intimo contatto l'acciaio con il terreno. Essendo la densità di corrente anodica inversamente proporzionale alla superficie metallica priva di rivestimento, tanto più veloce sarà il processo di corrosione quanto più piccola è la sua zona anodica. Lo scopo di un impianto di protezione catodica è quello di annullare le correnti anodiche di cui sopra, investendo la struttura metallica con una corrente catodica d'intensità tale da sottoporre le tubazioni ad una d.d.p., rispetto al suolo compresa tra -0.85V e -2.00V, valori riferiti ad un elettrodo campione impolarizzabile al solfato di rame saturo (Cu/CuSO₄).

Il valore inferiore della soglia d'immunità è stato fissato a -2.00V in modo da scongiurare il pericolo di un eventuale distacco dell'isolamento dalla superficie metallica della tubazione per effetto della corrente elettrica circolante nella stessa (CATHODIC DISBONDING).

Il presente progetto ha per oggetto la realizzazione di una condotta premente avente le seguenti caratteristiche:

DN materiale (mm)	s (mm)	Tratta (m)	Superficie da proteggere m ²
DN 500 acciaio	6,3	L = 15300	23.900

2 SCELTA DEL SISTEMA DI PROTEZIONE ATTIVA

Considerata l'estensione sia lineare che superficiale delle condotte metalliche interrato da posare in opera, il sistema di protezione attiva più consono per impedire l'insorgere di fenomeni corrosivi di matrice elettrochimica è il tipo a corrente impressa.

Tutti i circuiti elettrici devono rispondere alle vigenti norme CEI e alla vigente legislazione antinfortunistica (legge 12/02/1955; DPR 24/04/1955 n. 547 e successive integrazioni e modifiche), alle norme UNI 11094 e UNI EN 12954.

La protezione passiva è affidata al rivestimento esterno in polietilene previsto secondo UNI 9099.

2.1 Sistema a corrente impressa

Per la realizzazione della stazione di protezione catodica (S.P.C.) si adottano i seguenti materiali e criteri progettuali:

- **dispersore anodico di tipo verticale profondo** - oltre a presentare notevoli vantaggi tecnico - funzionali rispetto a quello superficiale, consente di non dover ricorrere ad espropri per reperire le aree. L'elemento dispersore, costituito da un anodo al titanio inserito in tubo camicia di acciaio e dallo stesso tubo camicia, avrà le seguenti caratteristiche: anodo di titanio attivato in superficie con ossidi metallici misti, di forma cilindrica, diametro 25 mm, lunghezza 1000 mm, peso 0.90 kg, completo di 90 m di cavo 6 AWG (16 mm²), isolamento Kynar-fluoropolymer. L'anodo al titanio deve essere posizionato alla profondità di 80 m dal piano di campagna ed il suo inserimento nel pozzo trivellato deve essere agevolato da una idonea zavorra di circa 10 kg.
- **anodo di titanio attivato** - caratterizzato da elevato rendimento e sicurezza costruttiva del cavo autoportante, che ne consente l'impiego anche nelle condizioni ambientali più sfavorevoli (sviluppo di cloro gas); l'anodo, di tipo composito, è costituito da un supporto di titanio e da un rivestimento elettrocatalitico di ossidi di metalli misti (MMO). Offre le seguenti caratteristiche:
 - resistività elettrica 10-5 $\Omega \times \text{cm}$;
 - tasso di dissoluzione 0,6÷6 mg/A \times anno;
 - densità di corrente 25÷100 A/m² (più alta per posa in backfill carbonioso);
 - massa volumica 4,5 kg/dm³.

- **tubo-camicia di acciaio al carbonio** - la sua adozione nella parte profonda del foro trivellato, oltre che fungere da anodo supplementare e contribuire alla realizzazione del letto anodico, è prevista per stabilizzare il pozzo, assicurando la permanenza in servizio del sistema anche in terreni cedevoli, discontinui, con cavità naturali o indotte dalla foratura, le quali non raramente portano alla precoce dismissione degli impianti; il tubo di acciaio nudo del DN 150 mm, lunghezza 50 m, spessore 4 mm, da posarsi da -40 m a -90 m dal piano di campagna, con sovrapposto, per saldatura su apposito pezzo di riduzione, un tubo di acciaio da 4", spessore 4 mm, filettato, corredato di manicotti per giunzione filettata ed isolato mediante rivestimento esterno di polietilene applicato per estrusione secondo UNI 9099, lunghezza 40 m, da posarsi da 0 a - 40 m dal piano di campagna. La continuità elettrica deve essere assicurata eseguendo saldature sulle stesse giunzioni. La saldatura della riduzione sul tubo camicia deve essere protetta con manicotto isolante termorestringente lungo 250 mm.

Sul tubo camicia di acciaio nudo devono essere realizzate n° 60 sfinestrature a V di 20 mm di altezza e 80 mm di larghezza, a coppie diametralmente opposte, a partire da 10 m dal fondo del pozzo: le tre coppie più profonde devono essere realizzate a distanze reciproche di 50 cm, le rimanenti a distanze reciproche di 100 cm. Per i primi 3 m del pozzo a partire dal piano di campagna deve essere posato un tubo camicia di polietilene alta densità del DN 280, spessore 8,7 mm.

- **letto di posa o backfill in coke di petrolio calcinato** - materiale di riempimento, da disporre intorno al dispersore profondo, scelto per la sua bassa resistività e per la proprietà di essere un letto reattivo, in quanto partecipa attivamente alle reazioni elettrochimiche associate al funzionamento del dispersore. Per questo ha gli effetti di aumentare la reale dimensione del dispersore diminuendo la resistenza elettrica verso terra, di rendere omogeneo l'ambiente circostante gli anodi, eliminando eventuali consumi localizzati e rendendo quindi più uniforme la dissoluzione; il backfill deve essere realizzato con circa 1600 kg di carbone di petrolio calcinato, miscelato con acqua in proporzioni tali da ottenere il giusto valore di densità e viscosità per l'iniezione a pressione, con idonea attrezzatura, in tutto il tubo camicia (50 m), in modo da garantire la completa immersione del dispersore nell'elettrolita costituito secondo quanto indicato nel disciplinare di gara.
- **alimentatore di protezione catodica**, con funzionamento automatico a corrente costante o d.d.p. costante, raffreddamento in aria, corrente massima di targa di 5A, tensione massima di uscita a vuoto di 50 V e con trasformatore interno di isolamento;

2.2 Determinazione del fabbisogno di corrente di protezione

Per prevenire fenomeni di corrosione sulle condotte è necessario abbinare alla protezione passiva una protezione attiva, per mezzo di impianti di protezione catodica che forniscano la corrente necessaria allo scopo.

Il tipo di rivestimento adottato realizza la migliore protezione passiva ed il miglior isolamento elettrico fra la parte metallica del tubo ed il materiale impiegato per il rinterro. La resistenza d'isolamento per il polietilene, in base alla norma UNI 9099 - p.to 7.8 – deve risultare non inferiore a $100 \text{ M}\Omega \times \text{m}^2$.

Considerando l'aggressività dei terreni interessati e l'assenza di correnti vaganti, si può assumere una densità di corrente di protezione iniziale pari a $0,005 \text{ mA/m}^2$ (resistenza d'isolamento $200.000 \Omega \times \text{m}^2$).

Un possibile decadimento nel tempo dell'efficienza del rivestimento esterno in punti singoli, ad esempio dove si è realizzato il ripristino nei giunti, può determinare negli anni un aumento del fabbisogno di corrente di protezione.

A titolo cautelativo si può ipotizzare, pertanto, che la resistenza d'isolamento delle condotte scenda ad un valore di circa $100.000 \Omega \times \text{m}^2$, con conseguente aumento della densità di corrente di protezione. Pertanto, si assume, come valore cautelativo, una densità di corrente pari a $0,01 \text{ mA/m}^2$.

Si è prevista, pertanto, la realizzazione di un sistemi di protezione catodica concentrati in corrispondenza dell'impianto di sollevamento avente le seguenti caratteristiche.

Identificativo tronco	DN (mm)	Superficie da proteggere (m^2)	Corrente Impressa (A)
Sistema di protezione catodica			
Tronco 1	500	23.900	0,24

Il valore di corrente impressa necessario a garantire un corretto sistema di protezione catodica riportato relativamente alla tabella precedente costituisce dato di base per il dimensionamento del sistema di protezione catodica.

3 DIMENSIONAMENTO DEI DISPERSORI

I dispersori sono dimensionati in modo da soddisfare il fabbisogno di corrente di protezione delle strutture. Altro parametro da considerare è la durata minima prevista in fase di progetto che, in ogni caso, deve essere superiore ai 20 anni.

Nel caso in esame si prevede la realizzazione di una stazione di protezione catodica in corrispondenza dell'impianto di sollevamento ove si prevede di realizzare un dispersore verticale profondo inserito in tubo camicia di acciaio con le seguenti caratteristiche:

- a) **anodo di titanio** attivato in superficie con ossidi metallici misti, di forma cilindrica, diametro 25mm, lunghezza 1000 mm, peso 0.90 kg, completo di 90 m di cavo 6 AWG (16 mm²), isolamento Kynar-fluoropolymer; l'anodo al titanio deve essere posizionato alla profondità di 80 m dal piano di campagna ed il suo inserimento nel pozzo trivellato deve essere agevolato da una idonea zavorra di circa 10 kg. A corredo dell'anodo e per il controllo della posa del backfill, devono essere realizzate n° 2 sonde nel seguente modo: ogni sonda deve essere composta da una barretta (piena) della lunghezza di 5 cm, di rame nudo tondo del diametro 8 mm; all'estremità verrà saldata per ogni barretta una matassa di cordina unipolare di sezione di 2,5 mm² rivestita (una di colore bianco, l'altra di colore nero);
- b) **tubo di acciaio nudo** ϕ 150 mm, lunghezza 50 m, spessore 4 mm, da posarsi da -40 m a -90 m dal piano di campagna, con sovrapposto, per saldatura su apposito pezzo di riduzione, un tubo di acciaio da 4", spessore 4 mm, filettato, corredato di manicotti per giunzione filettata ed isolato mediante rivestimento esterno di polietilene applicato per estrusione secondo UNI 9099, lunghezza 40 m, da posarsi da 0 a -40 m dal piano di campagna. La continuità elettrica deve essere assicurata eseguendo saldature sulle stesse giunzioni. La saldatura della riduzione sul tubo camicia deve essere protetta con manicotto isolante termorestringente lungo 250 mm. Sempre con manicotti termorestringenti, deve essere garantita la continuità del rivestimento in corrispondenza delle giunzioni tra i tubi da 4". Sul tubo camicia di acciaio nudo devono essere realizzate n° 60 sfinestrature a V di 20 mm di altezza e 80 mm di larghezza, a coppie diametralmente opposte, a partire da 10 m dal fondo del pozzo: le tre coppie più profonde devono essere realizzate a distanze reciproche di 50 cm, le rimanenti a distanze reciproche di 100 cm. Per i primi 3 m del pozzo a partire dal piano di campagna deve essere posato un tubo camicia di polietilene alta densità del DN 280, spessore 8,7 mm.

Intorno a ciascun anodo deve essere realizzato un backfill in coke di petrolio calcinato con le caratteristiche elencate nel paragrafo precedente. Il backfill, nello specifico, deve essere realiz-

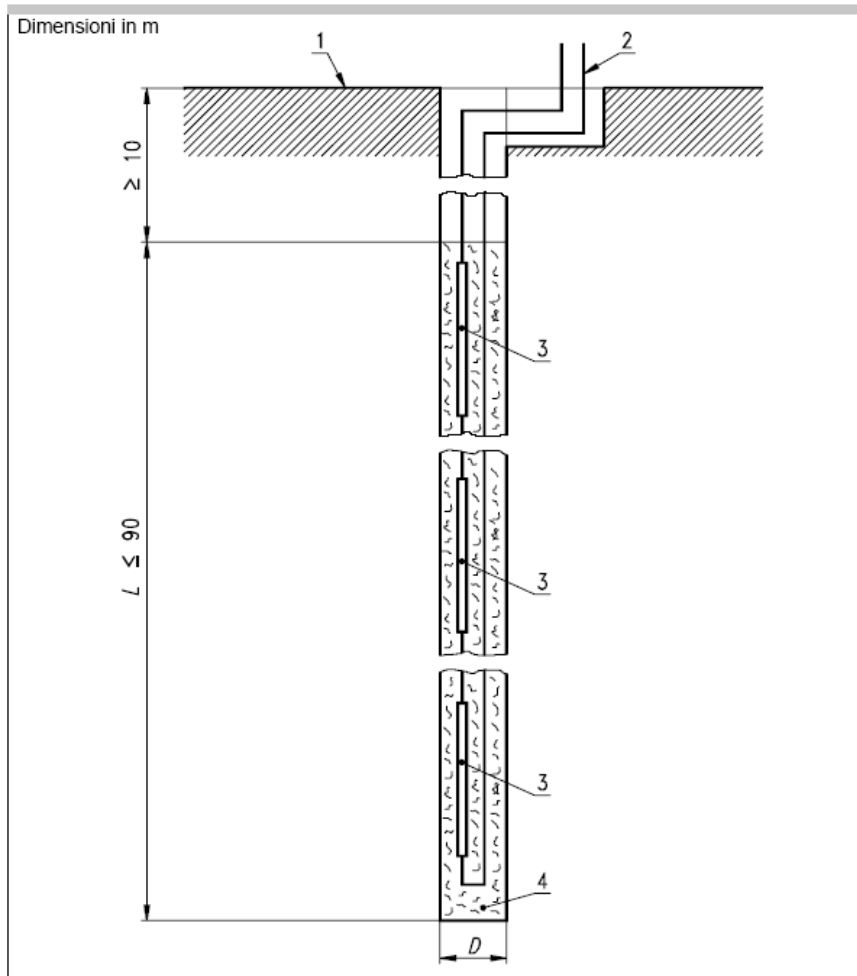
zato con circa 1600 kg di carbone di petrolio calcinato, miscelato con acqua in proporzioni tali da ottenere il giusto valore di densità e viscosità per l'iniezione a pressione, con idonea attrezzatura, in tutto il tubo camicia (50 m), in modo da garantire la completa immersione del dispersore nell'elettrolita.

Nel dimensionamento effettuato, la massa disperdente è costituita dall'anodo di titanio e dal tubo di acciaio DN 150, avente una massa di circa 250 kg

Esempio di dispersore profondo in letto di posa continuo

Legenda

- 1 Piano di campagna
- 2 Cavo di collegamento degli anodi
- 3 Anodo per corrente impressa
- 4 Letto di posa reattivo



Per il dimensionamento dell' impianto di protezione catodica a corrente impressa sono stati impiegati i seguenti dati:

- diametro delle tubazioni e spessori dell'acciaio;

- lunghezza delle tubazioni;
- valore della resistenza media trasversale;
- valore del potenziale al posto di protezione pari a -2 V;
- valore del potenziale di estremità di -0,900 V;
- valore del potenziale naturale di -0,500 V.

Si dimostra, nel seguito, che il posizionamento di un unico dispersore in prossimità delle opere puntuali presso i tronchi individuati in precedenza, soddisfa gli obiettivi prefissati relativi all'efficienza del sistema di protezione catodica per le condotte sottese secondo lo schema che si riporta nella tabella al paragrafo precedente.

La resistenza R_d del dispersore rispetto alla terra di riferimento, e nello specifico è ricavata con la formula relativa ai dispersori profondi in letti di posa continui:

$$R_d = (\rho \div 2\pi L) \times [(\ln 8L/D) - 1] [\Omega]$$

dove:

- $\rho = 100 \Omega \times m$ è il valore ipotizzato per la resistività media del terreno intorno al dispersore;
- $L = 10 \text{ m}$ è la lunghezza del letto di posa di materiale reattivo;
- \ln = logaritmo naturale;
- $D = 0,22 \text{ m}$ è il diametro del letto di posa reattivo.

Per la definizione della resistività si utilizzano i dati rivenienti dalla relazione geologica e geotecnica per le formazioni litologiche in esso esaminate. Il valore fissato per la resistività del terreno tiene conto della prevalenza nel sottosuolo di argille, sabbie e conglomerati. Dai dati disponibili, si ricava un valore minimo di resistività applicabile di $100 \Omega \times m$, cui consegue una resistenza di terra del dispersore di circa $7,8 \Omega$.

Più in dettaglio, ai fini del calcolo della resistenza totale R_c del circuito dispersore-terreno-tubazione, si tiene conto del fatto che ai valori R_d di resistenza sopra calcolati bisogna aggiungere i contributi della resistenza dei cavi che collegano l'alimentatore con il dispersore e con la struttura; pertanto la resistenza del circuito collegato ai morsetti di uscita dell'alimentatore nel primo tratto è pari a:

$$R_c = R_d / 0,85 = 9,2 \Omega$$

essendo 0,85 il coefficiente che tiene mediamente conto delle resistenze ausiliarie del circuito.

La corrente massima erogabile dal dispersore è data dal seguente valore:

$$I_{max} = 50 / R_c = 5,45 A$$

essendo 50 V la tensione massima applicata ai morsetti di uscita dell'alimentatore.

Pertanto si necessita di un sistema di protezione catodica costituito da una stazione in grado di erogare una corrente teorica massima di circa 5,45 A, sufficiente a soddisfare il fabbisogno di corrente di protezione dell'intero schema di condotte sottese come desumibile dalla tabella riepilogativa riportata e con ampio margine di sicurezza, per tutto il tempo di vita utile degli impianti.

Identificativo tronco	Corrente impressa richiesta (A)
Tronco 1	5,45

La durata teorica del dispersore così previsto è data dalla somma delle durate dell'anodo di titanio e del tubo di acciaio. La durata in mesi T1 dell'anodo di titanio attivato è data dalla relazione:

$$\log T1 = 3,477 - \log (i + v)$$

dove:

- 3,477 è una costante;
- i = densità di corrente anodica;
- v = 0,33 i è un coefficiente di sicurezza.

Ipotizzando che l'anodo eroghi costantemente la corrente di 5,45 A, si ottiene il valore T1 = 414 anni

La durata T2 del tubo di acciaio al carbonio è data dalla relazione:

$$T2 = \mu M / I \times C$$

dove:

μ = 0,75 coefficiente di utilizzazione prudenziale;

$M = 250 \text{ kg}$ massa complessiva;

$I = 5,45 \text{ A}$, corrente massima da;

$C = 10 \div 13 \text{ kg/A anno}$.

Il calcolo fornisce un valore di circa 3-4 anni.

Tale durata è suscettibile di sensibili riduzioni per il verificarsi di eventi imprevedibili, quali il cedimento del pozzo a seguito di assestamenti del terreno, la rottura del cavo autoportante dell'anodo, l'aumento della corrente erogata in funzione di variazioni del fabbisogno della condotta, il graduale dissolvimento del letto di posa attraverso cavità presenti nel terreno, ecc.

Esperienze ormai consolidate portano a ritenere che la densità di corrente prima ipotizzata, assorbita da una tubazione posata in stato di protezione, risulta essere ampiamente sufficiente qualora si tratti di tubazione nuova, con rivestimento di qualità in buono stato e con giunti perfettamente isolati con nastro in polietilene o fascia termorestringente, su tracciati senza diramazioni e con accessori bene isolati dal terreno di posa.

Si precisa che sia l'alimentatore che l'anodo impiegato sono esuberanti rispetto ai calcoli teorici di corrente erogata, vista l'ampia cautela usata nel definire la resistenza elettrica del rivestimento; il sistema così dimensionato sarà in grado di rispondere ad esigenze ulteriori di potenza eventualmente necessaria in sede di avviamento all'esercizio oppure, nel tempo per il naturale degrado dell'isolamento della condotta.