

Valutazione dell'isolamento tra una condotta e un tubo camicia mediante l'utilizzo di monitoraggio remoto e coupon

a cura di: I. Magnifico, R. Gutiérrez, A. Bonetti

I tubi camicia in acciaio sono installati per fornire una protezione meccanica aggiuntiva per le condotte che attraversano siti con possibilità di stress meccanico significativo (come strade, ferrovie o corsi d'acqua) o aree con alta densità di popolazione. Per garantire che la protezione catodica applicata ad una condotta in presenza di un tubo camicia possa funzionare in modo efficace, è fondamentale che non esista alcun contatto accidentale (elettrico o elettrolitico) tra loro: la presenza di un contatto deve essere valutata e ci sono diverse tecniche che possono essere utilizzate per questo scopo. In questo paper è stata applicato il metodo proposto nell'Allegato 2 dalla Raccomandazione Cefracor PCRA n. 10 per verificare la presenza e il tipo di contatto tra una condotta e il suo tubo camicia in una reale esperienza sul campo mediante monitoraggio remoto e coupon. Inoltre, questa tecnica è stata integrata e confrontata con quella più tipicamente utilizzata, ovvero il ciclo ON/OFF dell'alimentatore di protezione catodica, e sono stati simulati diversi contatti elettrici resistivi per verificare i risultati ottenuti dalle due metodologie.

PAROLE CHIAVE: PROTEZIONE CATODICA, ISOLAMENTO, TUBO CAMICIA, MONITORAGGIO REMOTO, COUPON

INTRODUZIONE

Dal punto di vista meccanico, i tubi camicia svolgono molto bene il compito di trasferire al terreno sottostante le sollecitazioni meccaniche provenienti dalla superficie, ma hanno sempre rappresentato una criticità in termini di valutazione della protezione catodica, poiché la corrosione del tubo all'interno può verificarsi quando l'isolamento tra le due strutture metalliche risulti compromesso, sia a causa di un contatto elettrolitico (acqua o terreno che entra nello spazio tra la condotta e il tubo camicia) o per contatto metallico diretto (se qualche oggetto metallico o rottame metallico crea un contatto diretto tra i due tubi). Per questo motivo è richiesta una sorveglianza periodica sul tubo camicia attraverso rilievi di potenziale [1] per la determinazione dello stato elettrico.

Esistono diversi metodi suggeriti per controllare lo stato elettrico: il ciclo ON/OFF dell'alimentatore di protezione catodica su una delle due strutture metalliche, tra le

I. Magnifico

Automa S.r.l., Ancona

R. Gutiérrez

Exolum, Madrid, Spain

A. Bonetti

Cathodic Protection Co Ltd, Grantham, UK

quali si sospetta la presenza del contatto, è il metodo più utilizzato.

In questo paper è stata applicata la tecnica proposta nell'Allegato 2 della Raccomandazione Cefracor PCRA n. 10 per verificare la presenza e il tipo di contatto tra un tubo e il suo tubo camicia in una reale esperienza sul campo mediante monitoraggio remoto e coupon, e i suoi risultati confrontati e combinati con quelli ottenuti dal ciclo ON/OFF dell'alimentatore. Dopo una prima valutazione, sono stati quindi forzati diversi contatti elettrici resistivi per verificare i limiti fino ai quali tali tecniche sono in grado di fornire risultati affidabili.

ALLEGATO 2 DELLA RACCOMANDAZIONE CEFRACOR PCRA N. 10 [2]

Nell'Allegato 2 della raccomandazione Cefracor PCRA n.10 "Protection contre la corrosion des canalisations aux passages en fourreaux - Prévention et contrôle", è descritto un metodo per valutare l'isolamento tra un tubo camicia e la condotta mediante un coupon e analizzandone la polarizzazione. Lo schema è quello indicato in Fig.1: il coupon e l'elettrodo di riferimento associato vengono posizionati accanto alla condotta da verificare e la loro posizione deve essere mantenuta la stessa per tutta la durata della prova.

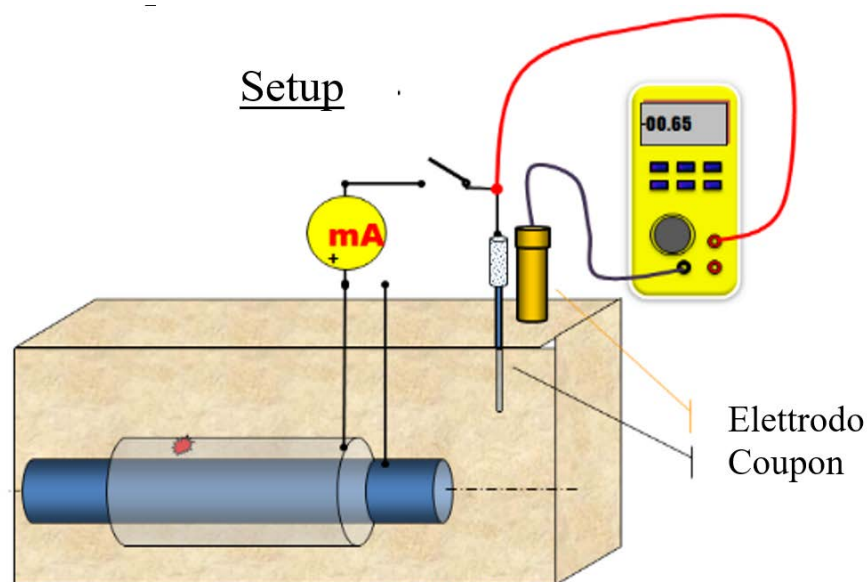


Fig.1 - Setup installazione dall'Allegato 2 della PCRA n.10 / Installation setup from Annex 2 of PCRA n.10.

Le misure che verranno considerate sono le seguenti:

- E_{on} : potenziale del coupon collegato alla struttura metallica (condotta o tubo camicia),
- E_{off} : potenziale del coupon scollegato dalla struttura metallica,
- I_T : corrente attraverso il coupon quando connesso alla struttura (nota: secondo lo schema in Fig.1, la corrente catodica ha valori negativi in quanto il coupon è collegato al terminale negativo del datalogger).

L'intero metodo può essere riassunto in tre fasi principali: prima si annotano le misure effettuate con il coupon collegato al tubo camicia, poi le misure con il coupon collegato alla condotta, ed infine si confrontano le misure ottenute secondo lo schema di Fig.2 per determinare la presenza di un contatto diretto, elettrolitico o l'assenza di qualsiasi contatto:








	Analisi misure			Conclusioni
	E_{on}	E_{off}	I_t	Direzione della corrente nel coupon
Caso 1	$E_{on} \text{ condotta} \approx E_{on} \text{ tubo camicia}$	$E_{off} \text{ condotta} < E_{off} \text{ tubo camicia}$	$I_t \text{ condotta} < I_t \text{ tubo camicia}$	Contatto diretto
Esempio	$E_{on} \text{ condotta} = -2,5 \text{ V}$	$E_{off} \text{ condotta} = -1 \text{ V}$	$I_t \text{ condotta} = -1,0 \text{ mA}$	
	$E_{on} \text{ tubo camicia} = -2,5 \text{ V}$	$E_{off} \text{ tubo camicia} = -1 \text{ V}$	$I_t \text{ tubo camicia} = -1,0 \text{ mA}$	
Caso 2	$E_{on} \text{ condotta} = E_{on} \text{ tubo camicia}$	$E_{off} \text{ condotta} = E_{off} \text{ tubo camicia}$	$I_t \text{ condotta} = I_t \text{ tubo camicia}$	Contatto elettrolitico
Esempio	$E_{on} \text{ condotta} = -2,5 \text{ V}$	$E_{off} \text{ condotta} = -1 \text{ V}$	$I_t \text{ condotta} = -1,0 \text{ mA}$	
	$E_{on} \text{ tubo camicia} = -2,0 \text{ V}$	$E_{off} \text{ tubo camicia} = -0,7 \text{ V}$	$I_t \text{ tubo camicia} = -0,2 \text{ mA}$	
Caso 3	$E_{on} \text{ condotta} < E_{on} \text{ tubo camicia}$	$E_{off} \text{ condotta} \ll E_{off} \text{ tubo camicia}$	$I_t \text{ condotta} \ll I_t \text{ tubo camicia}$ $I_t \text{ tubo camicia} \approx 0$	Nessun contatto
Esempio	$E_{on} \text{ condotta} = -2,5 \text{ V}$	$E_{off} \text{ condotta} = -1 \text{ V}$	$I_t \text{ condotta} = -1,0 \text{ mA}$	
	$E_{on} \text{ tubo camicia} = -1 \text{ V}$	$E_{off} \text{ tubo camicia} = -0,5 \text{ V}$	$I_t \text{ tubo camicia} = -0,1 \text{ mA}$	
Esempio	$E_{on} \text{ condotta} = -2,5 \text{ V}$	$E_{off} \text{ condotta} = -1 \text{ V}$	$I_t \text{ condotta} = -1,0 \text{ mA}$	
	$E_{on} \text{ tubo camicia} = -0,6 \text{ V}$	$E_{off} \text{ tubo camicia} = -0,3 \text{ V}$	$I_t \text{ tubo camicia} = 0,1 \text{ mA}$	
Legenda	 Condotta + Tubo Camicia	Coupon 		Cavo tra condotta e tubo camicia

Fig.2 - Analisi dei risultati in relazione al rischio di contatto / Results analysis according to the contact risk.

CONFIGURAZIONE DELLA PROVA IN CAMPO

Per testare il metodo e confrontarlo con l'interruzione ciclica dell'alimentatore, è stata scelta una postazione nel Regno Unito lungo la rete di condotte del gestore "Exolum", in prossimità di un attraversamento ferroviario, con un tubo camicia nudo a protezione del tubo. Si è eseguito un monitoraggio in parallelo sia su tubo camicia che su condotta tramite 2 dispositivi di monitoraggio remoto, in modo da gestire i collegamenti dei due coupon, posti alla stessa distanza (5 cm) dall'elettrodo di riferimento (CSE) permanente e comune alle misure di potenziale effettuate, a sua volta posto a circa 50 cm dalle due strutture, se-

condo lo schema di Fig.3.

Le misurazioni eseguite alla frequenza di 1Hz (1 misura al secondo) su ogni dispositivo e per ogni grandezza sono:

- $E_{on,dc}$: potenziale ON DC;
- E_{off} : instant-off su coupon (1 ms di attesa dopo apertura e misura su 20ms)
- m_{on} : corrente di polarizzazione del coupon, la stessa di I_T nell'Allegato 2 della PCRA n.10 ma, secondo il setup di

Fig.3, la corrente in questo caso è catodica in presenza di valori positivi.

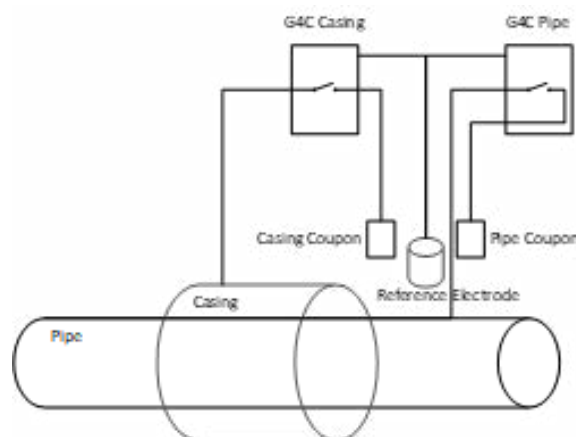


Fig.3 - Setup del test in campo / Field test setup.

Si è prima verificata l'assenza di un contatto elettrico, successivamente si sono riapplicati entrambi i metodi sia forzando un contatto elettrico diretto, che resistivo (con diversi valori di resistenza: $0,4\Omega$ - $1,1\Omega$ - 2Ω - 3Ω - 4Ω - 5Ω - $10,1\Omega$ - 33Ω) per testare fino a che condizione si riescano ad ottenere risultati affidabili.

RISULTATI OTTENUTI

Osservando tutti i dati in Tab.1 e la loro evoluzione ottenuta nelle diverse condizioni di collegamento, si può presumere che, per il metodo analizzato, si possano ottenere risultati attendibili fino ad un valore di 2Ω . D'altra

parte, considerando una singola misura eseguita senza conoscere i valori storici, un collegamento con resistenza equivalente di $1,1\Omega$ può essere già difficile da rilevare correttamente. Il valore più significativo in grado di dare indicazioni corrette anche su una singola misura, sembra essere la corrente di polarizzazione del coupon del tubo camicia, ma questo comporta che il coupon debba essere installato per un periodo sufficiente di tempo per essere adeguatamente polarizzato. In ogni caso, un monitoraggio continuo (mediante frequenti misurazioni sul campo o mediante monitoraggio remoto) aiuta a riconoscere più chiaramente un contatto quando questo si verifichi.

Tab.1 - Valutazione nelle diverse condizioni di test secondo il PCRA n.10 / Assessment according to PCRA n.10 in the different test conditions.

Cefracor	Disconnesso	In corto	$0,4\Omega$	$1,1\Omega$	2Ω	3Ω
Eon condotta (V CSE)	-1,427	-0,838	-0,952	-1,092	-1,183	-1,248
Eoff condotta (V CSE)	-1,249	-0,838	-0,988	-1,068	-1,137	-1,180
mIon condotta (mA)	1,175	0,002	-0,267	0,084	0,244	0,443
Eon camicia (V CSE)	-0,748	-0,822	-0,808	-0,792	-0,782	-0,775
Eoff camicia (V CSE)	-0,748	-0,819	-0,801	-0,789	-0,780	-0,772
mIon camicia (mA)	0,002	0,015	0,034	0,019	0,022	0,018
Risultato	Nessun contatto	Contatto diretto	Contatto elettrolitico	Contatto elettrolitico	Contatto elettrolitico	Nessun contatto

I dati ottenuti dall'interruzione ciclica dell'alimentatore sono rappresentati nella tabella Tab.2 con i valori corrispondenti allo swing medio misurato sui potenziali delle strutture: si considera la differenza tra l'ultimo valore di

On (all'istante T) e il primo valore di Off (all'istante t+1 secondo), ottenuti sui potenziali della condotta e del tubo camicia durante il test per poter valutare meglio la variazione ($\Delta E = E_{Off_{t+1}} - E_{On_t}$).

Tab.2 - Valutazione nelle diverse condizioni con ciclo ON-OFF dell'alimentatore / Assessment according to ON-OFF cycle on T/R in the different test conditions.

T/R ON-OFF Δ	Disconnesso	In corto	$0,4\Omega$	$1,1\Omega$	2Ω
ΔE condotta (V CSE)	0,251	0,026	0,070	0,127	0,160
ΔE camicia (V CSE)	-0,007	0,019	0,014	0,008	0,005
Risultato	Nessun contatto	Contatto diretto	Contatto elettrolitico	???	Nessun contatto

Analizzando i dati, si può presumere che con questo metodo si possano ottenere risultati affidabili fino a un valore di soli 0,4 Ω. A 1,1 Ω si possono ancora trarre delle conclusioni corrette, ma solo utilizzando strumenti di misura con alta accuratezza in grado di misurare chiaramente variazioni di pochi mV.

A questo punto sono state analizzate allo stesso modo anche le misure effettuate sul coupon durante l'interruzione ciclica dell'alimentatore: risulta molto interessante

in particolare il comportamento della corrente di polarizzazione del coupon del tubo camicia, sul quale è possibile identificare l'inversione di polarità nei secondi in cui l'alimentatore è in OFF.

Il valore di corrente in mIon (mA), è il primo valore misurato dopo l'off dell'alimentatore, al secondo t + 1 (al tempo t, il valore era catodico, con mIon > 0 mA).

Tab.3 - Risultati ottenuti combinando le misure sul coupon del tubo camicia e il ciclo ON/OFF dell'alimentatore / Results obtained by combining casing coupon measurement and T/R ON-OFF.

T/R ON-OFF	Disconnesso	In corto	0,4 Ω	1,1 Ω	...	5 Ω	10,1 Ω	33 Ω
mIon tubo camicia (mA)	0,003	-0,097	-0,073	-0,057	...	-0,019	-0,005	0,000
Risultato	Nessun contatto	Contatto diretto	Contatto elettrolitico	Contatto elettrolitico	...	Contatto elettrolitico	???	Nessun contatto

In Fig.4 viene mostrato un esempio dell'effetto dell'interruzione ciclica dell'alimentatore sulla corrente di polarizzazione del coupon del tubo camicia a 5 Ω.

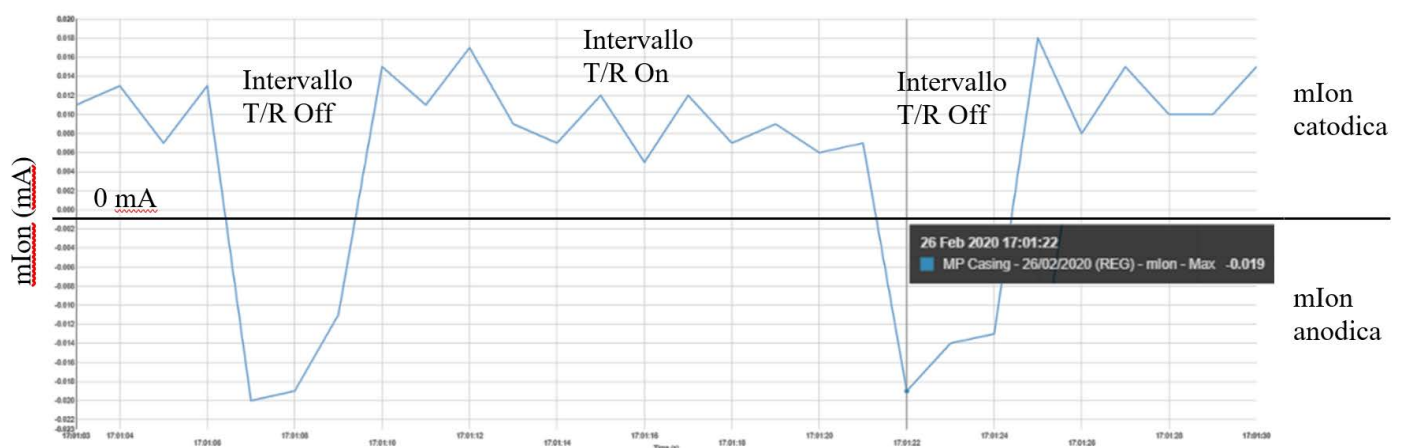


Fig.4 - Effetto dell'interruzione ciclica sulla corrente di polarizzazione del coupon del tubo camicia @ 5 Ω / Cycling effect on casing coupon polarization current @ 5 Ω.

La presenza di un contatto resistivo può essere chiaramente identificata fino ad un valore di resistenza di almeno 5 Ω, e anche a 10,1 Ω può comunque essere rilevato con strumenti di misura con elevata accuratezza, consentendo di valutare la presenza di un contatto tra condotta

e tubo camicia in un range molto più ampio rispetto ad entrambi i metodi analizzati singolarmente. Inoltre, la valutazione può essere effettuata anche in assoluta assenza di dati storici.

CONCLUSIONE

L'Allegato 2 del Cefracor PCRA n.10 descrive un metodo per valutare la presenza di un contatto tra una condotta e il suo tubo camicia mediante coupon: uno dei maggiori vantaggi di questo metodo è la possibilità di eseguire un test limitato al sito interessato senza coinvolgere l'intero sistema di protezione catodica, come quando si esegue l'interruzione ciclica degli alimentatori di protezione catodica. Il test in campo eseguito mostra come, nelle condizioni descritte e considerando un range di possibili contatti (nessun contatto, contatto diretto e differenti collegamenti resistivi), su una valutazione puntuale (es: utilizzo di coupon portatile e nessun dato storico disponibile), questo metodo fornisca almeno gli stessi risultati ottenuti dall'interruzione ciclica degli alimentatori, rilevando correttamente una condizione di assenza di contatto e di contatto diretto e contatto resistivo fino a un valore di

resistenza di $1,1 \Omega$. Considerando invece un monitoraggio frequente (tramite misura con operatore o meglio ancora tramite monitoraggio remoto), attraverso il confronto dei dati storici, il metodo Cefracor può coprire anche un range un po' più ampio fino ad un valore di resistenza di 2Ω . Tra i diversi parametri osservati, quello in assoluto più significativo risulta essere la corrente di polarizzazione misurata sul coupon collegato al tubo camicia: in combinazione con l'interruzione ciclica degli alimentatori, il suo valore sembra poter determinare la presenza di contatti di quasi tutti i tipi (anche fino a $10,1 \Omega$ con strumenti di misura di buona accuratezza). Per ottenere i migliori risultati, l'installazione di un elettrodo di riferimento permanente con coupon e un dispositivo di monitoraggio remoto è una buona opzione da considerare.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] ISO 16440:2016 "Petroleum and natural gas industries — Pipeline transportation systems — Design, construction and maintenance of steel cased pipelines"
- [2] Recommendation PCRA 010 "Protection contre la corrosion des canalisations aux passages en fourreaux - Prévention et contrôle", Cefracor

Assessment of isolation between a metallic casing and a pipeline by means of remote monitoring and coupon

Steel casings are installed to provide additional mechanical protection for pipelines crossing sites with possibility of significant mechanical stress (like roads, railways or watercourses) or areas with high population densities. To guarantee that the cathodic protection (CP) applied to a pipeline in presence of a casing could work in an effective way, it is fundamental that no contact (electrical or electrolytic) would exist between pipe and casing. In the presence of a contact, the CP could still work, but an assessment will be required using an effective technique from the different options that can be used for this purpose. In this paper, the technique proposed in Annex 2 from Cefracor Recommendation PCRA n. 10 has been applied to check the presence and the type of contact between a pipe and its casing in a real field experience by means of remote monitoring and coupons. Furthermore, the technique has been integrated with the ON/OFF cycling of the TR and different electrical resistive contacts have been simulated to check the conditions where the technique can give proper results.

KEYWORDS: CATHODIC PROTECTION, INSULATION, CASING, REMOTE MONITORING, COUPON