

E-Log(I) TEST SU POZZI DI PRODUZIONE - CASO STUDIO

Vincenzo Saviello
Enereco S.p.A.
Via Einaudi, n. 82
Fano 6102, Italia

SOMMARIO

Lo scopo del presente lavoro è descrivere il test E-log-I eseguito su pozzi di produzione petrolifera in un'area nel sud dell'Iraq. Lo scopo era, all'epoca, di determinare la corrente CP da applicare ai nuovi casings dei pozzi per proteggerli dalla corrosione superficiale esterna.

Inizialmente, le misurazioni del potenziale CP sono state eseguite su involucri di pozzo esistenti dotati di pompe dell'olio e associato VSD (Variable Speed Driver) - l'apparecchiatura utilizzata per gestire il motore alimentato in CA della pompa installata all'interno del casing dei pozzi di produzione.

Come verificato durante le misurazioni e per la presenza di pompe e VSD, la rete di messa a terra non può essere completamente isolata dal casing, invalidando così i risultati dei test su alcune delle strutture analizzate.

A tal fine, sono state eseguite le prove finali su nuovi casings collegati alle relative teste pozzo, dove le pompe e i VSD non erano ancora stati installati, ottenendo la tipica curva E-log-I da utilizzare per la progettazione del sistema CP. Tali prove hanno anche confermato l'ipotesi di drenaggio creato dal collegamento a terra dovuto alle pompe installate e ai relativi VSD.

Il documento presenta le misurazioni potenziali e l'analisi dei dati, fornisce una spiegazione tecnica del drenaggio causato dal collegamento a terra del VSD della pompa e include istruzioni e foto che mostrano il sistema temporaneo e/o permanente utilizzato per eseguire le prove e la curva E-log-I finale ottenuta.

Parole Chiave: casing, E-log(I) test, Tafel, NACE SP0186.

INTRODUZIONE

Il criterio E-log(I) descritto nello standard NACE SP0186-2007 "Application of Cathodic Protection for External Surfaces of Steel Well Casings" afferma che una protezione adeguata si ottiene con "una tensione almeno altrettanto negativa (catodica) di quella originariamente stabilita all'inizio del segmento Tafel del

Curva E-log(I). Questa tensione deve essere misurata tra la superficie della struttura e una semi-cella satura di rame-solfato di rame a contatto con l'elettrolita".

Secondo quanto sopra, lo scopo del test E-log(I) è conoscere la corrente richiesta per proteggere il casing relativo al pozzo di produzione e consentire il calcolo della densità di corrente necessaria. Ciò si ottiene erogando corrente continua sulla superficie esterna del casing per mezzo di una sorgente in CC associata ad un dispersore, e quindi misurando i potenziali "ON" e "OFF" istantaneo della struttura stessa mentre la corrente applicata viene aumentata gradualmente attraverso la sorgente in CC.

Il test E-log(I) come descritto nello standard NACE SP0186 è una metodologia consolidata, preferibilmente eseguita sul campo in fase di progettazione iniziale, al fine di definire i corretti valori di corrente da utilizzare nel successivo dimensionamento del sistema CP a corrente impressa.

Questo documento discute di una serie di test E-log(I) eseguiti in un giacimento petrolifero situato nell'Iraq meridionale (Regione di Bassora), finalizzata alla determinazione di un valore di corrente ottimale da applicare per la protezione catodica di cinquantasei (56) nuovi casings di pozzi di produzione olio raggruppati all'interno di sei (6) diverse aree di impianto.

Tutti i casings sono stati distribuiti in 6 aree di impianto disposte in un numero di 8 o 10 casings con le relative teste pozzo (cluster) per area. Gli impianti sono ubicati nella stessa area con una distanza di circa 2 km tra loro.

In quest'area sono poi stati costruiti nuovi casings, oggetto delle prove, mentre la produzione era iniziata alcuni anni prima mediante l'installazione di casings e teste pozzo, per i quali si è dovuto progettare e realizzare un nuovo sistema di protezione catodica.

Nelle restanti 2 aree dell'impianto sono state realizzate nuovi casings e relative teste pozzo ma la produzione non era ancora iniziata al momento dell'esecuzione di queste prove e non erano presenti sistemi PC esistenti. Inoltre, poiché i casings non erano in produzione, al momento delle prove non erano presenti pompe di collegamento o tubazioni o collegamenti alla rete di messa a terra.

Ai fini della progettazione, le prove E-log(I) sono state ritenute necessarie per l'assenza di tali prove sui casings esistenti, per i quali era stata considerata una corrente di progetto di 15 A e utilizzata per progettare i sistemi di protezione catodica esistenti.

Inoltre, per i nuovi pozzi presenti in 4 aree impiantistiche è stato realizzato un sistema di produzione provvisorio per il quale si è reso necessario progettare ed installare un nuovo sistema di protezione catodica.

Le Tubazioni (Flowlines) temporanee associate a queste nuove teste pozzo risultavano fuori terra a cui sono stati installati kit di isolamento per isolare elettricamente i casings interrati dalle tubazioni associate alle teste pozzo.

I test E-Log(I) per la progettazione dei sistemi di PC per la protezione dei casings relativi alle teste pozzo, sono stati eseguiti utilizzando due diversi scenari:

- **Casings relativi a teste pozzo esistenti ed in servizio**: tramite connessioni temporanee con tubazioni fuori terra isolate elettricamente e relative pompe regolate tramite un sistema VSD. Il sistema VSD viene utilizzato per impostare le prestazioni di prevalenza del pozzo durante la fase di produzione, evitando possibili cavitazioni della pompa e conseguenti guasti.
- **Nuovi casings relativi a nuove teste pozzo, non in servizio**, per i quali è stato necessario installare le pompe con il sistema VSD e le relative tubazioni di produzione al momento delle prove.

Sono stati eseguiti venti (20) test E-Log(I) in totale. Per alcuni di questi sono stati utilizzati i sistemi di protezione catodica esistenti, mentre è stato installato un sistema temporaneo dove non era possibile utilizzare quello esistente, al fine di eseguire i tests in campo.

Il sistema provvisorio è stato utilizzato anche nei casi in cui il dispersore del sistema di PC esistente non era in grado di fornire la corrente richiesta per la polarizzazione del casing interrato.

Al fine di evitare ogni possibile interferenza, prima dell'esecuzione di tutte le prove, sono stati scollegati tutti i collegamenti di terra (con la sola eccezione del collegamento diretto a terra del Sistema VSD) e tutti i sistemi PC presenti nell'area dell'impianto, è stato applicato un periodo di depolarizzazione di 48 ore, e sono stati registrati potenziali di libera corrosione.

Le prove considerate nel presente documento sono le più significative ai fini dello scopo e due (2) di esse sono state selezionate per il progetto del sistema di protezione catodica dei casings relativi alle teste pozzo di nuova installazione.

CONSIDERAZIONI PRE TEST

Secondo lo standard NACE SP0186, i metodi di scelta per valutare la corrente di progetto della protezione catodica richiesta per proteggere la superficie esterna dei casings dei pozzi di produzione sono i seguenti:

1. Uso di uno strumento di profilatura per misurare la caduta di tensione (IR) attraverso una porzione di casing in servizio;
2. Utilizzo di un modello matematico basato su un'equazione di attenuazione modificata;
3. Test E-log(I).

Per lo scopo è stato selezionato il metodo di Test E-log(I), principalmente a causa della necessità aggiuntiva di stimare un'adeguata densità di corrente da applicare ai casings dei pozzi di produzione nell'ambito del progetto. È stato escluso l'utilizzo di uno strumento di profilatura, in quanto ritenuto inapplicabile alla maggior parte dei casings oggetto di indagine, in quanto già in servizio e quindi la presenza di un Christmas Tree non consentiva l'utilizzo di uno strumento di profilatura. Inoltre, basandosi sui dati sul campo raccolti dai test E-log(I), si stima che applichi un modello matematico teorico.

Si è quindi deciso di eseguire diversi test a campione su arre di impianto diverse. Sebbene sia noto che un prerequisito per eseguire un test E-log(I) affidabile è che il casing del pozzo di produzione in esame

sia isolato elettricamente da qualsiasi struttura metallica estranea, date le condizioni del sito, le misurazioni sono state effettuate considerando due differenti scenari principali:

- a) Casings relativi a pozzi di produzione in servizio, già protetti catodicamente da un sistema CP a corrente impressa. In questo caso, tutte le connessioni della rete di messa a terra accessibili sono state aperte, ma le pompe alimentate in CA ed il relativo sistema VSD collegato meccanicamente al casing sono stati mantenuti in servizio, di conseguenza, questo risulta collegato a terra per permettere un funzionamento in sicurezza. Purtroppo, il sistema VSD, messo a terra tramite il collegamento diretto del motore della pompa, non poteva essere isolato quindi non è stato scollegato, in quanto il Proprietario non ha autorizzato l'inevitabile shut down del pozzo di produzione. Tuttavia, ha fornito alla corrente di prova un percorso preferenziale verso la rete di messa a terra in rame stagnato nudo. A tal fine, sono stati eseguiti ulteriori test sulla rete di messa a terra per comprendere il potenziale di messa a terra (realizzato con rame stagnato) e se fosse polarizzato o meno.
- b) Casings relativi a pozzi non ancora in servizio o non protetti catodicamente. In questo caso i casings dei pozzi di produzione non erano dotati di pompe o sistemi VSD, quindi erano completamente isolati elettricamente.

L'apparecchiatura del sistema CP a corrente impressa permanente (raddrizzatore, dispersore, cavi, ecc.) è stata utilizzata durante il test dei casings relativi ai pozzi in servizio, almeno inizialmente, mentre durante il test di casings relativi a pozzi non ancora in servizio è stata utilizzata una configurazione temporanea, costituita da un trasformatore e un dispersore temporaneo.

La posizione del dispersore temporaneo è stata posta ad una distanza sufficiente dal pozzo in esame, per garantire una distribuzione ottimale della corrente sul casing del pozzo stesso, e lontano da raddrizzatori estranei o altre sorgenti CC che avrebbero potuto influenzare il test. È stata valutata la "posizione remota" del dispersore temporaneo rispetto a tutte le strutture metalliche circostanti utilizzando la seguente formula³:

$$\%V_a = \frac{E_r}{IR} * 100 = \frac{\ln\left(\frac{L + (L^2 + r^2)^{0.5}}{r}\right)}{\ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1} * 100\% \leq 10\%$$

dove:

$\%V_a$ = percentuale dell'incremento del Voltaggio rispetto alla terra remota nel punto "r" [V]

E_r = incremento del Voltaggio rispetto alla terra remota nel punto r [V]

IR = incremento del Voltaggio rispetto alla terra remota del dispersore [V]

L = lunghezza della zona attiva del dispersore [m]

D = Diametro del dispersore [m]

r = Distanza Radiale dal dispersore [m].

Essendo il dispersore temporaneo esistente scelto costituito da un diametro di 0,219 m e una lunghezza di 30 m, e posizionato ad una distanza di 100 m, rispetto alla struttura, ne consegue che l'aumento di tensione risultante per il casing è di circa il 5% (rispetto al voltaggio all'anodo) come ricavato dal calcolo precedente e di seguito mostrato in forma grafica:

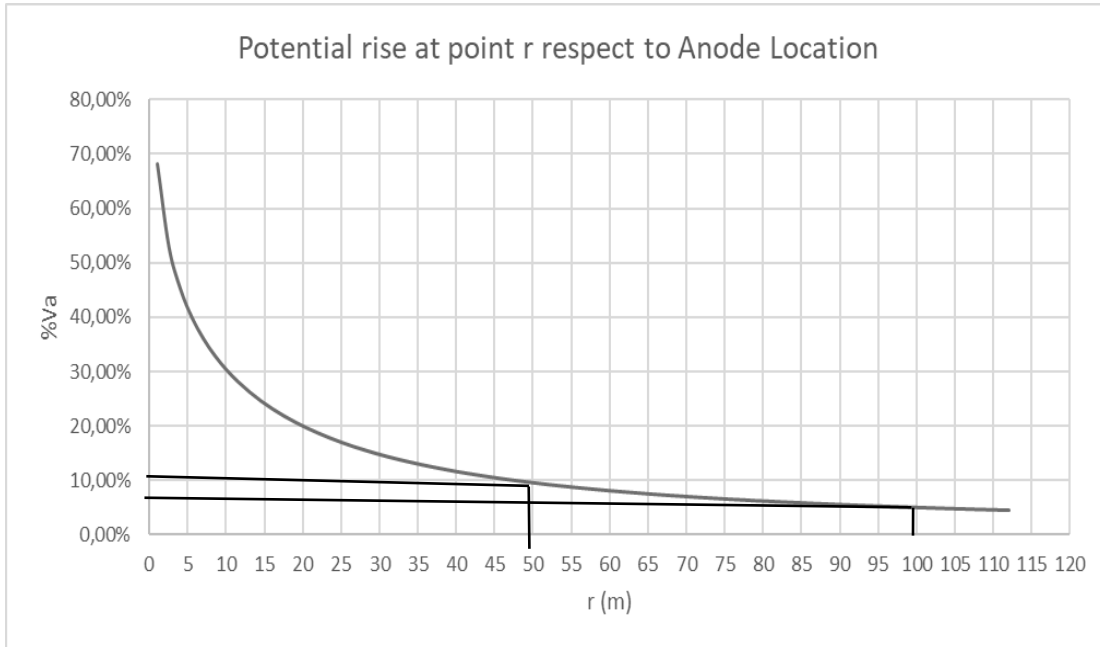


Figura 1 – Incremento del potenziale Vs distanza dal dispersore

Questa distanza (100 m) è stata poi utilizzata come posizione dell'anodo temporaneo durante i tests, al fine di consentire una distribuzione del potenziale uniforme sulla superficie del casing del pozzo e garantire che i dati raccolti sul campo fossero rappresentativi del design scelto per il sistema di CP permanente da installare.

La figura sottostante mostra come è costituito un tipico casing per un pozzo di produzione:

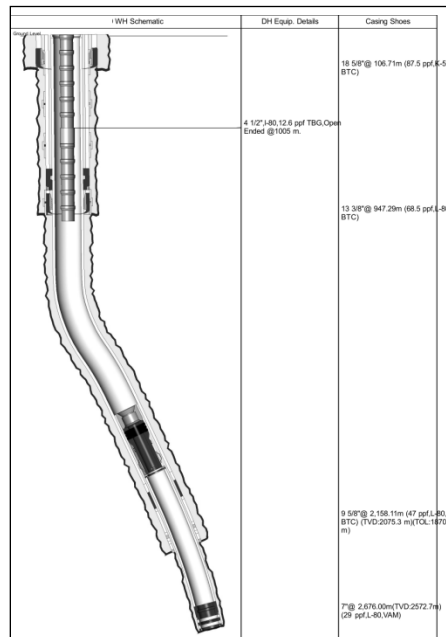


Figura 2 – Pozzo di produzione tipico

PROCEDURA PER I TEST IN CAMPO

Per i Casings dei pozzi in servizio, per eseguire i test E-log(I) è stato inizialmente utilizzato il sistema CP a corrente impressa esistente, compreso il suo dispersore profondo, eseguendo i seguenti passaggi:

1. È stata verificata la continuità/isolamento elettrico tra le parti metalliche della testa pozzo associata al casing da proteggere. I collegamenti meccanici tra le teste pozzo e le relative tubazioni (Flowlines) sono stati rimossi per garantire che solo il casing del pozzo in esame ricevesse la corrente di prova.
2. Il casing in esame è stato scollegato dagli altri, nel caso in cui più di uno di essi fosse protetto con lo stesso sistema CP.
3. Prima di iniziare il test, il sistema CP attivo sul Casing relativo alla testa pozzo in esame è stato spento per un periodo di 48 ore per depolarizzare la superficie esterna del casing stesso. Per lo stesso motivo, eventuali raddrizzatori estranei in funzione, o sorgenti in CC, che avrebbero potuto influenzare il test, sono stati spenti anch'essi 24 ore prima del test.
4. L'elettrodo di riferimento Cu/CuSO₄ (CSE) portatile utilizzato per il test è stato posizionato a 20 m di distanza dalla testa pozzo, sul lato opposto del dispersore in modo da evitare la sua influenza (es. campo elettrico del dispersore di prova).
5. Il potenziale di corrosione del casing relativo alla Testa Pozzo è stato misurato e registrato prima di iniziare il test.
6. Il sistema CP è stato quindi riattivato.
7. Un incremento predefinito di corrente (2A, secondo NACE SP0186) è stato impresso per un breve periodo di tempo (circa 3 minuti). È stata quindi registrata la corrente totale raggiunta. Il raddrizzatore è stato fatto funzionare in modalità a corrente costante.
8. La corrente di prova è stata interrotta ed è stato misurato e registrato il potenziale "instant OFF" del casing relativo alla Testa Pozzo rispetto all'elettrodo di tipo Cu/CuSO₄. Il periodo "OFF" è stato impostato su meno di 2 secondi.
9. I passaggi 7 e 8 sono stati ripetuti prevedendo ulteriori incrementi di corrente. Sono state effettuate almeno venti (20) diverse serie di letture, assicurando in loco che il numero di incrementi di corrente fosse sufficiente per definire il punto di intersezione con il segmento di Tafel come indicato nello Standard NACE SP0186.

Il cablaggio del sistema PC permanente utilizzato per il test E-log(I) è mostrato nella Figura 4.

Sfortunatamente i test eseguiti utilizzando i sistemi CP esistenti non sono stati significativi per problemi causati dalla limitata corrente disponibile ai dispersori esistenti (ad esempio alcuni non sono riusciti ad erogare correnti sufficienti ai tests o sono risultati fuori servizio) o anche a causa dell'inevitabile drenaggio di corrente dalla rete di terra collegata a motori delle pompe alimentati in CA ed ai sistemi VSD operanti su di esse.

Inoltre, in alcuni impianti, i Tests E-log(I) sono stati ripetuti su teste pozzo in servizio utilizzando un sistema Temporaneo, identico al modello utilizzato per la prova su casings di teste pozzo non ancora in servizio.

Il Sistema Temporaneo è costituito dai seguenti elementi:

- Un Trasformatore/Raddrizzatore portatile, AC input 430 V – 50 Hz, DC output DC 50 V – 50 A (è stata scelta una tensione non superiore a 50 V, per garantire la sicurezza del personale durante le operazioni).
- Un Generatore AC portatile alimentato a diesel, utilizzato nelle aree impianto dove ancora non era disponibile energia elettrica al momento del test.
- Un anodo temporaneo, costituito da quattro (4) barre di acciaio, 25 mm in diametro ed 1.5 m in lunghezza, conficcate nel terreno per la loro intera lunghezza.
- Cavi di drenaggio e di monitoraggio, da 25 e 10 mm² cdi sezione rispettivamente.

I Tests E-log(I) sono stati eseguiti ripetendo gli steps da 1 a 9, descritti in precedenza.

Il cablaggio relativo alla configurazione temporanea utilizzato per il test E-log(I) è mostrato nella Figura 5.

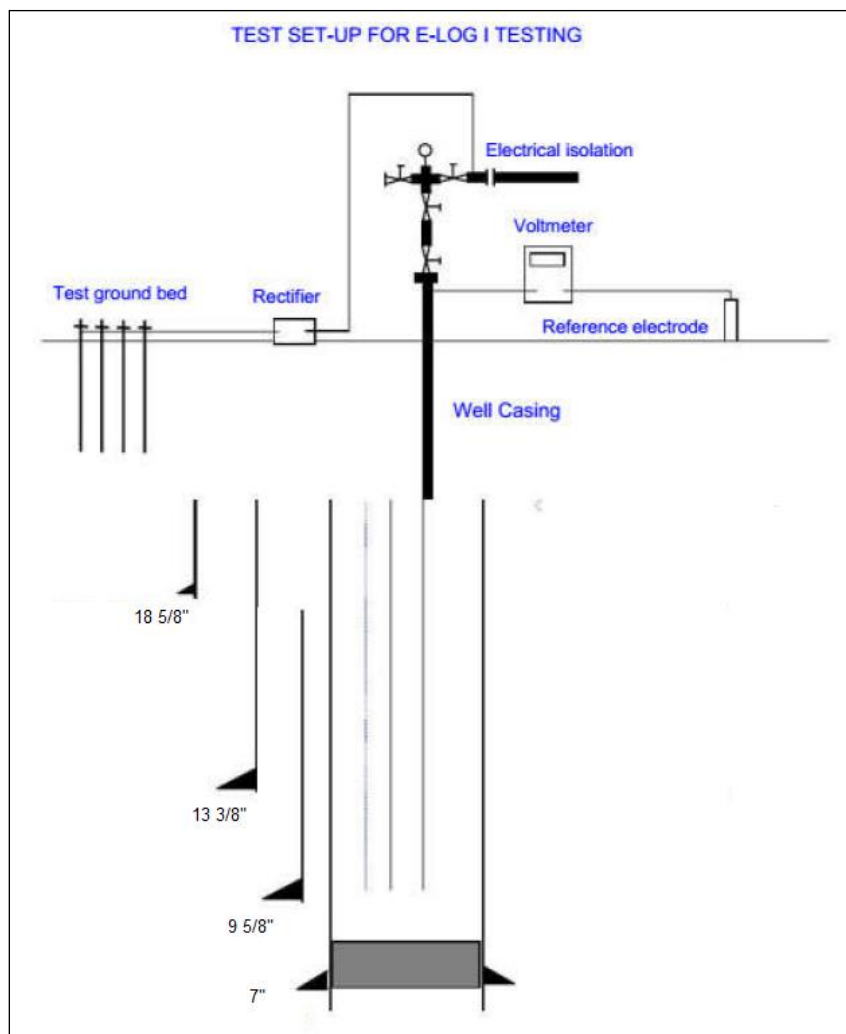


Figura 3- Tipico set up per E-Log(I) Test

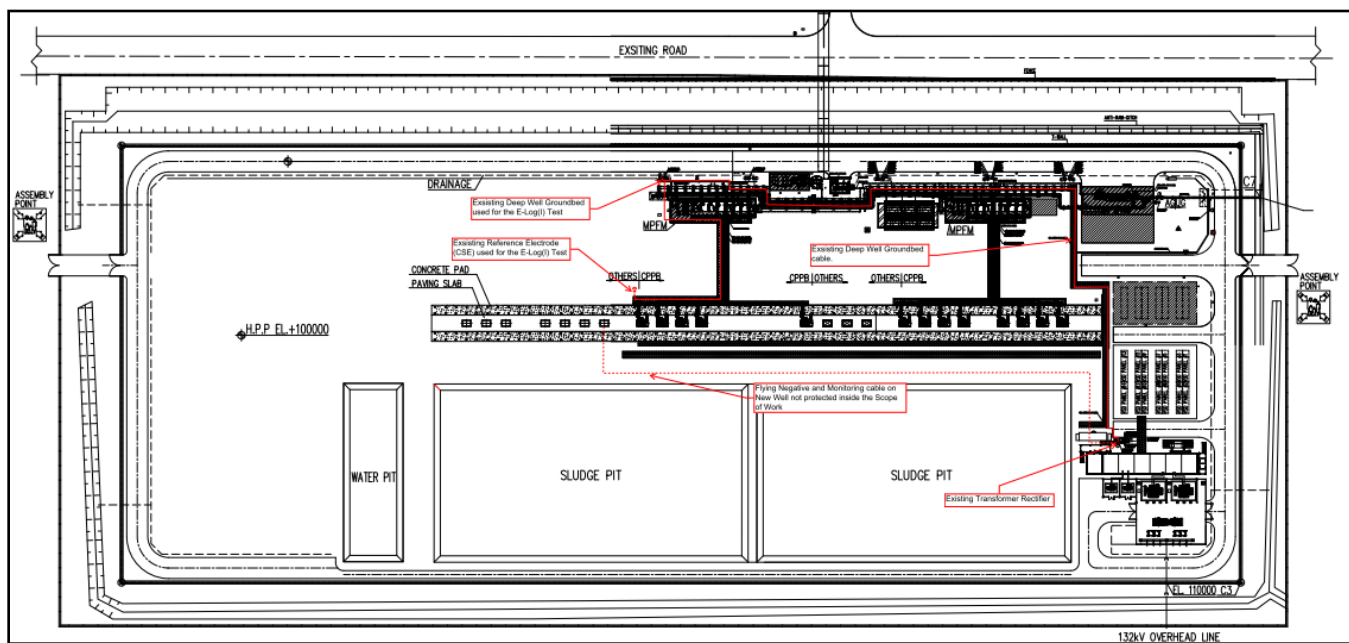


Figura 4 – Disposizione del Sistema per E-Log(I) Test usando un sistema di PC permanente

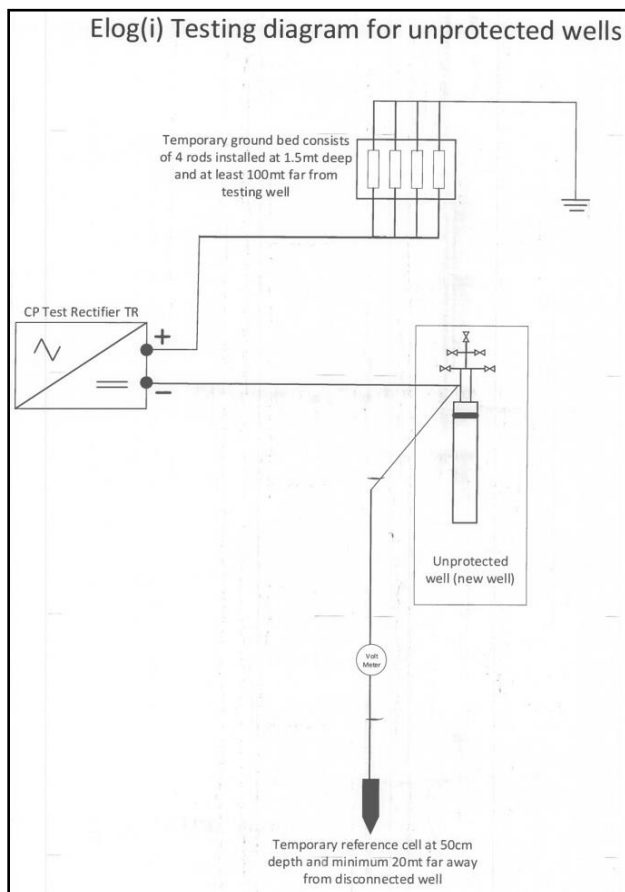


Figura 5 – Sistema temporaneo utilizzato per l'esecuzione del Test E-Log(I)

Le figure 6 e 7 mostrano in dettaglio la disposizione effettuata quando è stato utilizzato un sistema temporaneo di PC per eseguire le prove E-Log(I).

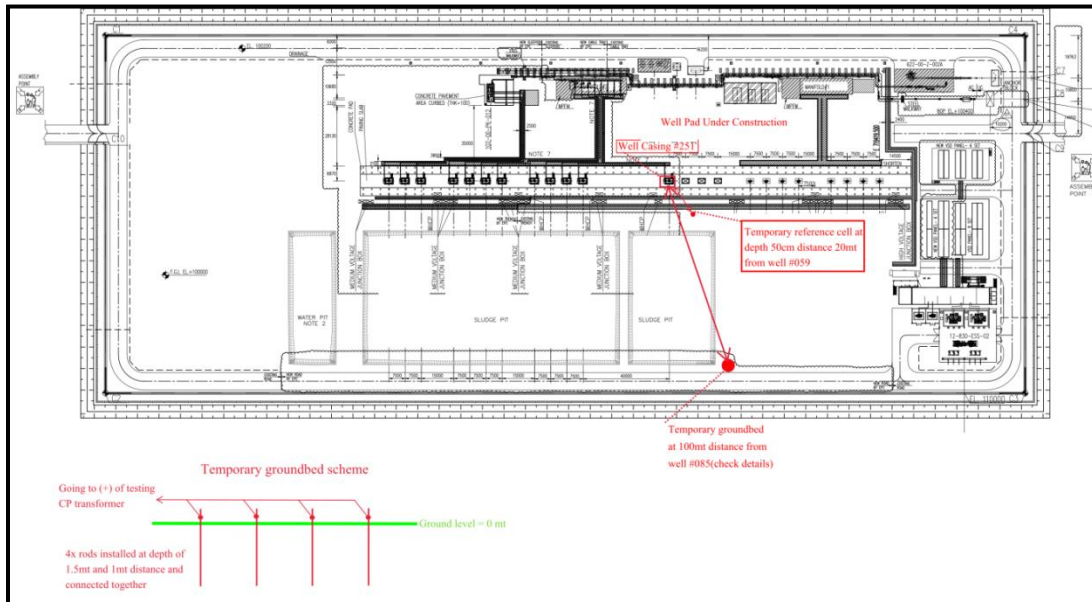


Figura 6 – Disposizione del Sistema Temporaneo per E-Log(I) Test

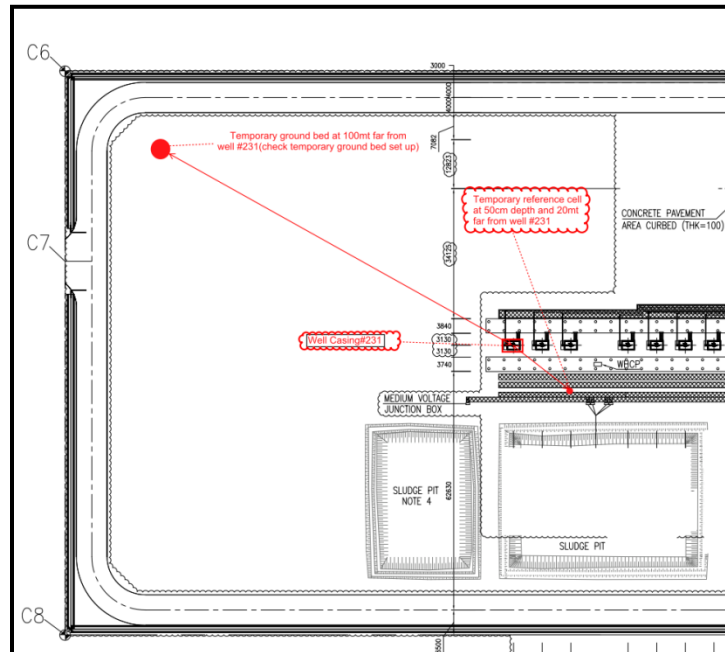


Figura 7 – Dettaglio del Sistema temporaneo utilizzato per l'esecuzione del Test E-Log(I)

RISULTATI DEI TEST

Le tabelle da 1 a 7 mostrano i risultati selezionati ottenuti dai test in campo, mentre le figure da 10 a 13 mostrano attività e disposizioni dei sistemi di PC.

In particolare, nelle Tabelle 1 e 2 sono riportati i risultati del test E-log(I) per i casings dei pozzi #86 e #135, entrambi non ancora in servizio e non dotati di pompa e sistema VSD, per i quali è stata ottenuta la prevista retta di Tafel.

I valori in queste tabelle indicano la corrente per ottenere una polarizzazione negativa minima di 100 mV della superficie esterna del casing del pozzo di produzione (rispettivamente 22 A e 24 A). È importante notare che, in entrambe le Figure 8 e 9, è possibile trovare i classici Punti A e B descritti dallo standard NACE SP0186 e che i criteri di 100 mV (si veda la Figura 8) sono stati soddisfatti, considerando il Punto B sulla retta di Tafel ottenuta tracciando i risultati per entrambe le prove.

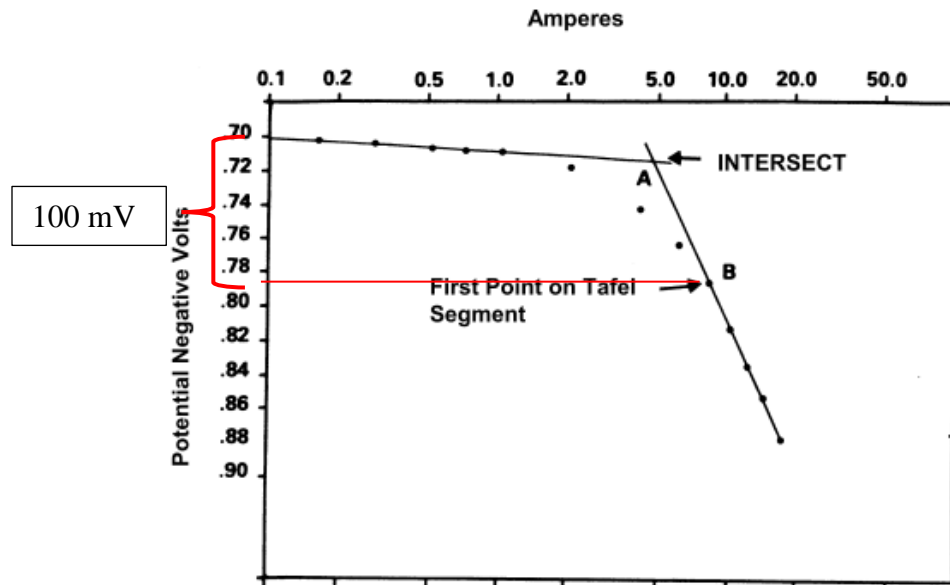


FIGURE B2—Sample E-Log-I Plot

Figura 8 –Esempio dallo standard NACE SP0186 di curva a seguito di E-Log(I) Test

Sono stati testati sei (6) casings, relativi alle rispettive teste pozzo, in servizio n. 86, n. 59, n. 135, n. 231, n. 279 e n. 381: quattro (4) di essi (n. 86, n. 135, n. 279 e n. 381) utilizzando la configurazione con sistema di PC temporanea e due (2) (#59, #231) utilizzando il sistema di PC esistente. Prima del test, è stato effettuato un periodo di depolarizzazione minimo di 48 ore.

Indipendentemente dalla disposizione del test, nell'analisi dei potenziali "ON" ed "OFF istantaneo" compaiono valori anomali, impedendo così di tracciare il profilo E-log(I).

Le tabelle 1 e 2 mostrano chiaramente la tipica curva di Tafel ottenuta sui nuovi involucri dei pozzi n. 86 e n. 135, per i quali al momento delle prove non erano ancora stati installati ne sistemi VSD né tubazioni di interconnessione.

Le tabelle 3, 4, 5 e 6 seguenti indicano chiaramente che i valori registrati, sia attraverso l'utilizzo di un sistema di PC temporaneo che permanente per i casing dei pozzi in servizio, non mostrano incrementi sui potenziali misurati in corrispondenza di un aumento della corrente anche quando questo valore risulta considerevole.

L'ipotesi di drenaggio di corrente a causa della presenza di connessione con la rete di terra, attraverso la presenza del VSD, sembra realistica perché, in tali situazioni, la rete di terra riceve corrente di PC ed appare polarizzata (Rif. Figura 8).

Per capire se la rete di messa a terra potesse essere causa di drenaggi di corrente causando interferenze, durante i tests, sono stati effettuati controlli su Tre (3) picchetti di terra in rame misurando il potenziale "as Found" (picchetti collegati alla rete di terra), e successivamente misurando il potenziale di questi dopo la loro disconnessione (i test sono stati effettuati all'interno dell'area del cluster dove è stato eseguito il Test sul Casing #381).

Dalle misurazioni effettuate è stato verificato un potenziale medio "as Found" di -560,67 mV ed un potenziale medio di -406,67 mV dopo la disconnessione dalla rete di messa a terra. Ciò dimostra così che anche la rete di terra risulta polarizzata tramite il collegamento diretto al VSD. I risultati di queste misurazioni sono riportati nella Figura 8.

Earthing Potential Measurement at #381			
No.	Location at WP#12	Copper Rod to Reference Electrode	Earthing Grid with Copper Rod to Reference Electrode
1	Earthing Well-1	-0.330 v_{CSE}	-0.564 v_{CSE}
2	Earthing Well-2	-0.391 v_{CSE}	-0.581 v_{CSE}
3	Earthing Well-3	-0.499 v_{CSE}	-0.627 v_{CSE}

Figura 9 – Misure del potenziale della rete di terra

CONCLUSIONI

Il test E-log(I) è stato utilizzato per determinare la corrente di protezione catodica da utilizzare come base per la progettazione dei sistemi a corrente impressa per la protezione catodica di nuovi casings associati ai relativi pozzi di produzione.

Nel presente studio, la corrente massima determinata in campo risulta essere di circa 24 A, corrispondente a una densità di corrente media di circa 0,01 A/m² (1 μ A/cm²), applicata su una superficie pari a 2311,4 m² e sufficiente per ottenere una polarizzazione pari a 100 mV. Questa permette così di raggiungere un tasso di corrosione trascurabile.

La presente esperienza evidenzia come affidabili i risultati del test E-log(I), che corrispondono alla tipica curva di Tafel che può essere ottenuta solo testando casings relativi a teste pozzo non ancora in servizio e non ancora dotati di Tubazioni (flowlines), pompe o altri accessori che richiedono un collegamento alla rete di terra.

In particolare, quando i pozzi sono localizzati e raggruppati negli impianti, la massiccia rete di messa a terra potrebbe fungere da drenaggio di corrente indesiderato nel circuito di prova influenzando in modo significativo sulle misurazioni.

Tabella 1– Test Set con Sistema di PC temporaneo su casing No. #86

STEP- No.□	CURRENT- STEP□	CONDITION□	V _{DC-on- TR} □	A _{DC} □	POTENTIAL□		
					Instant- Off-/- Native□	ON□ (at-zero- minute)□	ON□ (after- minutes*)□
#□	A□	(%)□	(V)□	(A)□	(mV)□	(mV)□	(mV)□
1□	ZERO (0)- CURRENT□	NO CURRENT□	-□	-□	-556□	At connection time□	
2□	ZERO (0)- CURRENT□	NO CURRENT□	-□	-□	-607□	After-10-minutes□	
2□	0.5 A□	1%□	1.0□	0.5□	-621□	-614□	-624□
3□	1 A□	2%□	1.5□	1.0□	-623□	-626□	-628□
4□	1.5 A□	3%□	2.0□	1.5□	-626□	-630□	-632□
5□	2 A□	4%□	2.0□	2.0□	-622□	-634□	-629□
6□	4 A□	8%□	3.0□	4.0□	-627□	-634□	-638□
7□	6 A□	12%□	4.0□	6.0□	-630□	-643□	-646□
8□	8 A□	16%□	6.0□	8.0□	-635□	-653□	-657□
9□	10 A□	20%□	8.0□	10.0□	-643□	-664□	-669□
10□	12 A□	24%□	8.0□	12.0□	-649□	-674□	-680□
11□	14 A□	28%□	9.0□	14.0□	-654□	-685□	-689□
12□	16 A□	32%□	10.0□	16.0□	-658□	-692□	-700□
13□	18 A□	36%□	11.5□	18.0□	-667□	-703□	-712□
14□	20 A□	40%□	12.5□	20.0□	-677□	-717□	-726□
15□	22 A□	44%□	14.0□	22.0□	-688□	-731□	-741□
16□	24 A□	48%□	16.0□	24.0□	-696□	-745□	-754□
17□	26 A□	52%□	17.0□	26.0□	-706□	-759□	-769□
18□	28 A□	56%□	19.0□	28.0□	-714□	-773□	-781□
19□	30 A□	60%□	21.0□	30.0□	-721□	-785□	-793□
20□	32 A□	64%□	22.5□	32.0□	-728□	-797□	-805□
21□	34 A□	68%□	24.0□	34.0□	-737□	-809□	-818□
22□	36 A□	72%□	26.5□	36.0□	-746□	-823□	-833□
23□	38 A□	76%□	29.5□	38.0□	-752□	-835□	-843□
24□	40 A□	80%□	32.0□	40.0□	-761□	-849□	-859□
25□	42 A□	84%□	37.0□	42.0□	-771□	-863□	-873□
26□	44 A□	88%□	38.0□	44.0□	-773□	-879□	-880□
27□	46 A□	92%□	39.0□	46.0□	-777□	-884□	-889□
28□	48 A□	96%□	39.5□	48.0□	-782□	-892□	-895□

Note:

1. La massima corrente impressa è stata di 48 A; imprimere più corrente non è stato possibile dato il T/R selezionato.
2. Il dispersore provvisorio utilizzato è stato testato ed è stato ritenuto sufficiente per imprimere la corrente TR max: 50 A (test a terra).
3. (*) Minuti, si riferisce al tempo necessario per consentire l'aumento di potenziale / tempo per la polarizzazione.

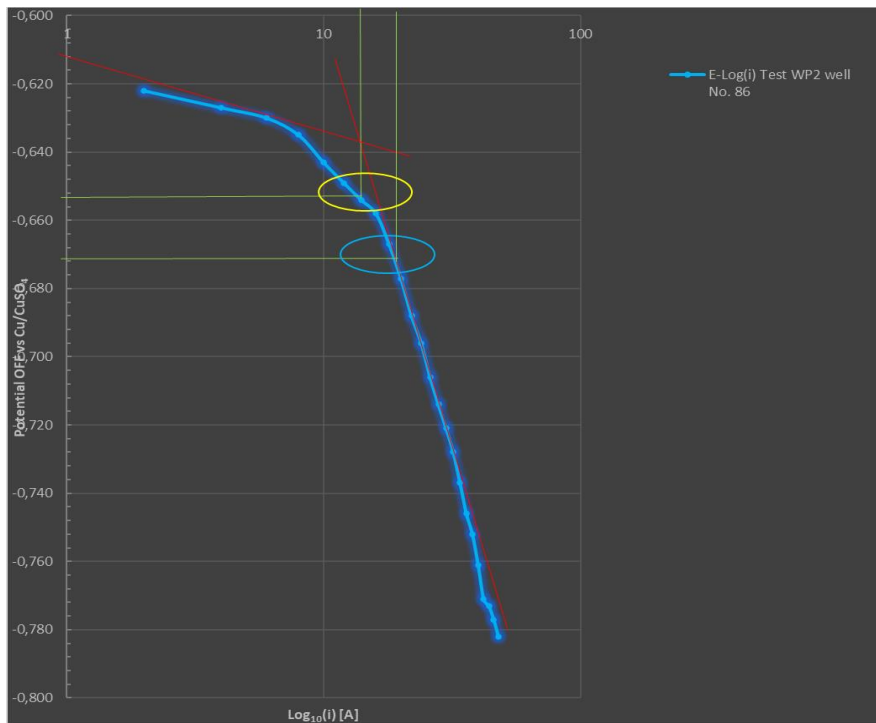


Figura 10– E-log(I) Test per il casing relativo al pozzo No. #86

Tabella 2– Test Set con Sistema di PC temporaneo su casing No. #135

STEP- No.▯	CURRENT- STEP▯	CONDITION▯	V _{DC} - on-TR▯	A _{DC} ▯	POTENTIAL▯		
					Instant- Off-/ Native▯	ON▯ (at-zero- minute)▯	ON▯ (after- minutes*)▯
#▯	A▯	(%)▯	(V)▯	(A)▯	(mV)▯	(mV)▯	(mV)▯
1▯	ZERO (0)- CURRENT▯	NO-CURRENT▯	-▯	-▯	-558▯	At-connection-time▯	
2▯	0.5 A▯	1%▯	1▯	0.5▯	-564▯	-563▯	-568▯
3▯	1 A▯	2%▯	1.5▯	1.0▯	-566▯	-571▯	-572▯
4▯	1.5 A▯	3%▯	1.5▯	1.5▯	-574▯	-573▯	-581▯
5▯	2 A▯	4%▯	2.5▯	2.0▯	-583▯	-589▯	-597▯
6▯	4 A▯	8%▯	3▯	4.0▯	-589▯	-599▯	-604▯
7▯	6 A▯	12%▯	3.5▯	6.0▯	-599▯	-613▯	-622▯
8▯	8 A▯	16%▯	4.5▯	8.0▯	-611▯	-628▯	-640▯
9▯	10 A▯	20%▯	5.5▯	10.0▯	-622▯	-647▯	-657▯
10▯	12 A▯	24%▯	6.5▯	12.0▯	-632▯	-664▯	-673▯
11▯	14 A▯	28%▯	7▯	14.0▯	-642▯	-679▯	-689▯
12▯	16 A▯	32%▯	7.5▯	16.0▯	-653▯	-695▯	-706▯
13▯	18 A▯	36%▯	8.5▯	18.0▯	-663▯	-714▯	-723▯
14▯	20 A▯	40%▯	9.5▯	20.0▯	-673▯	-730▯	-739▯
15▯	22 A▯	44%▯	10.5▯	22.0▯	-685▯	-745▯	-757▯
16▯	24 A▯	48%▯	11▯	24.0▯	-696▯	-762▯	-773▯
17▯	26 A▯	52%▯	12▯	26.0▯	-708▯	-781▯	-792▯
18▯	28 A▯	56%▯	13▯	28.0▯	-722▯	-799▯	-812▯
19▯	30 A▯	60%▯	14▯	30.0▯	-731▯	-817▯	-828▯
20▯	32 A▯	64%▯	15▯	32.0▯	-741▯	-833▯	-842▯
21▯	34 A▯	68%▯	16.5▯	34.0▯	-751▯	-850▯	-860▯
22▯	36 A▯	72%▯	18▯	36.0▯	-762▯	-866▯	-877▯
23▯	38 A▯	76%▯	19.5▯	38.0▯	-775▯	-884▯	-896▯
24▯	40 A▯	80%▯	20▯	40.0▯	-784▯	-901▯	-916▯
25▯	42 A▯	84%▯	21▯	42.0▯	-799▯	-925▯	-943▯
26▯	44 A▯	88%▯	22▯	44.0▯	-805▯	-952▯	-960▯
27▯	46 A▯	92%▯	23▯	46.0▯	-829▯	-962▯	-988▯
28▯	48 A▯	96%▯	26▯	48.0▯	-846▯	-998▯	-1013▯
29▯	50 A▯	100%▯	28▯	50▯	-860▯	-1028▯	-1045▯

Note:

- La massima corrente impressa è stata di 48 A; imprimere più corrente non è stato possibile dato il T/R selezionato.
- Il dispersore provvisorio utilizzato è stato testato ed è stato ritenuto sufficiente per imprimere la corrente TR max: 50 A (test a terra).
- (*) Minuti, si riferisce al tempo necessario per consentire l'aumento di potenziale / tempo per la polarizzazione.

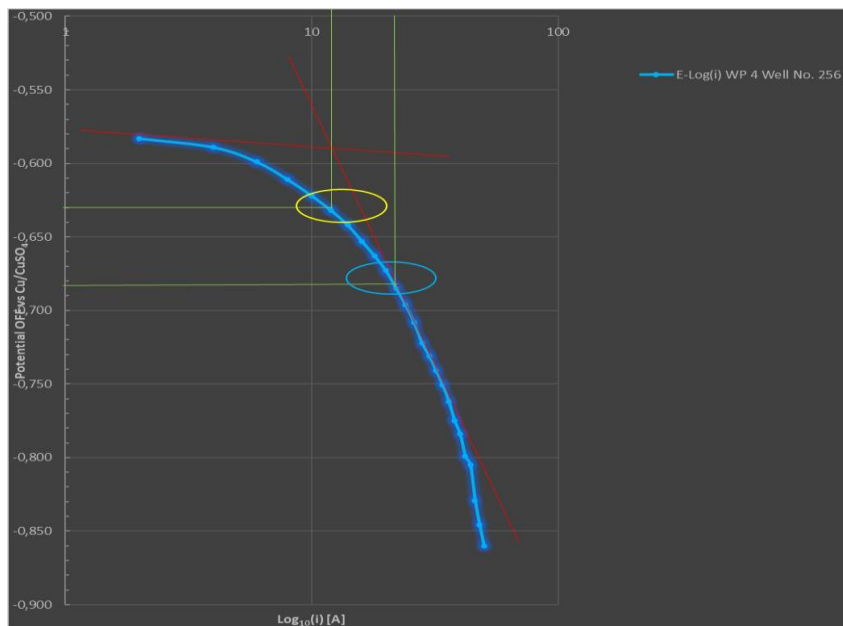


Figura 11 – E-log(I) Test per il casing relativo al pozzo No. #135

**Tabella 3– Test Set con Sistema di PC permanente su casing No. #59
con drenaggio dovuto alla rete di terra**

STEP No.	CURRENT STEP	CONDITION	V _{DC on TR}	A _{DC}	POTENTIAL		Ohm (By Ohm Law)	
					Instant Off / Native	ON		
#	A	(%)	(V)	(A)	(mV)	(mV)		
1*	ZERO (0) CURRENT	NO CURRENT	-	-	-621	-	-	
2	2 A	4%	4.1	2	-624	-822		
3	4 A	8%	6	4	-624	-824		
4	6 A	12%	7.3	6	-627	-827		
5	8 A	16%	9.1	8	-628	-830		
6	10 A	20%	10.5	10	-629	-832		
7	12 A	24%	12.5	12	-630	-834		
8	14 A	28%	13.5	14	-630	-835		
9	16 A	32%	17	16	-630	-840		
10	18 A	36%	19	18	-631	-842		
11	20 A	40%	21	20	-631	-844		
12	22 A	44%	21.5	22	-631	-846		
13	24 A	48%	22.5	24	-633	-850		
14	26 A	52%	25	26	-633	-853		
15	28 A	56%	27.5	28	-633	-855		
16	30 A	60%	30	30	-635	-857		
17	32 A	64%	32	32	-637	-858		
18	34 A	68%	33	34	-638	-860		
19	36 A	72%	35	36	-639	-862		
20	38 A	76%	38	38	-639	-864		
21	40 A	80%	40.5	40	-640	-865		
22	42 A	84%	41	41.5	-640	-867		
23	44 A	88%	Notes: 1.The maximum current impressed was 41.5Amps; impressing more current was not possible.					
24	46 A	92%						
25	48 A	96%						
26	50 A	100%						

**Tabella 4– Test Set con Sistema di PC permanente su casing No. #231
con drenaggio dovuto alla rete di terra**

STEP No.	CURRENT STEP	CONDITION	V _{DC on TR}	A _{DC}	POTENTIAL (Electrode1)		Ohm (By Ohm Law)	
					Instant Off / Native	ON		
#	A	(%)	(V)	(A)	(mV)	(mV)		
1*	ZERO (0) CURRENT	NO CURRENT	-	-	-748	-	-	
2	0.5 A	1%	2	0.5	-748	-751		
3	1 A	2%	3	1	-748	-754		
4	1.5 A	3%	3.5	1.5	-748	-754		
5	2 A	4%	4	2	-748	-755		
6	4 A	8%	6	4	-749	-751		
7	6 A	12%	8	6	-749	-766		
8	8 A	16%	11	8	-750	-772		
9	10 A	20%	13	10	-751	-779		
10	12 A	24%	15	12	-752	-785		
11	14 A	28%	18	14	-753	-792		
12	16 A	32%	19	16	-754	-798		
13	18 A	36%	22	18	-756	-804		
14	20 A	40%	24	20	-758	-810		
15	22 A	44%	26	22	-757	-816		
16	24 A	48%	28	24	-760	-822		
17	26 A	52%	31	26	-760	-828		
18	28 A	56%	33	28	-762	-833		
19	30 A	60%	36	30	-762	-840		
20	32 A	64%	39	32	-764	-846		
21	34 A	68%	40	34	-767	-853		
22	36 A	72%	Notes: 1. The maximum current impressed was 34 Amps; impressing more current was not possible.					
23	38 A	76%						
24	40 A	80%						
25	42 A	84%						
26	44 A	88%						
27	46 A	92%						
28	48 A	96%						
29	50 A	100%						

**Tabella 5– Test Set con Sistema di PC temporaneo su casing No. #279
con drenaggio dovuto alla rete di terra**

STEP- No. □	CURRENT- STEP □	CONDITION □	V _{DC-on- TR} □	A _{DC} □	POTENTIAL □		Ohm ¶ (By- Ohm- Law) □	
					Instant- Off-/- Native □	ON □		
# □	A □	(%) □	(V) □	(A) □	(mV) □	(mV) □	□	
1 □	ZERO (0) CURRENT □	NO-CURRENT □	- □	- □	-826 □	- □	- □	
2 □	2 A □	4% □	4.5 □	2 □	-827 □	-831 □	□	
3 □	4 A □	8% □	6 □	4 □	-827 □	-833 □	□	
4 □	6 A □	12% □	8 □	6 □	-827 □	-837 □	□	
5 □	8 A □	16% □	9.5 □	8 □	-828 □	-840 □	□	
6 □	10 A □	20% □	11.5 □	10 □	-828 □	-843 □	□	
7 □	12 A □	24% □	13.5 □	12 □	-829 □	-848 □	□	
8 □	14 A □	28% □	15 □	14 □	-829 □	-850 □	□	
9 □	16 A □	32% □	17.5 □	16 □	-830 □	-855 □	□	
10 □	18 A □	36% □	19.5 □	18 □	-831 □	-858 □	□	
11 □	20 A □	40% □	20.5 □	20 □	-831 □	-860 □	□	
12 □	22 A □	44% □	22 □	22 □	-831 □	-863 □	□	
13 □	24 A □	48% □	24 □	24 □	-833 □	-866 □	□	
14 □	26 A □	52% □	26.5 □	26 □	-833 □	-870 □	□	
15 □	28 A □	56% □	28.5 □	28 □	-834 □	-870 □	□	
16 □	30 A □	60% □	31.5 □	30 □	-835 □	-875 □	□	
17 □	32 A □	64% □	32 □	32 □	-837 □	-881 □	□	
18 □	34 A □	68% □	32 □	33.5 □	-838 □	-885 □	□	
19 □	36 A □	72% □	Notes: ¶ 1. → The maximum current impressed was 33.5Amps; impressing more current was not possible. ¶ ¶ 2. → The temporary ground bed used was tested and considered sufficient to impress the max TR current 50Amps (Ground bed test). ¶ ¶ 3. → Wellhead # 279 was not protected it was far from the protected system. □					
was 20 □	38 A □	76% □						
21 □	40 A □	80% □						
22 □	42 A □	84% □						
23 □	44 A □	88% □						
24 □	46 A □	92% □						
25 □	48 A □	96% □						
26 □	50 A □	100% □						

**Tabella 6 – Test Set con Sistema di PC permanente su casing No. #381
con drenaggio dovuto alla rete di terra**

STEP- No.▯	CURRENT-STEP▯	CONDITION▯	V _{DC-on-TR} ▯	A _{DC} ▯	POTENTIAL▯		Ohm▯ (By- Ohm- Law)▯	
					Instant- Off-/- Native▯	ON▯		
#▯	A▯	(%)▯	(V)▯	(A)▯	(mV)▯	(mV)▯	▯	
1*▯	ZERO (0)- CURRENT▯	NO-CURRENT▯	-▯	-▯	-785▯	-▯	-▯	
2▯	2-A▯	4%▯	4.5▯	2▯	-788▯	-794▯	▯	
3▯	4-A▯	8%▯	5.5▯	4▯	-789▯	-799▯	▯	
4▯	6-A▯	12%▯	7.5▯	6▯	-790▯	-806▯	▯	
5▯	8-A▯	16%▯	9.5▯	8▯	-791▯	-812▯	▯	
6▯	10-A▯	20%▯	10.5▯	10▯	-793▯	-818▯	▯	
7▯	12-A▯	24%▯	12.5▯	12▯	-794▯	-825▯	▯	
8▯	14-A▯	28%▯	14.5▯	14▯	-795▯	-830▯	▯	
9▯	16-A▯	32%▯	15.5▯	16▯	-796▯	-834▯	▯	
10▯	18-A▯	36%▯	18.0▯	18▯	-797▯	-841▯	▯	
11▯	20-A▯	40%▯	19.5▯	20▯	-799▯	-847▯	▯	
12▯	22-A▯	44%▯	20.5▯	22▯	-801▯	-852▯	▯	
13▯	24-A▯	48%▯	23.0▯	24▯	-802▯	-859▯	▯	
14▯	26-A▯	52%▯	24.5▯	26▯	-803▯	-866▯	▯	
15▯	28-A▯	56%▯	26.0▯	28▯	-804▯	-870▯	▯	
16▯	30-A▯	60%▯	28.0▯	30▯	-805▯	-876▯	▯	
17▯	32-A▯	64%▯	30.0▯	32▯	-805▯	-883▯	▯	
18▯	34-A▯	68%▯	31.5▯	34▯	-808▯	-887▯	▯	
19▯	36-A▯	72%▯	32.0▯	35.0▯	-809▯	-889▯	▯	
20▯	38-A▯	76%▯	Notes:▯ 1. → The maximum current impressed is- 35Amps; impressing more current- was not possible.▯ ▯ 2. → The temporary ground bed used was- tested and considered sufficient to- impress the max. TR current 50Amps- (Ground bed test).▯ ▯ 3. → Wellhead #381 was not protected it- was far from the protected system.▯					▯
21▯	40-A▯	80%▯						▯
22▯	42-A▯	84%▯						▯
23▯	44-A▯	88%▯						▯
24▯	46-A▯	92%▯						▯
25▯	48-A▯	96%▯						▯
26▯	50-A▯	100%▯						▯



Figura 12 – Trasformatore di PC



Figura 13 – Generatore diesel utilizzato



Figura 14 – Distanza Dispersore - casing



Figura 15 – Connessione cavi al testa pozzo relativa al casing Testato (100m)

RINGRAZIAMENTI

L'autore ringrazia con profonda gratitudine il Sig. Alberto Del Moro di Saipem S.p.A., per il suo peer review e il Sig. Layth Jawad Baqer Al-Kawaja di SICIM S.p.A., per la sua direzione tecnica per le misurazioni effettuate in campo.

REFERENZE

1. NACE ⁽¹⁾ SP0186 (Ultima revisione), "Application of Cathodic Protection for External Surfaces for Steel Well Casings", Houston, TX-USA, NACE International.
2. NACE Publication n. 35108 (Ultima revisione) "Cathodic Polarization Criterion", Houston, TX-USA, NACE International.
3. NACE Handbook CP4 "Cathodic Protection Specialist Manual", Houston, TX-USA, NACE International.
4. ISO ⁽²⁾ 15589 "Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Cathodic protection of pipeline systems - Part 1: On-land pipelines".

⁽¹⁾ NACE International, 1440 South Creek Drive, Houston TX, PO 77084-4906

⁽²⁾ ISO, Chemin de Blandonnet 8, Vernier, Geneva, CH, PO 401 - 1214

5. Ernest W. Klechka, Gerhardus H. Koch. Angel R. Kowalski, Abdul Wahab Al-Mithin, Emad Al-Nasser "Cathodic Protection of Well Casings Using E - Log I Criteria" Corrosion Paper No. 06071 NACE Expo 2006.
6. Ernest W. Klechka, Gerhardus H. Koch. Angel R. Kowalski, Abdul Wahab Al-Mithin, Emad Al-Nasser "Interpretation of Cathodic Protection Criteria for Gathering Centers" Corrosion Paper No. 06070 NACE Expo 2006.