

CUP: E32G11000200005

FSC 2014-2020 "Patto per lo sviluppo della Regione Puglia"

**PROGETTO DEFINITIVO**  
LAVORI DI COMPLETAMENTO DELL'ACQUEDOTTO DEL  
LOCONE - II LOTTO - DAL TORRINO DI BARLETTA AL  
SERBATOIO DI BARI-MODUGNO

Il Responsabile del Procedimento  
*ing. Massimo Pellegrini*

**PROGETTAZIONE**

Progettisti

*ing. Michelangelo GUASTAMACCHIA (Responsabile del progetto)*

*ing. Tommaso DI LERNIA*

*ing. Rosario ESPOSITO*

*ing. M. Alessandro SALIOLA*

*geom. Pietro SIMONE*

*geom. Giuseppe VALENTINO*

Il Responsabile Ingegneria di Progettazione  
*ing. Massimo PELLEGRINI*



Direzione Ingegneria

Il Direttore  
*ing. Andrea VOLPE*

Elaborato

**D.11.2**

**Relazione tecnica dell'impianto di protezione  
catodica**

Codice Intervento P1063

Codice SAP: 21/10993

Prot. N. 0093292

Data 25/11/2019

| N. Rev. | Data     | Descrizione                    | Disegnato | Controllato | Approvato |
|---------|----------|--------------------------------|-----------|-------------|-----------|
| 00      | NOV.2019 | Emesso per PROGETTO DEFINITIVO | /         | /           | /         |

## 1. Generalità

La corrosione dei metalli è un fenomeno fisico-chimico che avviene con degradazione di uno o più metalli in contatto con un certo ambiente e che comporta la presenza simultanea di due reazioni, una anodica di ossidazione e una catodica di riduzione. Quando un metallo è a contatto con un elettrolita (acqua, terreno, umidità ecc.) assume un potenziale elettrico, determinato dalle reazioni chimiche citate, il cui valore dipende dal metallo e dall'elettrolita.

Due metalli diversi a contatto elettrico fra loro e immersi in un elettrolita, assumendo due valori diversi di potenziale, provocano il flusso di una corrente elettrica spontanea che tende a condurre i potenziali naturali dei due metalli verso uno stesso valore detto potenziale misto o di corrosione.

La circolazione di corrente nel metallo avviene a livello elettronico, mentre nell'elettrolita avviene mediante migrazione ionica connessa alle reazioni di ossidoriduzione, con disgregazione del metallo con potenziale naturale più anodico. Fornendo dall'esterno alla coppia di metalli una corrente elettrica si provoca forzatamente una variazione del potenziale misto inducendo una sovratensione. Se questa sovratensione è tale da rendere il potenziale di un metallo più elettronegativo di quello che è il suo potenziale di ossidoriduzione, non esiste più la possibilità che il metallo si corroda.

Su questo concetto si basa la protezione catodica che consiste appunto nella realizzazione di un impianto in grado di condurre il potenziale delle strutture a valori di immunità.

Un impianto di protezione catodica è pertanto costituito da una sorgente di corrente continua, che può essere un alimentatore catodico, un anodo galvanico o un drenaggio, collegata alla struttura.

Nel caso di un impianto con alimentatore, sarà necessario installare, a servizio dello stesso, anche un dispersore che andrà immerso nello stesso elettrolita in cui è posata la struttura, per garantire il flusso ionico della corrente di protezione.

L'impianto di protezione catodica andrà completato con un sistema di monitoraggio per il controllo del livello di protezione.

## 2. Descrizione dell'impianto da proteggere

L'impianto da proteggere coinvolge il territorio compreso tra i comuni di Barletta (BAT) e Modugno (BA).

Tale impianto è costituito dall'insieme delle seguenti tubazioni in acciaio interrate:

| <b>Diametro nominale</b> | <b>Spessore</b> | <b>Lunghezza</b>    | <b>Superficie</b>               |
|--------------------------|-----------------|---------------------|---------------------------------|
| DN 200 mm                | 2,0 mm          | 27,52 ml            | 17,37 m <sup>2</sup>            |
| DN 300 mm                | 5,6 mm          | 123,50 ml           | 117,42 m <sup>2</sup>           |
| DN 400 mm                | 6,3 mm          | 1.042,03 ml         | 1.319,10 m <sup>2</sup>         |
| DN 1000 mm               | 10,0 mm         | 13.710,55 ml        | 43.266,40 m <sup>2</sup>        |
| DN 1200 mm               | 12,5 mm         | 33.415,70 ml        | 126.566,10 m <sup>2</sup>       |
| <b>TOTALI</b>            |                 | <b>48.319,30 ml</b> | <b>171.286,49 m<sup>2</sup></b> |

### **3. Impianto di protezione catodica esistente**

Attualmente sull'impianto sopra descritto non agisce alcun impianto di protezione catodica.

Il presente progetto è relativo alla realizzazione di un nuovo impianto di protezione. Qui di seguito vengono illustrati i criteri di dimensionamento dell'impianto proposto ed i calcoli di dimensionamento degli elementi principali.

### **4. Metodo di calcolo di un impianto di protezione catodica**

Il dimensionamento di un impianto di protezione catodica consiste nel determinare il valore che devono assumere le seguenti grandezze:

- il numero e l'ubicazione dei punti di alimentazione;
- la corrente necessaria per la protezione in ogni punto;
- il peso e il numero degli elementi dispersori;
- la potenza elettrica da installare.

Per fare ciò è necessario determinare i valori caratteristici dell'impianto che sono:

- le resistenze elettriche longitudinali delle strutture;
- la resistenza elettrica del rivestimento passivo;
- le costanti di attenuazione;
- la durata prevista per il dispersore;
- la resistività del terreno nei punti di posa dei dispersori;
- la resistenza verso terra dei dispersori.

Una volta noti i valori sopra riportati è possibile dimensionare l'impianto utilizzando il metodo dell'attenuazione, che consiste nel determinare la corrente che si devono avere nei punti di alimentazione per ottenere i valori richiesti alle estremità e nei punti più sfavoriti dal punto di vista della protezione.

Questo metodo utilizza le formule di attenuazione di Pritula, ovvero:

$$I_X = \psi_L / R_K (\sinh \alpha * L)$$

Dove:

$I_X$  = corrente teorica di protezione catodica al punto di alimentazione;

$\psi_L$  = differenza tra il potenziale di corrosione libera e il potenziale limite;

$R_K$  = resistenza caratteristica;

$\alpha$  = coefficiente di attenuazione;

$L$  = lunghezza delle tubazioni;

### **5. Misure preliminari necessarie per il dimensionamento dell'impianto di protezione catodica.**

Allo scopo di studiare il campo elettrico in cui si trova ad operare la struttura da proteggere e per determinare i parametri elettrici caratteristici, nonché quelli necessari

per il dimensionamento dell'impianto, bisogna preliminarmente eseguire le seguenti misure:

- misure del potenziale della struttura sia in condizioni naturali che durante le prove di
- alimentazione;
- misura della resistenza di isolamento;
- misura o valutazione della resistenza longitudinale;
- misura della resistività dei terreni.

### *5.1 Misure di potenziale*

Le misure del potenziale della struttura vengono eseguite facendo riferimento ad un elettrodo impolarizzabile, la cui polarizzazione rispetto all'elettrodo standard di idrogeno (zero assoluto) non risente in modo sensibile delle condizioni di posa e dell'elettrolito in cui si trova. Nel riferire le misure ad un determinato elettrodo di riferimento, si assume che il potenziale di questo sia zero. La misura viene eseguita utilizzando un voltmetro ad elevata resistenza interna (maggiore di 100 Mohm/V ed in ogni caso almeno 100 volte maggiore della resistenza del circuito esterno).

#### *A - Misura del potenziale naturale*

Il potenziale naturale è il potenziale che assume la struttura in assenza di correnti di protezione catodica e, in assenza di campi elettrici esterni, coincide con il potenziale di corrosione mista.

La conoscenza di questo valore misurato in più punti della struttura è indispensabile per la determinazione dello stato elettrico della stessa.

#### *B - Misura del potenziale ON-OFF.*

Si tratta di una misura da eseguire nel caso delle prove di alimentazione della intera struttura o di parti di essa. È una misura fondamentale per la determinazione dei parametri di calcolo e per la valutazione di errori di misura ed in particolare della caduta ohmica di tensione nel terreno.

Il valore di potenziale misurato in un punto della struttura ad alimentatori inseriti (posizione ON) è essenzialmente la somma di tre contributi:

$$V_a = V_n + V_p + V_r$$

Dove:

$V_n$  = potenziale naturale precedentemente descritto;

$V_p$  = contributo che dà la polarizzazione catodica della struttura, in dipendenza dell'applicazione della corrente di protezione;

$V_r$  = contributo della caduta ohmica, cioè della caduta di tensione che si ha nel terreno fra l'elettrodo e la struttura.

Questo termine ( $V_r$ ) inquina la misura e va eliminato nella valutazione del vero valore del potenziale di protezione raggiunta.

Se si interrompe il flusso di corrente di protezione, il valore di  $V_r$  si annulla

praticamente all'istante, mentre il contributo di polarizzazione si annulla in un tempo relativamente più lungo.

Interrompendo ciclicamente la corrente di protezione e rilevando con un voltmetro registratore i valori dei potenziali, è possibile misurare il valore del potenziale reale che assume la struttura polarizzata catodicamente (posizione OFF), depurato del valore spurio della caduta ohmica.

Indicando con  $V_s$  il reale valore di potenziale che la struttura assume quando è alimentata con corrente di protezione, abbiamo:

$$\begin{aligned}V_a &= V_n + V_p + V_r \\V_s &= V_n \times V_p\end{aligned}$$

### 5.2 Misura della resistenza di isolamento

Una struttura dotata di rivestimento passivo esterno scambia corrente con l'ambiente circostante nei punti in cui la superficie è nuda e cioè nei punti in cui il rivestimento presenta difetti o falle.

L'intensità di corrente di protezione, necessaria per raggiungere il grado di polarizzazione voluto, dipende perciò dalla integrità del rivestimento isolante. Un valido parametro per valutare la bontà o meno di un rivestimento è costituito dalla resistenza di isolamento della struttura, ovvero dal valore che assume il prodotto fra la resistenza verso terra della struttura e l'area della sua superficie esterna.

La misura di questo parametro comprende il rilievo eseguito in più punti dei valori dei potenziali riscontrati durante una prova di alimentazione sia ad alimentatore inserito che ad alimentatore disinserito.

La media aritmetica delle differenze fra questi valori, divisa per il valore della corrente fornita durante la prova, rappresenta la resistenza verso terra della struttura. Il prodotto fra questa e l'area della superficie esterna della struttura interessata fornisce il valore della resistenza di isolamento della stessa.

### 5.3 Misura della resistenza longitudinale

Trattandosi di una misura difficilmente eseguibile in modo soddisfacente su una struttura con le caratteristiche di quella in esame, i valori della resistenza longitudinale sono stati valutati sulla base della composizione chimica dell'acciaio (rif. bibliografici).

La resistenza longitudinale risulta:

$$r = \rho_{MET} / [\pi s(\Phi-s)]$$

dove:

$r$  = resistenza longitudinale;

$\rho_{MET}$  = resistività del metallo;

$\Phi$  = diametro delle tubazioni;

$s$  = spessore delle tubazioni.

I valori della resistenze longitudinali ricavate sono i seguenti:

| <b>Diametro nominale</b> | <b>Resistenza longitudinale</b> |
|--------------------------|---------------------------------|
| DN 200 mm                | 0,000144 ohm                    |
| DN 300 mm                | 0,000034 ohm                    |
| DN 400 mm                | 0,000023 ohm                    |
| DN 1000 mm               | 0,000006 ohm                    |
| DN 1200 mm               | 0,000004 ohm                    |

#### *5.4 Misura della resistività dei terreni*

Questa misura è fondamentale sia per determinare il grado di aggressività dei terreni di posa, sia per dimensionare e ubicare correttamente il dispersore, che per stimare in fase preliminare l'errore nella misura del potenziale per caduta ohmica.

Le misure normalmente vengono eseguite con il metodo dei quattro poli. Questo metodo consiste nell'infiggere nel terreno, per pochi centimetri, quattro sonde in linea retta e ad una distanza "a" fra loro pari alla profondità a cui si vuole rilevare la resistività.

Fornendo corrente alle due sonde esterne e rilevando la tensione fra le due interne, si valuta un valore di resistenza che, moltiplicato per  $2V_a$ , fornisce il valore della resistività apparente cercato.

Per quanto concerne le misure di resistività a profondità superiori a 40 ml (per dispersori anodici), ci si riferisce alla relazione geologica ed ai parametri in essa contenuti. In particolare, le rilevazioni geo-elettriche sono state eseguite nel comprensorio del comune di Barletta e presso Bitonto. Nella fattispecie, da detta relazione, si evince che gli ambienti di posa con minore resistività sono concentrate nella zona compresa tra Barletta e Trani. Man mano che ci si avvicina a Modugno, le resistività aumentano notevolmente (vedi successivo par. 6.5)

## **6. Dimensionamento dell'impianto di protezione catodica**

Il dimensionamento dell'impianto di protezione catodica consiste nel determinare, una volta stabiliti i valori minimi di potenziale da garantire nell'impianto, il valore di corrente elettrica necessaria da fornire, l'ubicazione degli impianti singoli di alimentazione, la corrente da erogare con ogni singolo impianto e quindi le caratteristiche costruttive dei singoli alimentatori e dispersori.

### *6.1 Potenziale di protezione*

Il potenziale al di sotto del quale il ferro in genere non si corrode più, è pari a + 0,85 V misurato utilizzando come elettrodo di riferimento l'elettrodo impolarizzabile al solfato di rame. Questo valore limite è valido per strutture interrato in terreni aerobici con temperature inferiori a 40°C.

Per strutture in terreni aerobici con temperature > 40°C, il potenziale di soglia accettato è 0,95V (UNI EN 12954)

Ai fini del calcolo si assume, prudenzialmente, il valore -1V come valore come limite superiore del potenziale delle condotte. Il limite inferiore è stabilito in + 2,00 V,

determinato in base al rischio che si corre di deteriorare il rivestimento passivo con sovratensioni eccessive (cathodic disbonding). I valori innanzi riportati sono al netto delle cadute ohmiche, per cui il valore di potenziale rilevato ai punti di misura dovrà essere in ogni caso inferiore o al massimo uguale a  $\pm 1,00 \square V_r$ , dove  $V_r$  sta ad indicare la caduta ohmica e non dovrà invece essere mai inferiore a  $\pm 2,00 \square V_r$ .

### 6.2 Determinazione della corrente di protezione

Per determinare la corrente di protezione da fornire si devono prima determinare i valori della resistenza trasversale  $R_t$  di isolamento, pari al rapporto fra la resistenza di isolamento e la superficie unitaria esterna del tubo, e quindi la costante di attenuazione ' $\alpha$ ' è data da:

$$\alpha = \sqrt{(r/R_t)}$$

dove  $R_t$  (resistenza trasversale) viene calcolato secondo la seguente formula:

$$R_t = R_o / (\pi \Phi)$$

Una volta nota la costante di attenuazione, è possibile determinare la corrente nel punto di alimentazione mediante le formule di attenuazione:

$$I_x = \psi_L / R_K (\sinh \alpha * L)$$

Di seguito si possono leggere i calcoli eseguiti per la determinazione della corrente necessaria per la protezione tenendo conto dei parametric e valori teorizzanti nella presente relazione.

| <b>Diametro nominale</b><br>$\Phi$<br>[mm] | <b>Sovratensione</b><br>$\psi_L$<br>[Volt] | <b>Resistenza caratteristica</b><br>$R_K$<br>[Ohm] | <b>Coeff. di attenuazione</b><br>$\alpha$ | <b>Lunghezza tubazioni</b><br>$L$<br>[ml] | <b>Corrente di protezione</b><br>$I_x$<br>[Amp] |
|--|--|--|---|---|---|
| DN 200                                     | -0,950                                     | 1,510661   | 0,0000953439                              | 27,52                                     | 0,0017  |
| DN 300                                     | -0,950                                     | 0,601880   | 0,0000572263                              | 123,50                                    | 0,0112  |
| DN 400                                     | -0,950                                     | 0,425588   | 0,0000538749                              | 1.042,03                                  | 0,125   |
| DN 1000                                    | -0,950                                     | 0,135118   | 0,0000426391                              | 13.710,55                                 | 4,35  |
| DN 1200                                    | -0,950                                     | 0,100711   | 0,0000381455                              | 33.415,70                                 | 15,60   |
| <b>TOTALI</b>                              |  |  |   | <b>48.319,30</b>                          | <b>20,041</b>                                   |

### 6.3 Numero di punti di alimentazione – sezionamento elettrico.

L'impianto nel suo complesso è stato suddiviso in 04 sistemi, schematizzato come nell'allegato 1 in coda alla presente relazione, come qui di seguito riportato:

SISTEMA 1 : dal torrino di Barletta alla diramazione per presa di Trani;

SISTEMA 2 : dal serbatoio esistente di Trani al torrino di disconnessione di Molfetta;

SISTEMA 3 : dal torrino di disconnessione di Molfetta alla diramazione per presa di Giovinazzo;

SISTEMA 4 : dal nuovo serbatoio di Giovinazzo al nodo terminale nuovo serbatoio di Modugno.

Nel seguente sinottico si riportano le lunghezze ed i diametri di ciascun sistema ipotizzato, nonché le progressive e la corrente teorica necessaria alla protezione catodica di ciascun tratto. I sistemi sono 4 e sono garantiti dall'installazione di giunti dielettrici che andranno a delimitare le zone di influenza di ogni singolo impianto (6 impianti in tutto).

| <b>Denominaz. tratto</b> | <b>Progressive</b>                             | <b>Diametro [mm]</b> | <b>Lunghezza [ml]</b> | <b>Corrente stimata [Amp]</b> |
|--------------------------|--|----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| SISTEMA 1                | Da 0<br>a 12.352,37                            | DN1200               | 12.352,37             | 5,20                          |
| SISTEMA 2                | Da 12.352,37<br>a 25.669,21                    | DN1200               | 13.316,84             | 5,70                          |
|                          | Diramazione per serbatoio di Trani e Bisceglie | DN400                | 941,35                |                               |
| SISTEMA 3                | Da progr. 25.669,21<br>a progr. 33.415,70      | DN1200               | 7.746,49              | 3,30                          |
|                          | Diramazione per serbatoio di Molfetta          | DN400                | 100,68                |                               |
|                          | Diramazione per serbatoio di Giovinazzo        | DN200                | 27,52                 |                               |
| SISTEMA 4                | Da progr. 33.415,70<br>a progr. 47.126,25      | DN1000               | 13.710,55             | 4,80                          |
|                          | Diramazione per nuovo serbatoio di Palese      | DN300                | 123,50                |                               |

L'impianto di protezione catodica, così come calcolato, prevede al collaudo, una corrente di protezione di 20,041 Amp; considerato che nel tempo, la corrente stimata possa aumentare e tenuto conto delle elevate resistività dei terreni di posa dei dispersori anodici nella zona di Modugno-Bitonto, si ipotizza di installare 06 impianti di protezione catodica a corrente impressa con drenaggio forzato su altrettanti dispersori



anodici, come riportato nel successive par. 8.

#### 6.3.1 Giunti dielettrici

Gli organi di sezionamento elettrico minimi (giunti dielettrici), dovranno essere installati presso i seguenti siti:

- N° 01 Giunto dielettrico DN1200mm dorsale principale  
progr. 0 .
- N° 01 Giunto dielettrico DN1200mm dorsale principale, **prima** della  
diramazione per Trani  
progr. 12.352,37.
- N° 01 Giunto dielettrico DN400mm su condotta di derivazione  
in ingresso al serbatoio di Trani.
- N° 01 Giunto dielettrico DN1200mm su dorsale principale in arrivo al torrino di  
Molfetta  
Progr. 25.669,21.
- N° 01 Giunto dielettrico DN1200mm su dorsale principale in partenza da  
torrino di Molfetta  
Progr. 25.669,21.
- N° 01 Giunto dielettrico DN1000mm su dorsale principale c/o la riduzione di  
diametro delle  
tubazioni da 1200 mm a 1000 mm  
progr. 33.415,70.
- N° 01 Giunto dielettrico DN300mm su diramazione in arrive al serbatoio di Palese.
- N° 01 Giunto dielettrico DN1000mm punto terminale nodo di Modugno.

#### 6.4 Alimentatori catodici

Gli alimentatori di protezione catodica sono dispositivi in grado di fornire corrente continua, o unidirezionale ondulata, per la protezione catodica della struttura da proteggere.

L'alimentatore catodico è essenzialmente costituito da un trasformatore, da un circuito di controllo su scheda elettronica e da dispositivi di protezione e di misura.

L'alimentatore sarà alloggiato entro un armadio in vetroresina dotato di feritoie per l'aerazione naturale.

#### 6.5 Dimensionamento e verifica dei dispersori

I dispersori catodici sono costituiti da elementi di materiale conduttore, interrati ed immersi nell'elettrolita e servono a far circolare la fase ionica della corrente di protezione.

I dispersori devono avere basso consumo, buona conducibilità elettrica e buona resistenza meccanica. Inoltre devono essere in grado di sopportare elevate densità di corrente e devono presentare una minima polarizzazione anodica.

I dispersori possono essere:

- superficiali, se posati ad una profondità di 1-2 m circa;
- profondi se posati verticalmente in pozzi trivellati a profondità variabili da 40 a 100 m circa.

I dispersori possono essere in ferro, ferro-silicio, magnetite, titanio attivato, prodotti polimerici. La scelta del materiale dipende dal tipo di ambiente in cui il dispersore deve operare e dalle correnti che si devono erogare.

Il dispersore anodico previsto in questa sede è formato da elementi in ferro DN70mm per una lunghezza complessiva di 42 ml e peso di circa 1500kg. Detta barra anodica sarà alloggiata entro perforazione in cui, fatte salve alcune necessità non prevedibili in questa sede, sarà circondata da un backfill di carbone coke di petrolio calcinato a bassa resistività.

Il dispersore da realizzarsi sarà verticale profondo.

La procedura di calcolo seguita è la seguente:

in base alla corrente da erogare e alla capacità elettrochimica del materiale scelto, si determina il peso complessivo che dovrà avere il dispersore per garantire il corretto funzionamento per il numero di anni richiesto con la formula:

$$P = I \times \text{Anni} \times C / \text{rend}$$

dove:

- P = peso complessivo in Kg;
- I = corrente da erogare in A;
- C = consumo specifico in Kg/Anno;
- rend = coefficiente di rendimento.

Una volta determinato il peso complessivo, si stabilisce il numero di elementi minimo sulla base della massima densità di corrente applicabile e delle caratteristiche fisicogeometriche di ogni elemento.

Il numero minimo di elementi da posare, nonché il sistema di posa, l'utilizzazione o meno di backfill ecc. vengono verificati e stabiliti in base alla resistenza del circuito alimentatore-dispersore-terreno-struttura-terreno-alimentatore.

Nel calcolo della resistenza del circuito bisogna conteggiare la resistenza del dispersore verso terra, la resistenza delle condotte verso terra (resistenza equivalente) e la resistenza dei cavi elettrici di collegamento.

La corrente massima erogabile dal sistema è poi calcolata con la seguente formula:

$$I_{max} = 50 \times 2 / R_c$$

dove:

- 50 V è la tensione massima che per normativa di sicurezza si può avere in uscita dall'alimentatore;
- 2 V è una controtensione dovuta ai potenziali naturali del dispersore e dei tubi;
- $R_c$ , in ohm, è la resistenza totale del circuito.

Se  $I_{max}$  è maggiore o uguale al valore di corrente richiesto per la protezione, il calcolo è ultimato, altrimenti bisogna apportare modifiche nella costituzione del dispersore per diminuire il valore di  $R_c$ .

Per la determinazione della resistenza del dispersore è stata utilizzata la formula di

Dwight:

$$R = \rho/2\pi*L[\ln(8L/\Phi)-1]$$

dove

- $\rho$  è la resistività del terreno;
- $L$  è la lunghezza del dispersore;
- $\Phi$  è il diametro del dispersore.

Il calcolo della corrente erogabile da ciascun dispersore anodico di cui alla seguente tabella, è stato elaborato considerando un valore medio aritmetico tra le resistività rilevate a -40ml e quelle rilevate a -80ml. Laddove non esistono valori di resistività (es: Modugno, Palese e zone limitrofe), si è ipotizzata una resistività teorica sulla base di esperienze analoghe pregresse.

| <b>Progr.</b> | <b>Resistività media presunta da -40ml a -80ml [ohm*m]</b> | <b>Diametro perforazione [mm]</b> | <b>Resistenza anodica [ohm]</b> | <b>Resistenza totale [ohm]</b> | <b>Corrente max teorica erogabile [Amp]</b> |
|---------------|--|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|
| 0,00          | 150,00 ca.   | 180                               | 1,30                            | 1,53                           | 31,40                                       |
| 12.352,37     | 301,00 ca.   | 180                               | 2,60                            | 3,05                           | 15,70                                       |
| 25.669,21     | 502,00 ca.   | 180                               | 4,33                            | 5,09                           | 9,40  |
| 33.415,70     | 502,00 ca.   | 180                               | 4,33                            | 5,09                           | 9,40  |
| 40.884,08     | 703,00 ca.   | 180                               | 6,06                            | 7,12                           | 6,70  |
| 47,126,25     | 1004,00 ca.  | 180                               | 8,65                            | 10,18                          | 4,70  |

Si consideri in ultimo che, sempre dalla relazione geologica, emerge che ci sono ambienti di posa molto resistivi a maggiori profondità. Per esempio, presso il nodo di Bitonto, ad una profondità di -80 ml ca. dal p.c. si rilevano resistività superiori a 7000 ohm\*m. Il calcolo innanzi esposto è da considerarsi pertanto cautelativo.

Per il dimensionamento teorico inoltre, si sono assunti i seguenti valori:

- Consumo reale della massa anodica = 10 Kg/Amp-anno;
- Coefficiente di rendimento = 80%
- Durata del dispersore anodico prevista = 15 anni ca.

A mezzo calcolo si ottiene pertanto che ogni dispersore anodico sarà composto come dettagliatamente descritto al par. 4.6 del capitolato special d'appalto, ovvero:

- N° 14 barre in ferro tondo DN70mm da 3 ml cad. o n° 7 da 6 ml cad., assiate mediante manicotti testa/testa in ferro ad alto spessore a saldare;
- q.b. cavo elettrico FG16OR16 sez. minima 1x10 mmq (n. 03 cavi per ogni dispersore anodico, di cui due alle estermità ed uno nella parte centrale). I cavi

dovranno raggiungere la morsettiera all'interno dell'armadio senza soluzioni di continuità, salvo casi eccezionali.

Kg. 600      polverino di carbon coke di petrolio calcinato a bassa resistività e granulometria fine.

ml. 80      tubo di sfiato in pvc DN 1" forato per la parte attiva del dispersore anodico (42 ml)

e cieco per la rimanente parte fino al raggiungimento del boccaporto della perforazione.

q.b.      collari neri 9x350mm, eventuali centratori, pozzetti di chiusura del boccaporto della perforazione, nastri di staffaggio, fune in nylon da 8mm e quant'altro necessario a garantire il perfetto funzionamento del dispersore anodico.

### 6.6 Ubicazione del dispersore

L'ubicazione corretta del dispersore è essenziale per il corretto funzionamento dell'impianto sia per quel che riguarda la corrispondenza dei calcoli teorici alla realtà, sia per quel che riguarda il rischio di interferenza con altre strutture non collegate all'impianto di protezione catodica.

Nel calcolo teorico si fa sempre riferimento ad un dispersore anodico posato a distanza infinita dalla struttura da proteggere. Il fatto che il dispersore sia in realtà a distanza finita influisce sulla distribuzione della densità di corrente sulla superficie della struttura. Aumentando questa distanza diminuisce questa discordanza, tuttavia esistono limiti tecnici ed economici che impongono di non allontanare troppo il dispersore dalla struttura.

Un valore ottimale della distanza può essere identificato con quello che fa sì che il gradiente elettrico provocato dal dispersore sul terreno al massimo non superi 0,01 Vm<sup>-1</sup>, valore ritenuto sufficientemente basso da non creare anomalie nella distribuzione della corrente di protezione. Dato che le distanze in gioco sono relativamente grandi, il campo elettrico provocato dal dispersore nel terreno può essere assimilato ad un campo elettrico sferico (o semisferico), per cui avremo:

$$E_{max} = 0,01$$

Di qui si può ricavare la distanza minima a cui deve essere posato il dispersore:

$$d = \sqrt{(I \cdot \rho) / (E_{max} \cdot 4 \cdot \pi)}$$

dove 'd' è la distanza in metri dal dispersore.

Nel calcolo della distanza, si è considerate una resistività media dei terreni attraversati da 0 a -40 ml pari a 20 ohm\*m ca. Con tale calcolo si ottiene che l'estermità superior di ogni dispersore anodico dovrà distare dal piano campagna non meno di 38 ml.

Analogamente è possibile determinare la distanza minima che deve avere il dispersore da strutture non collegate all'impianto di protezione.

In questo caso il valore massimo del gradiente da assumere può essere aumentato in

modo congruo.

#### *7. Sezionamenti elettrici*

Al fine di isolare elettricamente la rete di condotte da ogni altra struttura esterna quali ad esempio I torrini, le vasche, I serbatoi ecc., sulle condotte devono essere installati dei giunti dielettrici. Analoghi giunti dielettrici andranno installati per delimitare le zone di influenza di ogni singolo impianto e per creare sistemi di limitata lunghezza, separabili all'occorrenza dal resto dell'impianto, per eseguire misure di controllo o ricerche di eventuali anomalie.

Il sito di installazione dei giunti dielettrici è riportato nel precedente par. 6.3.1 Giunti dielettrici.

#### *8. Dimensionamento dell'impianto, ubicazione degli organi di protezione catodica*

Tutto ciò premesso, l'impianto di protezione catodica definitivo nel suo complesso, sarà costituito da:

N° 04 Impianti di protezione catodica (nel seguito IPC) a corrente impressa con drenaggio forzato su dispersore anodico di profondità con alimentatore da 10 Amp. Gli impianti saranno posizionati sempre in manufatti o proprietà dell'Ente Appaltante come da seguente elenco, se consentito dai risultati delle indagini geo-elettriche preventive.

IPC 1 : Torrino di Barletta;

IPC 2 : Serbatoio di Trani;

IPC 3 : Torrino di Molfetta;

IPC 4 : Nuovo serbatoio di Giovinazzo.

N° 02 Impianti di protezione catodica a corrente impressa con drenaggio forzato su dispersore anodico di profondità con alimentatore da 5 Amp. Gli impianti saranno posizionati sempre in manufatti o proprietà dell'Ente Appaltante come da seguente elenco, se consentito dai risultati delle indagini geo-elettriche preventive.

IPC 5 : serbatoio di Palese;

IPC 6 : nuovo serbatoio di Modugno.

N° 06 Logger a tre canali per la telesorveglianza dei parametri elettrici di funzionamento degli alimentatori catodici;

N° 10 Logger a due canali per la telesorveglianza dei valori di  $E_{ON}$  lungo linea o in punti caratteristici del tracciato di posa delle tubazioni. Detti logger si dovranno installare entro le cassette dei posti di misura previsti.

N° 35 Posti di interruzione e misura a colonnina, ubicati presso i seguenti siti:

| <b>Denominaz.<br/>PM</b> | <b>Progressiva</b>                   | <b>Ubicazione</b>                          |
|--------------------------|--------------------------------------|--|
| PM1                      | 1254,79                              | Sfiato                                     |
| PM2                      | 3658,52                              | Attraversamento S.P. 130                   |
| PM3                      | 4089,65                              | Attraversamento A 14                       |
| PM4                      | 5543,15                              | Scarico                                    |
| PM5                      | 7314,45                              | Attraversamento S.P. 13                    |
| PM6                      | 8249,42                              | Attraversamento S.P. 168                   |
| PM7                      | 10900,57                             | Sfiato                                     |
| PM8                      | 11942,27                             | Attraversamento S.P. 238                   |
| PM9                      | 12352,37                             | Giunto dielettrico Presa per Trani         |
| PM10                     | <i>DN400</i> <i>progr.</i><br>356,75 | Presa per Trani su cond. DN400             |
| PM11                     | 14252,37                             | Attraversamento cond. acc. DN450           |
| PM12                     | 15961,27                             | Attraversamento cond. SNAM                 |
| PM13                     | DN400 <i>progr.</i><br>40,10         | Presa per Bisceglie su cond. DN400         |
| PM14                     | 17645,55                             | Attraversamento S.P. 85                    |
| PM15                     | 19657,06                             | Attraversamento S.P. 86                    |
| PM16                     | 21509,21                             | Attraversamento S.P. 23                    |
| PM17                     | 23927,46                             | Attraversamento S.P. 56                    |
| PM18                     | <i>DN400</i> <i>progr.</i><br>100,68 | Presa per Molfetta su cond. DN400          |
| PM19                     | 26660,45                             | Attraversamento S.P. 112                   |
| PM20                     | 28168,10                             | Attraversamento Lama Cupa                  |
| PM21                     | 29815,60                             | Attraversamento S.P. 52                    |
| PM22                     | 30070,75                             | Attraversamento cond. SNAM                 |
| PM23                     | 31289,45                             | Attraversamento cond. SNAM                 |
| PM24                     | 32944,01                             | Attraversamento S.P. 107                   |
| PM25                     | 33415,70                             | Giunto dielettrico presa per<br>Giovinazzo |
| PM26                     | 34763,84                             | Scarico                                    |
| PM27                     | 37423,01                             | Attraversamento S.P. 218                   |
| PM28                     | 38358,18                             | Attraversamento S.P. 88                    |
| PM29                     | 40626,30                             | Attraversamento S.P. 91                    |
| PM30                     | 40666,20                             | Attraversamento Ferrovie Bari Nord         |
| PM31                     | <i>DN300</i> <i>progr.</i><br>123,50 | Presa per Palese su cond. DN300            |
| PM32                     | 41705,63                             | Attraversamento S.P. 156                   |
| PM33                     | 42556,24                             | Attraversamento S.P. 218                   |
| PM34                     | 43784,25                             | Attraversamento S.P. 231                   |
| PM35                     | 33214,75                             | Attraversamento S.P. 218                   |

In merito agli attraversamenti che prevedono l'utilizzo dei tubi guaina (controtubi) in acciaio, essi saranno protetti con impianti ad anodi sacrificali. La protezione sarà realizzata collegando metallicamente la struttura da proteggere con un metallo meno nobile di quello di cui la struttura stessa è costituita.

Saranno utilizzati quindi anodi al magnesio, posati in un letto anodico costituito da una miscela elettrolitica (backfill) allo scopo di rendere uniforme il loro consumo, diminuire la loro resistenza verso terra (e quindi aumentare la corrente erogata) e favorire l'uniforme distribuzione del campo elettrico.

Per quanto riguarda l'attraversamento ferroviario esso sarà effettuato conformemente al D.M. 04 aprile 2014 (GU n. 97 del 28.04.2014).

La condotta ed il relativo tubo di protezione, in relazione alle caratteristiche dell'elettrodo utilizzato, devono essere mantenuti ad un potenziale tale da garantire una protezione equivalente a quella garantita da un valore di almeno 0,85 Volt negativi con l'utilizzo di elettrodo Cu-CuSO<sub>4</sub>. Il rilievo del potenziale di protezione catodica deve essere effettuato in conformità delle norme vigenti ed in particolare secondo la norma UNI 11094. I valori di potenziale più positivi di quello di riferimento (-0.85V per elettrodo Cu-CuSO<sub>4</sub>) devono essere conteggiati nella loro durata determinando il tempo complessivo in cui tali fenomeni si sono manifestati nell'arco delle 24 ore. La misura del potenziale registrata è considerata conforme se nelle 24 ore il tempo totale di permanenza di questi valori è uguale o minore a 3600 secondi purché non continuativi.

#### *9. Sistema di telesorveglianza*

Sia gli alimentatori catodici che i posti di misura saranno dotati di sistema di telesorveglianza a mezzo di logger elettronici come da seguenti specifiche.

Strumento per la gestione della protezione catodica, in accordo con quanto definito dalle normative vigenti. Il sistema è strutturato con un software di centro ed una RTU di campo. La quotidiana comunicazione tramite vettore SMS tra RTU e Centro fornirà all'operatore i dati per condurre l'impianto di protezione catodica.

Registratore a 3 canali per il monitoraggio in remoto dei parametri elettrici dell'alimentatore catodico quali:

corrente erogata;

tensione impressa;

valore di potenziale tubo/terra.

Realizzazione con elettronica SMD a basso assorbimento con tecnologia a microprocessore a 16 bit; Alimentazione autonoma con batteria primaria agli ioni di litio che ne garantisce il sostentamento per 2 anni con la configurazione a 3 canali con una trasmissione ogni 24 ore.

Dotazione di diodi per la protezione da scariche esterne e di filtri sui segnali in ingresso per eventuali disturbi derivati dalle frequenze comuni;

Trasmissione mediante modulo GSM/GPRS con protocollo SMS per l'invio standard giornaliero delle medie e tramite connessione diretta per le registrazioni di 24 ore;

Software per la gestione, la programmazione e la consultazione in remoto, l'archiviazione dei dati ottenuti.

Visualizzazione dei parametri nelle seguenti forme:

tabellare (con indicazione di statistiche quali valori min, med, max, scarto quadratico medio, tempo totale fuori soglia, tempo normativo fuori soglia, numeri fuori soglia, allarmi);  
grafica con il tracciato dei grafici scaricati;  
Gestione dello strumento mediante piattaforma Internet consultabile da qualsiasi postazione connessa alla rete.

#### *10. Posto di interruzione e misura a colonnina*

Il posto di interruzione e misura sarà composto da una cassetta in SMC (vetroresina) dalle seguenti caratteristiche:

Realizzazione in SMC (vetroresina), per uso esterno.

Coperchio innestato a coulisse con chiusura mediante vite a brugola in acciaio inox AISI 304.

Esecuzione con imbocco inferiore per montaggio su sostegno tubolare con estremità non filettata.

Morsettiera interna in PVC quattro posizioni.

Grado di protezione IP 44 secondo IEC 529/89 ed IP 449 secondo NF C 20-010 certificato CESI.

Conformità alle norme UNI e CEI per la salvaguardia della sicurezza.

Produzione con certificazione CSQ in conformità alla norma UNI EN ISO 9001.

La cassetta di misura sarà fissata ad un sostegno tubolare in acciaio zincato Ø 1" ½ da 1 ml da ancorare alle pareti del manufatto; ove non esistesse nessun manufatto, il sostegno sarà annegato, nella parte interrata, in un massetto di calcestruzzo di dimensioni adeguate.

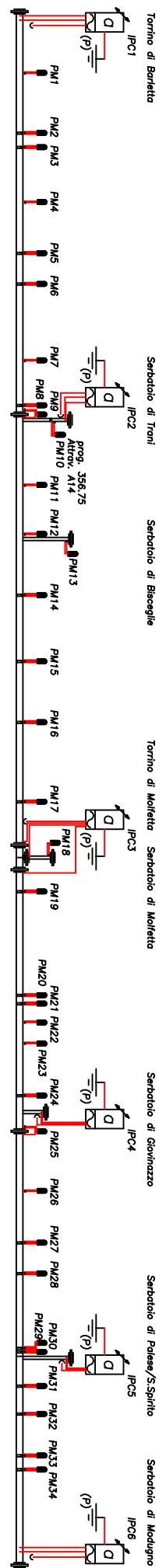
I cavi che si utilizzeranno saranno del tipo FG16OR16 0,6/1 kV sez. 1x10 mm<sup>2</sup> per i posti di misura e di interruzione e misura per GD.

Il collegamento alla condotta sarà realizzato mediante saldatura alluminotermica del cavo su piastrina in acciaio (50 x 30 x 3 mm) e successiva saldatura perimetrale ad arco elettrico della piastrina sulla tubazione, o mediante dado e perno in acciaio inox da 8 mm. Il ripristino delle parti oggetto d'intervento sarà eseguito con materiali aventi potere d'isolamento confrontabile con quello del rivestimento applicato alle tubazioni. Ogni posto di misura sarà dotato di un elettrodo di riferimento fisso al Cu/CuSO<sub>4</sub>, per interrimento diretto, di tipo tradizionale che dovranno essere costituiti da un contenitore poroso, del diametro di 150 mm ed altezza 300 mm, contenente la soluzione di solfato di rame al 99.98% di purezza, nella quale è immersa la spirale in tondo di rame (superficie di contatto di circa 943 cm<sup>2</sup>). Completano l'elettrodo il tappo in resina epossidica, il cavo elettrico FG16OR16 sez. 1x6 mm<sup>2</sup> ed il connettore di giunzione spirale-cavo (cfr monografie posti di misura, Allegato 2).



**ALLEGATO 1: SCHEMA GRAFICO SISTEMA DI  
PROTEZIONE CATODICA**

↑  
 dn 1200  
 ↓  
 ↑  
 dn 1000  
 ↓

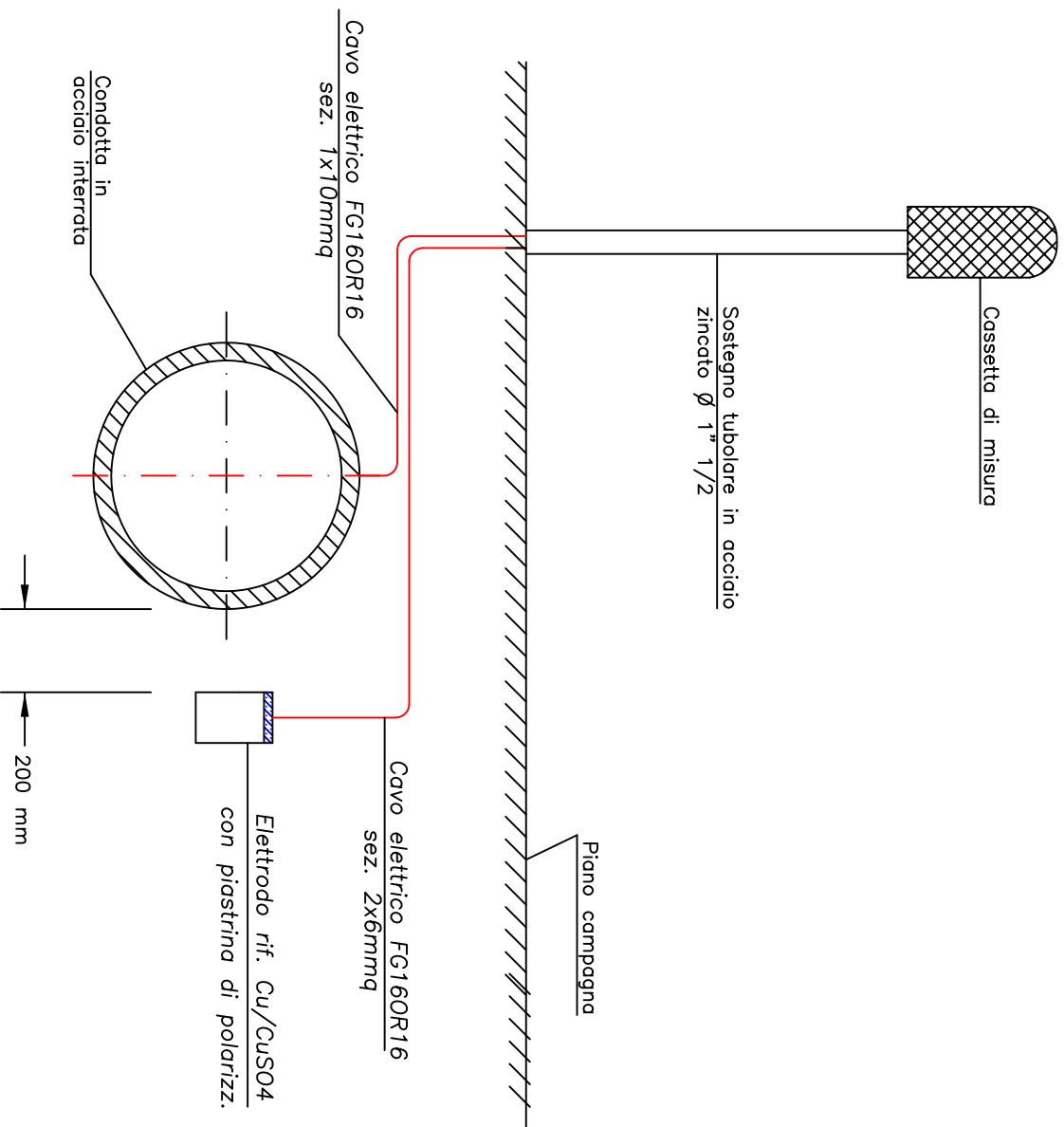


- prog. 0.00 Torino di Barietta
- prog. 1254.79 pozzetto di sfiato
- prog. 3658.52 Attr. sp 130
- prog. 4089.65 Attr. A14
- prog. 5543.15 Pozzetto di scarico
- prog. 7314.45 Attr. sp13
- prog. 8249.42 Attr. sp168
- prog. 10900.57 pozzetto di sfiato
- prog. 11942.27 Attr. sp238
- prog. 12352.37 presa per Trani
- prog. 14252.37 Attrav. dn450 acc.
- prog. 15961.27 Attrv. Snam
- prog. 15979.82 Presa per Bisceglie
- prog. 17640.55 Attr. sp85
- prog. 19657.06 Attr. sp86
- prog. 21509.21 Attr. sp23
- prog. 23927.46 Attr. sp56
- prog. 25669.21 Torino di Molfetta
- prog. 26660.45 Attr. sp112
- prog. 28168.10 Attr. Lama Cupa
- prog. 29815.60 Attr. sp52
- prog. 30070.75 Attrv. Snam
- prog. 31289.45 Attrv. Snam
- prog. 32944.01 Attrv. sp107
- prog. 33415.70 Presa per Giovinazzo
- prog. 34763.84 Pozzetto di scarico
- prog. 37423.01 Attrav. sp218
- prog. 38358.18 Attrav. sp88
- prog. 40626.30 Attrav. sp91
- prog. 40666.20 Attrav. PS Bari Nord
- prog. 40844.08 Presa per Palese /S.Spirito
- prog. 41705.63 Attrav. sp156
- prog. 42556.24 Attrav. sp218
- prog. 43784.25 Attrav. sp231
- prog. 44214.75 Attrav. sp218
- prog. 47126.25 Nodo serb. Modugno

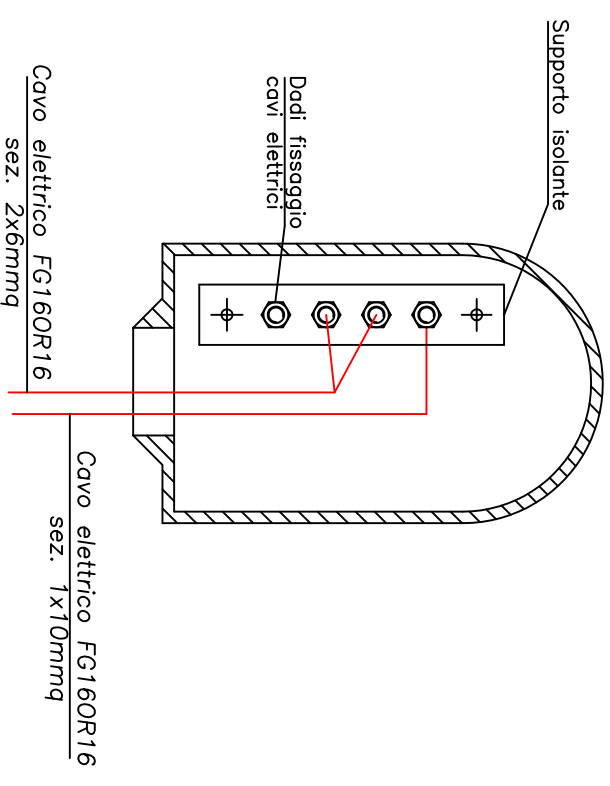
|                                     |                                      |         |   |               |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---------|---|---------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Tubo camicia in acciaio nudo         | dn 1200 | dal torrino di Barietta alla presa per Giovinazzo       | L 33415,70 mt |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Impianto di protezione catodica      | dn 1000 | dalla presa per Giovinazzo al serbatoio di Bari-Modugno | L 13710,55 mt |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Posto di misura a colonna            | dn 400  | derivazione per il serbatoio di Trani                   | L 993,25 mt   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Dispensore unidico di profondità     | dn 400  | servizio per il serbatoio di Bisceglie                  | L 4810 mt     |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Giunto Metallico                     | dn 400  | servizio per Molfetta                                   | L 100,68 mt   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Elettrodo di riferimento al Cu/CASIA | dn 300  | servizio di Palese-S.Spirito                            | L 123,50 mt   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Cavi elettrici                       | dn 200  | servizio per il serbatoio di Giovinazzo                 | L 27,25 mt    |

**ALLEGATO 2: POSTO DI MISURA SISTEMA DI  
PROTEZIONE CATODICA**

## POSTO DI MISURA SEMPLICE



## CASSETTA DI MISURA



## SALDATURA CAVO/CONDOTTA

