

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

### EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)  
 SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)  
 COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)  
 SACYR S.A.U. (MANDANTE)  
 ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)  
 A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

#### IL PROGETTISTA



Dott. Ing. I. Barilli  
 Ordine Ingegneri  
 V.C.O. n° 122  
 Dott. Ing. E. Pagani  
 Ordine Ingegneri Milano  
 n° 15408



#### IL CONTRAENTE GENERALE

Project Manager  
 (Ing. P.P. Marcheselli)

STRETTO DI MESSINA  
 Direttore Generale e  
 RUP Validazione  
 (Ing. G. Fiammenghi)

STRETTO DI MESSINA  
 Amministratore Delegato  
 (Dott. P. Ciucci)

Unità Funzionale

GENERALE

Tipo di sistema

TECNICO

GE0011\_F0

Raggruppamento di opere/attività

ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE

Opera - tratto d'opera - parte d'opera

GENERALE

Titolo del documento

OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI:  
 PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE

CODICE

C G 0 7 0 0 P R G D G T C 0 0 G 0 0 0 0 0 0 0 1 F 0

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	D. RE	M. TACCA	I. BARILLI

NOME DEL FILE: GE0011\_F0

revisione interna: \_\_



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</b>		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
1 generalità .....	5
2 riferimenti bibliografici e normativi .....	5
3 fenomenologia e cenni generali.....	7
3.1 Sistemi di trazione elettrici in corrente continua di superficie .....	7
3.2 Sistema di trazione elettrica in corrente continua con sviluppo in galleria .....	8
3.3 corrosione dovuta a sistemi di protezione catódica a corrente impressa .....	9
4 misure preventive e correttive per il controllo del fenomeno .....	11
5 Filosofia di protezione adottata .....	13
5.1 Predisposizione dei collegamenti ai ferri di armatura per le strutture di calcestruzzo .....	14
5.2 Elettrodi portatili di riferimento .....	14
5.3 Elettrodi fissi di riferimento .....	15
5.4 predisposizioni e Posizionamento per tipologia di struttura.....	17
5.4.1 Opera di attraversamento.....	17
5.4.2 Stazioni sotterranee .....	17
5.4.3 Gallerie .....	18
5.4.4 Viadotti, sovrappassi e sottopassi .....	19
5.4.5 Altre strutture interferite .....	20
5.4.5.1 Tubazioni per distribuzione acqua (potabile o antincendio) .....	21
5.4.5.2 Canalizzazioni per raccolta acque reflue .....	21
5.4.5.3 Cavi di energia e telecomunicazioni.....	21
5.4.5.4 Gasdotti .....	21
6 sistema DI monitoraggio dell'interferenza da correnti vaganti .....	22
6.1 grandezze monitorate in modo continuo e posizione dei punti di misura .....	22
6.2 architettura Generale per il sistema di monitoraggio .....	23
6.3 funzioni del software di analisi e trattamento dati .....	25
6.3.1 Acquisizione dati. ....	25
6.3.2 Interfaccia operatore .....	25
6.3.3 Analisi dei dati .....	25
6.3.4 Reporting ed esportazione dei dati.....	26
7 Sistema per protezione catodica a corrente impressa.....	26



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE –  CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E  PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 1 generalità

Questo documento fornisce brevi cenni sulla fenomenologia della corrosione dovuta ad interferenza da correnti disperse derivanti dalla trazione ferroviaria (correnti vaganti), fornendo le indicazioni generali in termini di caratterizzazione, monitoraggio del fenomeno nel tempo ed interventi da attuare al fine di mitigare l'effetto dell'interferenza stessa su strutture metalliche o in cemento armato.

Il documento è organizzato nei seguenti paragrafi:

- Riferimenti bibliografici e normativi;
- Cenni generali sulla fenomenologia
- Misure preventive e correttive adottabili per il controllo del fenomeno;
- Filosofia di protezione adottata per le opere del progetto;
- Descrizione dei sistemi di monitoraggio e schematico per impianto di protezione catodica;

## 2 riferimenti bibliografici e normativi

1. EN 50122-1: 2011, "Applicazioni ferroviarie - Installazioni fisse. Parte 1: Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra".
2. EN 50122-2: 2010, "Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Impianti fissi Parte 2: Protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate da sistemi di trazione a corrente continua".
3. CEI EN 50162: 2005 "Protezione contro la corrosione da correnti vaganti causate dai sistemi elettrici a corrente continua".
4. UNI EN 12954: 2002, "Protezione catodica di strutture metalliche interrate o immerse - Principi generali e applicazione per condotte.
5. UNI 11094: 2004, "Protezione catodica di strutture metalliche interrate - Criteri generali per l'attuazione, le verifiche e i controlli ad integrazione della UNI EN 12954 anche in presenza di correnti disperse".
6. CEI 9-20: 2002, "Guida d'applicazione della normativa di sicurezza per gli impianti fissi di trazione a corrente continua in presenza di strutture metalliche od in cemento armato Parte 1: Sistemi con tensione nominale di linea sino a 1500 V",
7. Standard NACE RP0169-83, "Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems";

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</p>	<p><i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>	

8. Standard NACE RP017-74, "Corrosion Control of Electrical Underground Residential Distribution Systems";

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3 fenomenologia e cenni generali

Con correnti vaganti si intende quel fenomeno costituito dalla circolazione nel terreno di correnti elettriche, causate in alcuni casi dallo stesso campo elettrico terrestre, ma in genere introdotte dalla presenza di installazioni industriali o da impianti di trazione elettrica che in modo volontario o indiretto interessano il terreno come mezzo di richiusura del circuito di alimentazione.

Da un punto di vista di protezione dalla corrosione, il fenomeno è generato e rappresenta una problematica significativa in termini di corrosione per i sistemi a corrente continua, e tipicamente:

- Sistemi di trasporto elettrificati in corrente continua, quali ferrovie, metropolitane e linee tranviarie.
- Sistemi di protezione catodica, utilizzati in modo diffuso per la protezione di tubazioni interrato di trasporto di idrocarburi (petrolio e gas) e dell'acqua (reti di distribuzione acqua).

La corrosione avviene ad effetto di una reazione elettrochimica nelle zone in cui la corrente fuoriesce da una struttura metallica, portando in soluzione il metallo.

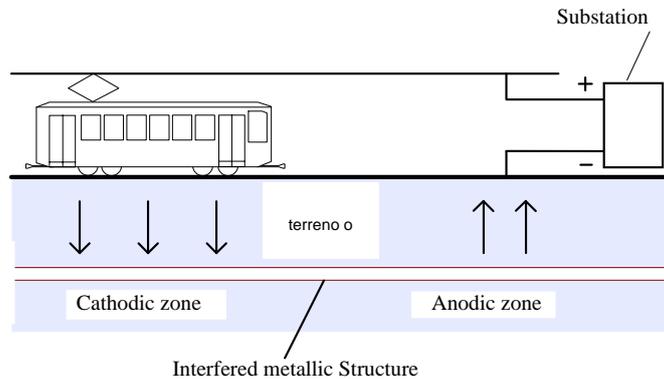
Nel prosieguo del paragrafo si riportano brevi esempi dei sistemi che costituiscono fonte di interferenza da correnti vaganti.

#### 3.1 Sistemi di trazione elettrici in corrente continua di superficie

La presenza di sistemi di trazione alimentati in corrente continua con ritorno della corrente attraverso le rotaie determina inevitabilmente circolazione di corrente nel terreno e la possibile interferenza con strutture metalliche presenti nelle immediatezze della linea di trazione.

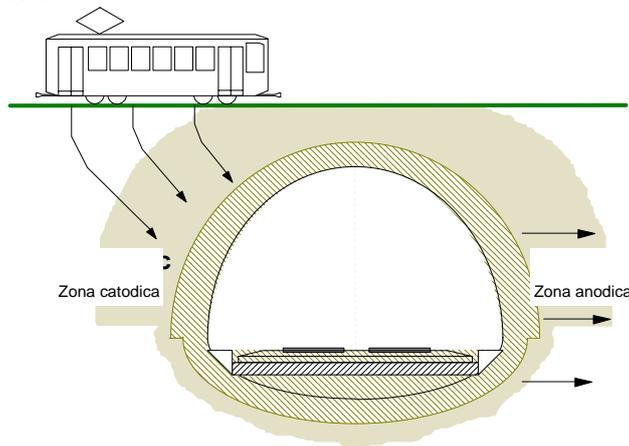
Il tipico schema di interferenza è mostrato nelle due figure seguenti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</b>		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Il meccanismo di interferenza è semplice:

- L'alimentazione in corrente continua fluisce attraverso i fili di contatto ed il pantografo verso il treno (polo positivo);
- Il percorso di ritorno della corrente è attraverso la rotaia (soprattutto) e nel suolo a causa della conduttanza non nulla tra le rotaie e il suolo stesso;
- La corrente che scorre nel terreno segue il percorso a resistenza più bassa, interessando eventualmente le strutture metalliche presenti nel terreno;
- Nei punti dove la corrente lascia la struttura interrata per ritornare al binario (zone anodiche), frequentemente vicino alle sottostazioni di alimentazione, possono avvenire attacchi di corrosione.

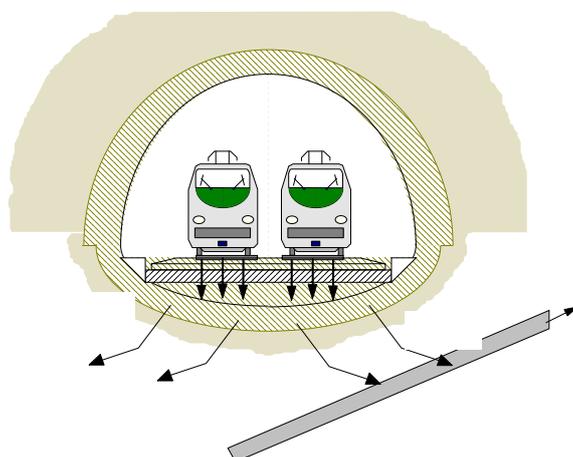


### 3.2 Sistema di trazione elettrica in corrente continua con sviluppo in galleria

Oltre a quanto descritto in precedenza, anche la struttura di galleria, se composta da elementi strutturali metallici o in cemento armato, può soffrire l'interferenza e la corrosione da correnti vaganti nelle zone ove la corrente fuoriesce dalle strutture per tornare nel terreno ed infine nei binari.

Oltre al tunnel stesso anche altri elementi metallici presenti nelle vicinanze possono essere interferiti.

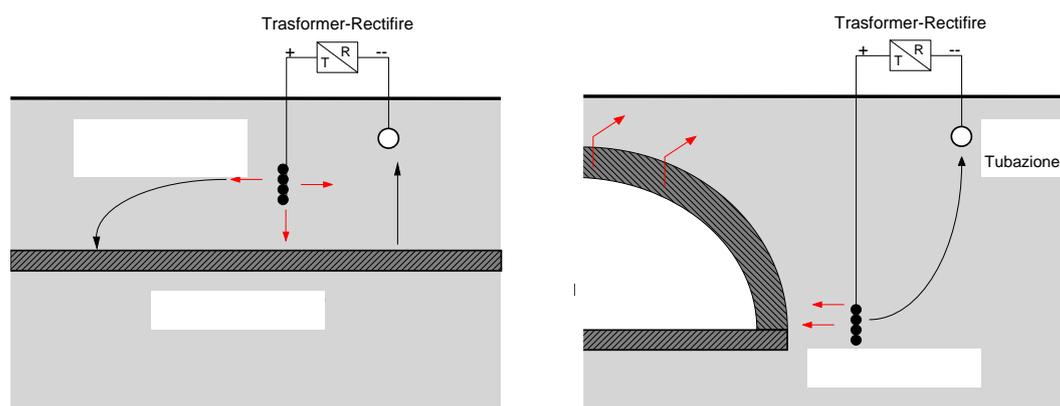
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



### 3.3 corrosione dovuta a sistemi di protezione catódica a corrente impressa

I sistemi di protezione catodica a corrente impressa possono determinare condizioni di interferenza e corrosione nelle strutture metalliche poste nelle vicinanze.

Il meccanismo di interferenza è riassunto nella figura seguente.



La fenomenologia risulta essere sempre la stessa:

- La corrente continua fornita dal dispersore anodico del sistema di protezione catodica fluisce nel terreno per richiudersi nella struttura (tubazione nell'esempio) protetta.
- La corrente può così interessare le strutture metalliche che incontra nel terreno seguendo il percorso a resistenza più ridotta.
- Nei punti ove la corrente esce dalla struttura per tornare nel terreno possono avvenire attacchi di corrosione sulla struttura stessa.

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</p>	<p><i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE –  CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E  PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTRICHE</b>		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4 misure preventive e correttive per il controllo del fenomeno

Ai fini della protezione dagli effetti delle correnti vaganti, gli interventi si possono suddividere in misure preventive, monitoraggio dello stato di interferenza durante la vita delle strutture e misure correttive necessarie a mitigare gli effetti da interferenza da correnti vaganti in quei casi dove la durabilità delle opere possa essere pregiudicata da fenomeni di corrosione non trascurabile.

Le **misure preventive** sono implementate nella progettazione delle opere e constano degli accorgimenti finalizzati alla riduzione delle correnti disperse o a limitarne la circolazione nel terreno. Da un punto di vista generale tra queste si possono considerare:

- Interventi per ridurre la diffusione della corrente nel suolo attraverso la riduzione della resistenza longitudinale del circuito di ritorno e la diminuzione della conduttanza tra binario e terreno.
- Separazione tra il sistema di messa a terra di protezione terra ed il ritorno della trazione, nelle normali condizioni di funzionamento.
- Isolamento elettrico tra i vari componenti strutturali di ogni opera e degli stessi verso il terreno circostante.
- Riduzione della lunghezza dei tratti paralleli al binario delle strutture di cemento armato (con giunti e isolanti) e delle strutture metalliche (con pannelli isolanti).

**Il monitoraggio** del livello di interferenza da correnti vaganti durante la vita delle opere è un elemento importante nella verifica della durabilità delle stesse.

Le tipologie di misura ritenute significative sono le seguenti:

- Caratterizzazione del campo elettrico esistente nel terreno pre-opera e post-opera, da effettuarsi prima dell'inizio dell'esercizio ferroviario.
- Misura del potenziale assunto dai componenti metallici presenti lungo l'opera rilevati rispetto ad elettrodi di riferimento specifici per l'applicazione.
- Misura del potenziale di binario rispetto al terreno.
- Misura delle correnti che si richiudono verso il circuito di ritorno provenienti dal terreno (corrente verso il binario nei collegamenti con diodo dai circuiti di terra di protezione)
- Misura della caduta di tensione tra l'inizio e la fine di un manufatto (parallelo al binario) caratterizzato da continuità elettrica delle strutture metalliche che lo compongono.

Queste verifiche, con le opportune differenziazioni possono essere condotte sia per strutture completamente metalliche che per strutture in cemento armato, predisponendo in fase costruttiva opportuni punti di contatto con i ferri di armatura.

Le misure devono essere realizzate periodicamente, con frequenze da stabilire opera per opera in funzione delle particolarità di ciascuna e dei risultati ottenuti dalle campagne di misure precedenti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E  GALLERIE – CORRENTI VAGANTI:  PREVENZIONE, MONITORAGGIO E  PROTEZIONE DALLE CORROSIONI  ELETTROLITICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Nel caso di rilevazione di interferenza, o comunque in tutti quei casi ove si ritenga opportuno, per una **protezione attiva da corrosione** dovuta alle correnti vaganti possono essere adottate le seguenti soluzioni:

- Drenaggio delle correnti dalla struttura interferita al ritorno di trazione, con collegamento elettrico attraverso diodo.
- Installazione di impianto di protezione catodica passiva, con anodo sacrificale.
- Installazione di impianto di protezione catodica a corrente impressa, pilotato ad esempio in tensione.

Questi sistemi devono essere opportunamente dimensionati e sono funzione delle situazioni di interferenza stimati e confermati da rilievi sul campo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE –  CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E  PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</b>		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 Filosofia di protezione adottata

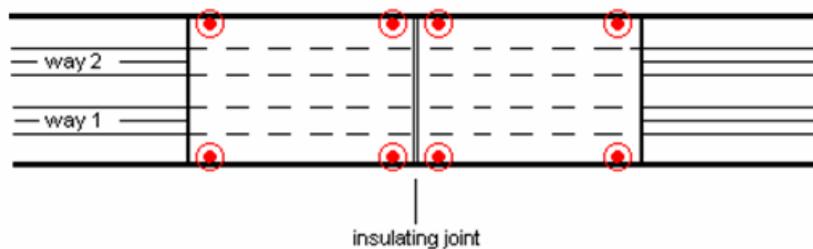
Considerata la tipologia di fenomeno, difficilmente caratterizzabile a priori in quanto dipendente da diverse variabili territoriali e d'impianto, si prevedono in questa sede una serie di interventi volti prevalentemente a consentire l'adozione di misure adeguate durante la fase di progetto esecutivo e di messa in esercizio dell'opera.

1. Caratterizzazione del campo elettrico esistente pre-opera e post-opera. Da realizzarsi fondamentalmente attraverso campagne in sito per la misura del gradiente elettrico nel terreno, indotto anche da campi di corrente preesistenti alla ferrovia.
2. Installazione diffusa di punti di accesso ai ferri d'armatura. Indispensabili per effettuare misure di potenziale, eventuali collegamenti equipotenziali, drenaggi elettrici o collegamenti a impianti di protezione attiva.
3. Realizzazione di campagna di misura con strumenti portatili del potenziale dei ferri di armatura e delle strutture metalliche rispetto ad elettrodi di riferimento portatili (con registrazioni da 15min a 24h). Questa campagna è da condurre su tutte le opere possibilmente interferite durante la circolazione ferroviaria ed è finalizzata ad identificare i manufatti per i quali è necessario un monitoraggio ed eventuali interventi di protezione specifica.
4. Realizzazione di campagne a spot per il rilevamento della caduta di tensione tra l'inizio e la fine di un manufatto significativo, realizzate con strumentazione portatile.
5. Installazione di elettrodi fissi di riferimento (tipo MMO o MnO<sub>2</sub>) per i manufatti in cemento armato dell'opera di attraversamento, nelle stazioni sotterranee e nei manufatti per i quali la campagna di misura con elettrodi portatili presenti situazioni di interferenza
6. Installazione di un sistema di raccolta delle misure disponibili da postazioni di monitoraggio fisse, centralizzazione dati e interrogazione / interpretazione degli stessi in postazione computerizzata dedicata con opportuno software di interpretazione dei livelli di allarme e statistica dei rilevamenti.
7. Realizzazione di sistemi di protezione catodica passiva / attiva o di drenaggio nei casi in cui si rilevasse presenza di interferenza significativa.

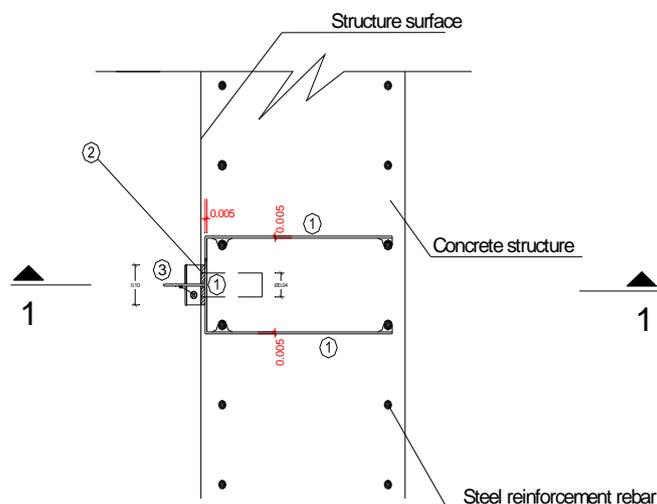
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 5.1 Predisposizione dei collegamenti ai ferri di armatura per le strutture di calcestruzzo

Ogni struttura in cemento armato dovrà essere realizzata prevedendo, per ogni sezione isolata delle stesse (giunti di dilatazione o interruzione della continuità delle armature), l'installazione di punti esterni di accesso ai ferri di armatura.



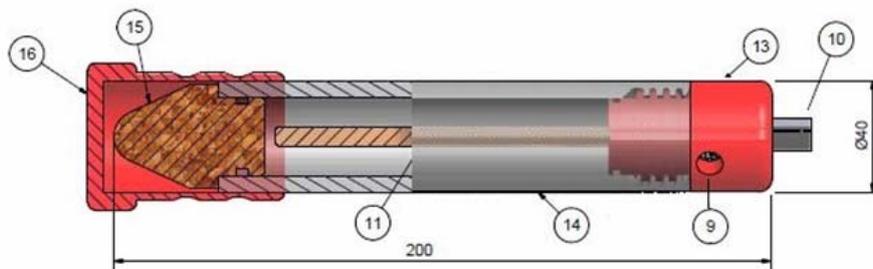
Il collegamento dovrà essere effettuato secondo quanto identificato nella figura seguente o con metodologia similmente efficace definita in accordo al progettista delle opere durante la fase di progetto esecutivo (altezza a circa 1m dal piano del terreno / piano del ferro).



## 5.2 Elettrodi portatili di riferimento

Per le misurazioni da effettuarsi con elettrodo di riferimento e strumento di registrazione portatile, possono essere utilizzati elettrodi di rame / solfato di rame saturo (CSE). Questo elettrodo di riferimento è adatto sia per misurazioni rispetto al terreno (strutture metalliche) che al cemento (strutture in calcestruzzo). In quest'ultimo caso, una spugna bagnata deve essere utilizzata tra l'elettrodo e la superficie di calcestruzzo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G00000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

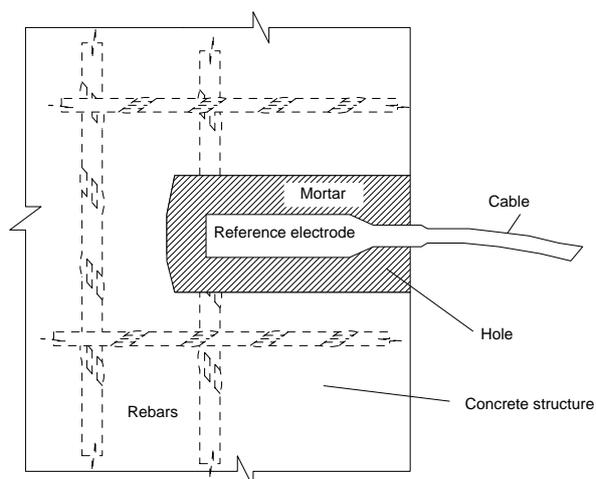
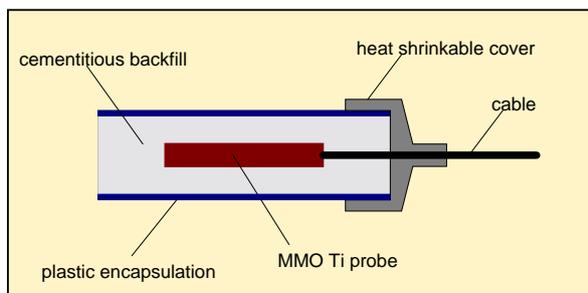


Elettrodo di rame/solfato di rame			
ELEM.	QTA	NUMERO PARTE	DESCRIZIONE
9	1		Morsetto
10	1		Pulsante
11	1		Elettrodo Cu
13	1		Terminale superiore
14	1		Contenitore
15	1		Puntale legno
16	1		Contenitore esterno

### 5.3 Elettrodi fissi di riferimento

Per installazioni fisse in strutture di cemento armato possono essere utilizzati i seguenti elettrodi di riferimento:

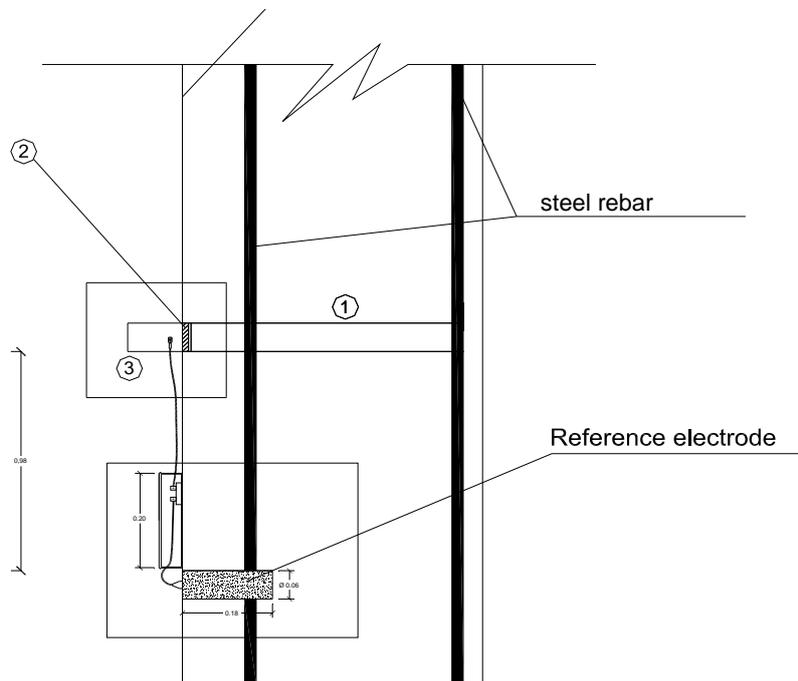
- Mixed Metal Oxide (MMO) al Titanio attivato (vedi schema seguente).
- Manganese dioxide (MnO<sub>2</sub>).



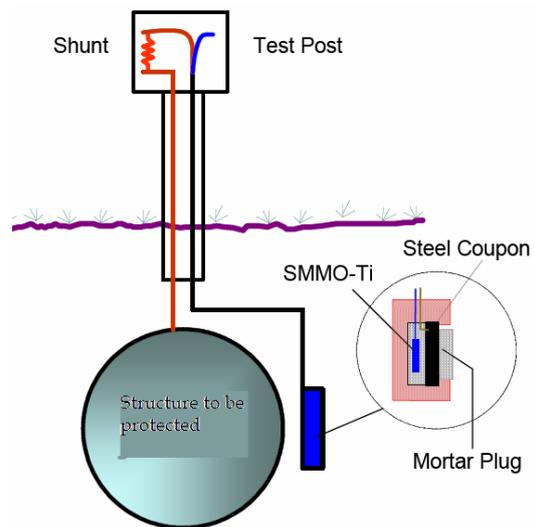
Diversi anni di sperimentazione a lungo termine hanno confermato la massima stabilità del potenziale misurato e la riproducibilità delle letture.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</b>		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Da un punto di vista di installazione tipologica, l'elettrodo di riferimento fisso può essere installato o preventivamente al getto di calcestruzzo e attraverso foro/carotatura in opera alla distanza di circa 1m dal punto di accesso al potenziale dei ferri di armatura.



Per installazioni nel terreno si utilizzano elettrodi fissi CSE o sonde con elettrodo al titanio attivato/annegato in malta cementizia.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE –  CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E  PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</b>		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5.4 predisposizioni e Posizionamento per tipologia di struttura

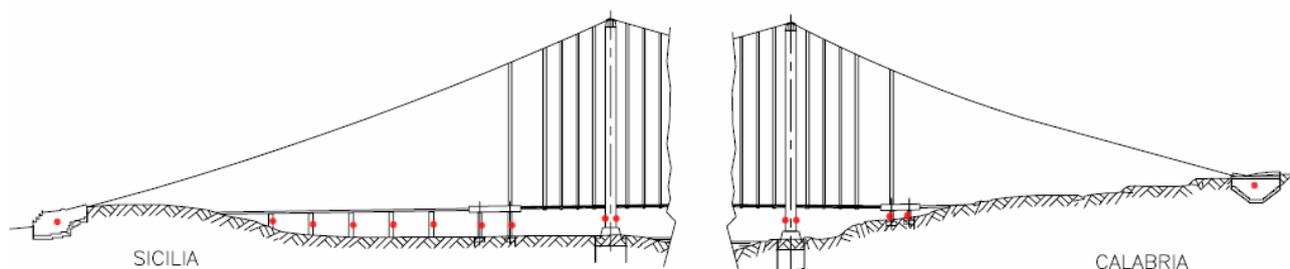
### 5.4.1 Opera di attraversamento

Per quanto riguarda l'opera di attraversamento vera e propria si prevede l'installazione di:

- Due elettrodi di riferimento fissi per ognuna delle quattro fondazioni dei pilastri principali;
- Due elettrodi per ognuna delle due fondazioni di ancoraggio dei cavi di sostegno;
- Un elettrodo per ogni fondazione dei pilastri dell'opera di avvicinamento

Come riferito in precedenza questi elettrodi devono essere posizionati in prossimità dei punti di collegamento ai ferri di armatura e ad un'altezza di circa un metro dal terreno.

Si prevede quindi un totale di 20 punti di misura che, attraverso raccolta dati e trasmissione a postazione di controllo centralizzata, consentiranno un monitoraggio continuo delle eventuali interferenze.



Considerate le caratteristiche di particolare pregio dell'opera e la probabilità di rilevare situazioni di interferenza si prevede l'implementazione di sistemi di protezione catodica a corrente impressa alle due estremità del ponte.

### 5.4.2 Stazioni sotterranee

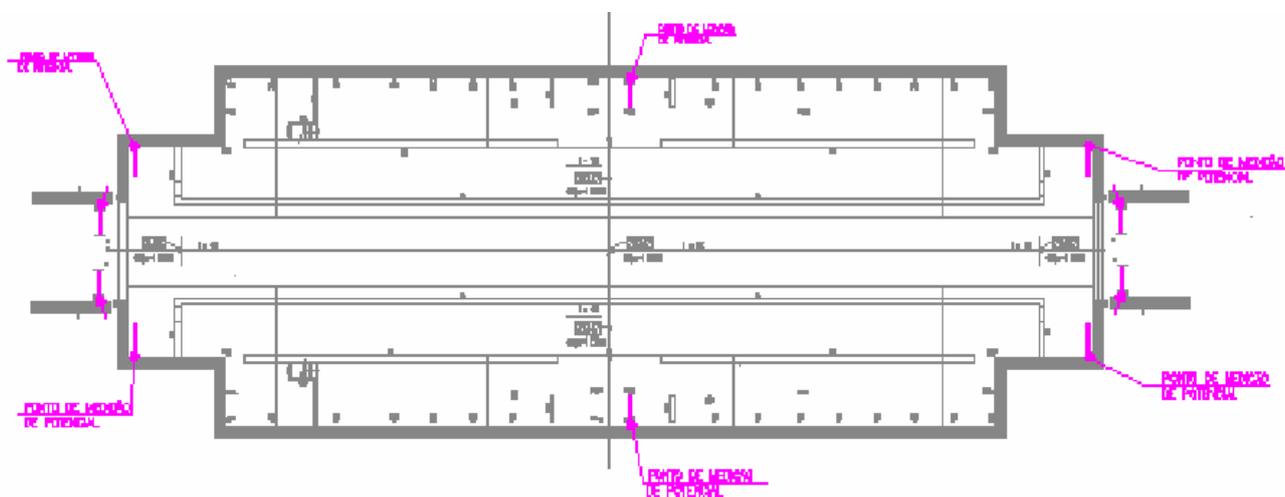
Per le stazioni passeggeri realizzate in sotterraneo, si prevede l'installazione di 10 elettrodi fissi di riferimento in ogni stazione, in corrispondenza di altrettanti punti di accesso alle armature di rinforzo del calcestruzzo.

Il posizionamento dovrà essere definito durante la fase di progetto esecutivo di concerto con il

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G00000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

progettista delle opere civili, in funzione della presenza di giunti isolanti longitudinali e di sezioni del manufatto civile isolate dal corpo principale di stazione.

Per una struttura elettricamente monolitica, con giunti isolanti o di dilatazione alle estremità della stessa il principio da seguire è riportato nella figura seguente.



Elettrodi e punti di accesso alle armature dovranno essere installati secondo quanto indicato nei paragrafi precedenti a circa un metro dal piano del ferro.

Utilizzando gli elettrodi fissi come riferimento, la misura del potenziale dei ferri di armatura verrà monitorata in continuo attraverso raccolta dati e trasmissione a postazione di controllo centralizzata.

### 5.4.3 Gallerie

Per il rivestimento in calcestruzzo di **gallerie realizzate con metodo TBM** e conci prefabbricati, la probabilità di interferenze da correnti vaganti è mantenuta molto bassa dalle dimensioni contenute del singolo concio prefabbricato, normalmente isolato elettricamente dai conci adiacenti.

Condizioni di interferenza da correnti vaganti possono essere esclusi qualora:

- sia presente una guarnizione in gomma tra gli elementi;
- sia garantito l'isolamento elettrico tra le armature di ogni concio;
- non sia presente nessun legame elettrico tra le armature e il sistema di messa a terra di protezione della trazione.

Tuttavia per ragioni di sicurezza elettrica è a volte necessario procedere al collegamento

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTRICHE		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

equipotenziale tra tutti i conci presenti in galleria.

Fatto salvo la necessaria predisposizione per accesso al potenziale del singolo concio e l'eventuale collegamento equipotenziale dei conci presenti su ciascun anello, si richiede attenta valutazione sul collegamento longitudinale tra i vari anelli che deve essere realizzato solo in caso di assoluta necessità, già che potrebbe rivelarsi pregiudiziale per una corretta protezione dall'interferenza da correnti vaganti.

Per quanto riguarda invece gallerie realizzate secondo metodi tradizionali, con presenza di manufatti in cemento con armatura strutturale e continuità elettrica delle armature, il rischio di interferenza e corrosione da correnti vaganti aumenta con la lunghezza della singola sezione. In tal caso, lunghezze massima longitudinale non superiori ai 200-300m, sono fortemente raccomandate al fine di contenere l'interferenza a livelli accettabili.

Anche in questo caso, preferenzialmente i rinforzi delle armature non devono essere collegati al sistema di messa a terra.

Per questo tipo di gallerie devono essere previsti punti di accesso alle armature all'inizio ed alla fine di ogni sezione elettricamente continua.

I punti di collegamento alle armature e gli eventuali elettrodi fissi devono essere posizionati nella parte bassa delle strutture, come indicato nei paragrafi precedenti.

Nel caso di gallerie artificiali, ogni elemento isolato della struttura deve prevedere punti di accesso ai ferri, incluse le solette se isolate dalle paratie.

La necessità di installare elettrodi di riferimento fissi e riporto delle misure al posto centrale deve essere verificato e stabilito in fase di messa in esercizio.

**Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.**

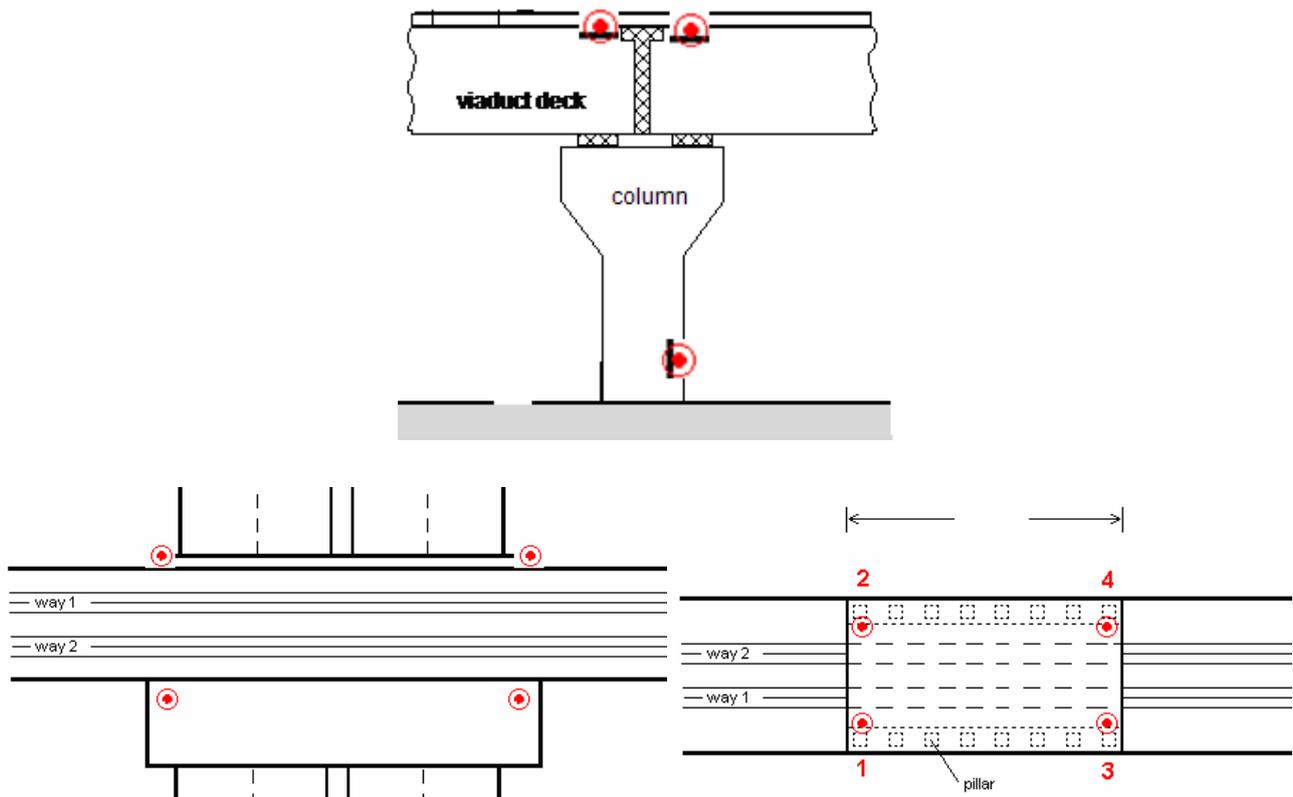
Nelle gallerie si deve inoltre prestare particolare attenzione alla presenza di elementi metallici che potrebbero compromettere il sezionamento elettrico delle strutture, come ad esempio la messa a terra degli schermi dei cavi, le tubazioni antincendio etc.

**5.4.4 Viadotti, sovrappassi e sottopassi**

Per queste strutture dovrà sempre essere prevista la realizzazione di predisposizioni per accesso ai ferri di armatura. Posizionamento tipico per viadotto, sottopasso e cavalca ferrovia, da

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

confermarsi in sede di progetto esecutivo sono indicati nelle figure seguenti.



La caratterizzazione della reale situazione di interferenza attraverso la verifica delle interferenze da realizzarsi in campo durante la fase di messa in esercizio darà indicazioni sui punti ove implementare un monitoraggio con elettrodi fissi e di riporto centralizzato delle misure di potenziale.

#### 5.4.5 Altre strutture interferite

Poiché il campo elettrico dovuto al ritorno della corrente di trazione attraverso il suolo ha la stessa direzione delle rotaie, la probabilità di interferenza su tubi metallici interrati è molto più alta in direzione longitudinale che in quella trasversale ai binari.

Di conseguenza, è importante prevedere sezionamento elettrico ad intervalli di circa 200m per tubi metallici interrati parallelamente al tracciato ferroviario.

Per quanto riguarda le reti di distribuzione realizzate in materiale metallico che attraversano il

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE –  CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E  PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTRICHE</b>		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

tracciato ferroviario, pur non essendo interessati da interferenze significative, devono essere elettricamente sezionati ad entrambe i lati dell'attraversamento.

Per tutte queste tipologie di strutture è da prevedere una verifica del livello di interferenza con misure di campo.

#### **5.4.5.1 Tubazioni per distribuzione acqua (potabile o antincendio)**

Le parti della rete fatta con tubi metallici devono essere protetti contro l'interferenza da correnti vaganti per mezzo di sezionamenti elettrici. L'uso di giunzioni standard con guarnizione in gomma tra gli elementi del tubo è raccomandato, senza realizzazione di collegamenti equipotenziali a meno di esigenze inderogabili di sicurezza contro i pericoli di tensionamento.

La eventuali parti aeree delle tubazioni in acciaio devono essere sezionate in modo analogo e devono essere isolate elettricamente dalle parti metalliche interrate degli stessi tubi. La messa a terra di ciascuna sezione aerea deve essere realizzata separatamente dalle adiacenti con collegamento unico.

#### **5.4.5.2 Canalizzazioni per raccolta acque reflue**

Gli elementi in cemento armato delle condutture devono essere tenuti elettricamente separati. Non devono quindi essere stabiliti collegamenti intenzionali tra elementi contigui, a meno di esigenze inderogabili da un punto di vista di sicurezza contro pericoli di tensionamento.

Anche in questo caso, le tratte della rete fatta con tubi metallici devono essere protette contro le interferenze da correnti vaganti per mezzo di sezionamento elettrico ottenuto attraverso giunzioni standard con guarnizione in gomma tra gli elementi del tubo, senza collegamenti equipotenziali.

#### **5.4.5.3 Cavi di energia e telecomunicazioni**

I collegamenti alla terra di protezione degli schermi ed armature deve essere realizzata in modo da evitare la creazione di percorsi continui per le correnti di ritorno (compatibilmente con la sicurezza la messa a terra da un lato solo è raccomandabile)

#### **5.4.5.4 Gasdotti**

La rete di distribuzione gas, se realizzata con condotti metallici, è normalmente protetta contro la corrosione per mezzo di sistemi di protezione catodica a corrente impressa.

Se tali reti gas in acciaio sono presenti nei pressi della ferrovia ed in particolare nelle vicinanze di sottostazioni di trazione elettrica o cabine TE (ad una distanza inferiore a 50 metri dalle rotaie)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

punti di misura devono essere installati per il monitoraggio dei potenziali nel tempo. Nel caso in cui i sistemi di protezione catodica esistenti non si rivelino sufficienti a proteggere le linee di gas contro gli effetti delle correnti vaganti, dovranno essere adottate misure di protezione aggiuntiva quali il potenziamento della protezione catodica stessa o drenaggio di corrente dalle tubazioni verso il binario.

## **6 sistema DI monitoraggio dell'interferenza da correnti vaganti**

Lo scopo del sistema di monitoraggio è quello di fornire al gestore dell'infrastruttura l'indicazione relativa alla presenza di interferenza da correnti vaganti nei rinforzi delle principali strutture in cemento armato.

Il monitoraggio si realizza attraverso misure di potenziale e di corrente rilevati nelle sezioni di linea dove, a causa delle caratteristiche dei manufatti e del terreno o del posizionamento in relazione agli impianti di trazione elettrica, le possibilità di interferenza sono più elevate.

Queste misure sono quindi raccolte in un database centralizzato, in cui un programma di interfaccia adeguata fornisce accesso alle informazioni definendo priorità di allarmi e analisi storico statistica dei dati.

### **6.1 grandezze monitorate in modo continuo e posizione dei punti di misura**

Sulla base delle pratiche raccomandate nella protezione da correnti vaganti (cfr. riferimenti in capitolo 1), saranno rilevate le seguenti misure, centralizzate su PC di supervisione localizzato nell'edificio preposto alla diagnostica e manutenzione.

1. Tensione tra negativo di trazione (binario) e rete di terra presso ogni impianto di trazione (sottostazione e cabina TE) e presso ogni stazione sotterranea;
2. potenziale delle armature di strutture in calcestruzzo rispetto ad un elettrodo di riferimento fisso (titanio attivato), presso le fondazioni dell'opera di attraversamento, le stazioni sotterranee e nei punti rilevati come critici per l'interferenza durante la campagna di misure da realizzarsi in fase di messa in esercizio.
3. misure di corrente fornite da sonde stray-probe situate in prossimità delle fondazioni di pile di viadotti rilevati come critici per l'interferenza durante la campagna di misure da realizzarsi in fase di messa in esercizio.
4. misure ed allarmi provenienti da sistemi di protezione catodica a corrente impressa installati sull'infrastruttura

Le misure indicate al punto 3 possono risultare utili per pilotare impianti automatici di protezione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

catodica a corrente impressa.

In accordo alle caratteristiche dell'opera in esame, si prevede riportare alla postazione centrale 5 misure del tipo 1.

Per quanto riguarda le misure di tipo 2 e 3, oltre ai punti di monitoraggio definiti per le stazioni sotterranee e l'opera di attraversamento che verranno installati direttamente secondo il progetto esecutivo, in fase di messa in esercizio del sistema saranno identificati i rimanenti punti che ad effetto di interferenze rilevate saranno monitorate con l'installazione di elettrodi di riferimento fissi. In base ad esperienze precedenti, si ipotizza l'installazione di un totale di 100 punti di monitoraggio con elettrodo fisso.

Per quanto riguarda la protezione catodica si prevedono dati ed allarmi provenienti da due sistemi posti ai lati del ponte.

## 6.2 architettura Generale per il sistema di monitoraggio

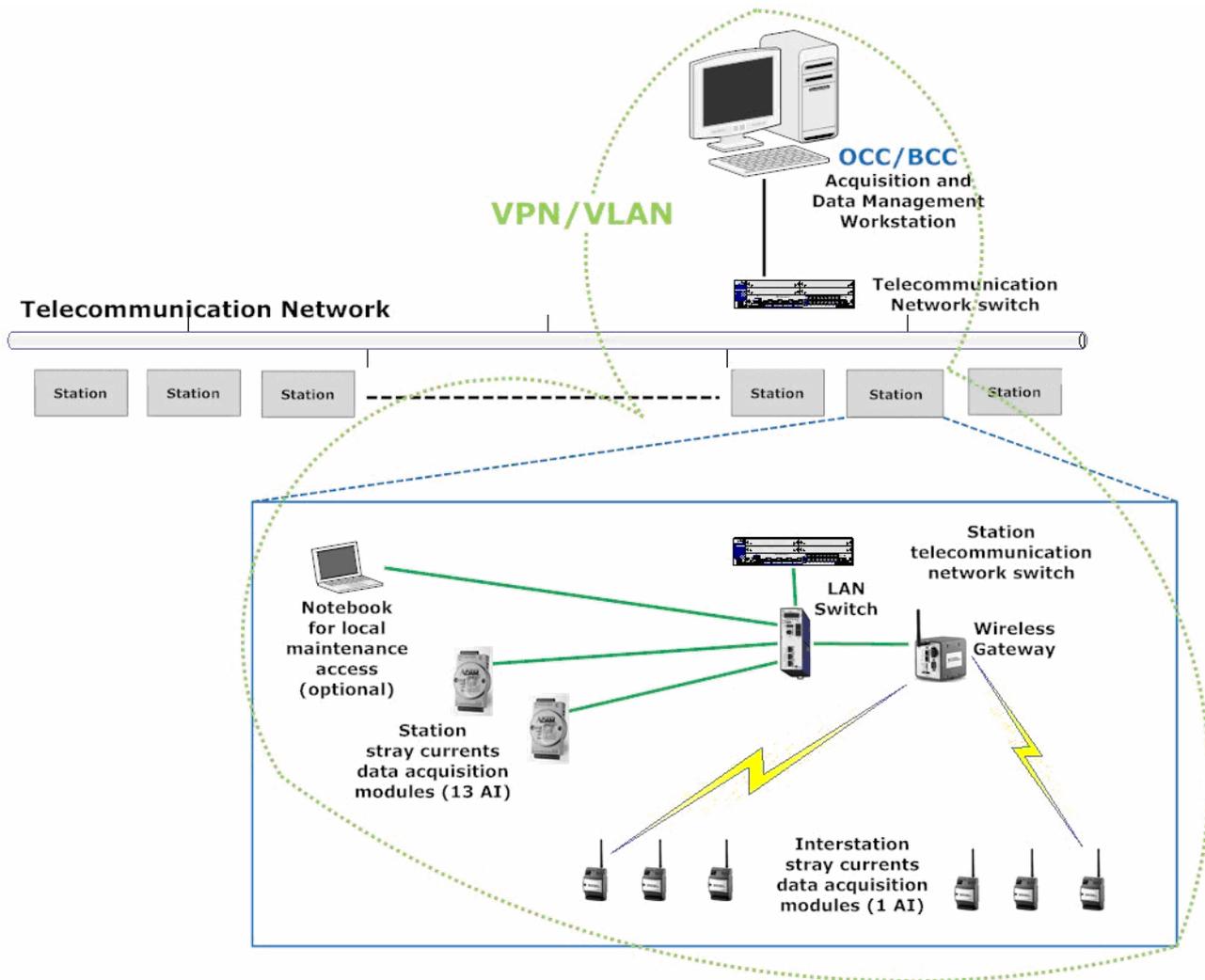
Sarà implementato un sistema di monitoraggio basato sull'architettura indicata nello schema seguente.

La postazione centrale per il monitoraggio dell'interferenza da correnti vaganti verrà collegata ai posti tecnologici lungo linea (Gestori d'Area ACCM) utilizzando il sistema di telecomunicazione generale.

Ciascun posto tecnologico farà da concentratore per i punti di misura situati nelle sue vicinanze.

Un modulo di acquisizione dati verrà installato presso i punti di misura per eseguire la raccolta dati dai punti nelle immediate vicinanze e trasmetterle presso i posti tecnologici.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</b>		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Si ipotizza di utilizzare una tecnologia mista, cablata e wireless per riportare ai posti tecnologici le misure dai singoli punti.

In particolare nelle aree di stazione, in sottostazione e cabina TE e per le misurazioni dalle pile del ponte si presuppone l'utilizzo di collegamenti cablati, mentre per punti di misura presenti lungo la linea si prefigura l'utilizzo di collegamenti wi-fi.

In ogni posto tecnologico ove sia necessario, un'apposita unità concentratore raccoglie dati da remoto, esegue la memorizzazione locale temporanea e invia dati alla workstation della postazione centrale. La centralina fornirà anche interfaccia ad un computer portatile che potrà essere utilizzato per attività di interrogazione locale o manutenzione.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6.3 funzioni del software di analisi e trattamento dati

### 6.3.1 Acquisizione dati.

Le unità di acquisizione dati presso i posti tecnologici saranno collegate a una workstation dell'unità centrale di monitoraggio attraverso una rete di telecomunicazione esistente.

Il sistema di monitoraggio interrogherà ciclicamente le unità di acquisizione dati e quanto ricevuto verrà archiviato in un database dedicato.

Parametri di acquisizione potranno essere impostati in fase di progetto esecutivo, sulla base dei seguenti principi.

- Il polling primario verrà eseguito periodicamente. Non è necessaria una frequenza di rilevazione elevata poiché il fenomeno monitorato non lo richiede. Tipicamente, da 1 a 5 s di periodo di misura sono sufficienti.
- I dati originali saranno ritenuti in memoria per un periodo all'incirca di 30 giorni, durante i quali possono essere selezionati e conservati intervalli di 20÷24 ore per successive elaborazioni..
- Verrà memorizzata in via permanente l'analisi statistica su base oraria, nei valori minimo, massimo e medio, deviazione standard e gli allarmi di superamento delle soglie pre-impostate.
- Per ogni tipologia di misura saranno definite soglie di allarmi che saranno attivati al superamento delle stesse.
- Una visualizzazione dei dati acquisiti in tempo reale (in funzione del polling) può essere attivato sul monitor della workstation centrale.

### 6.3.2 Interfaccia operatore

Funzioni HMI, sulla base dei dati memorizzati, saranno attuate sulla workstation centrale.

Saranno eseguite le funzioni di analisi e di presentazione necessarie a rilevare lo stato reale del sistema e l'entità delle interferenze da correnti vaganti.

### 6.3.3 Analisi dei dati

L'operatore sarà abilitato ad eseguire la selezione dati e la mostrarle loro visualizzazione per intervalli predefiniti.

I dati potranno essere visualizzati in base alle seguenti regole:

- 24 ore di registrazione continua.
- valori statistici di minimo, massimo e medio, deviazione standard. Intervallo su base 15 minuti, oraria e dell'intera giornata
- Importazione a workstation centrale di dati per i valori localmente acquisiti dagli operatori con computer portatile
- Analisi e confronto tra diversi intervalli, delle misure e stazioni.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

I dati verranno visualizzati in layout modalità grafiche o alfanumeriche, a scelta dell'operatore.

#### 6.3.4 Reporting ed esportazione dei dati

Questa funzione permette la generazione di un rapporto della sessione corrente, utilizzando un sottoinsieme di dati impostabile dall'operatore.

A seconda della scelta dell'operatore, i dati verranno inseriti nel rapporto in forma grafica alfanumerica, insieme con gli allarmi appartenenti all'intervallo selezionato.

I dati del monitoraggio possono essere esportati in un file di testo da importare in un'altra applicazione (ad esempio MS Excel).

## 7 Sistema per protezione catodica a corrente impressa

Il dimensionamento e la definizione della posizione di installazione di questi sistemi dovrà essere determinato in funzione delle interferenze rilevate, prevedendo comunque già in fase di progetto esecutivo le predisposizioni necessarie in termini di alimentazione ausiliaria per due sistemi posti agli estremi dell'opera di attraversamento (ponte).

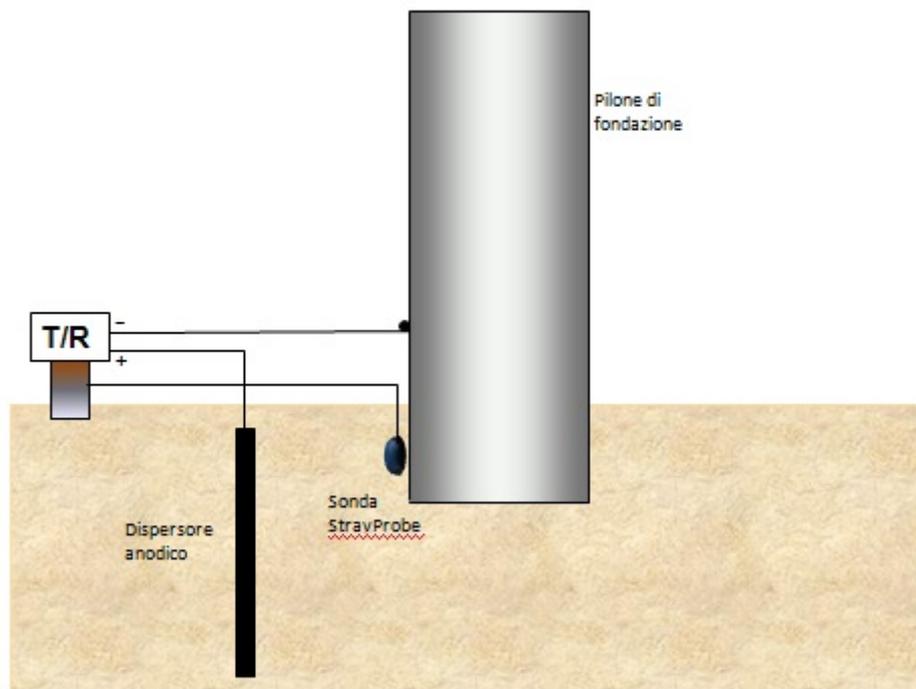
Il disegno seguente rappresenta schematicamente un impianto di protezione catodica da installare presso ciascun elemento strutturale che necessita di protezione per i ferri di rinforzo dagli effetti dell'interferenza anodica dovuta alle correnti della trazione ferroviaria.

Il sistema è tipicamente composto da:

- Un alimentatore di protezione catodica a funzionamento automatico, indicativamente 50 V – 100÷500 A in uscita (la corrente massima dipende dall'entità dell'interferenza e dalla superficie dei ferri da proteggere).
- Un dispersore anodico verticale realizzato con anodi al titanio. In dipendenza della resistività del terreno e della corrente di progetto possono essere previsti più dispersori collegati tra loro. Le profondità sono dell'ordine di 80÷100 m.
- Una sonda Strayprobe interrata in prossimità della struttura per monitorare le condizioni di interferenza catodica/anodica e pilotare il funzionamento dell'alimentatore sulla base di valore e segno della corrente scambiata tra la sonda e la struttura da proteggere.
- Un interfaccia con la supervisione e la trasmissione a distanza di segnalazioni e allarmi principali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
OPERA DI ATTRAVERSAMENTO, VIADOTTI E GALLERIE – CORRENTI VAGANTI: PREVENZIONE, MONITORAGGIO E PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDGTC00G000000001F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

SISTEMA DI PROTEZIONE CATHODICA A CORRENTE IMPRESSA – SCHEMA TIPICO



Vista l'estensione del progetto, opera di attraversamento e opere su versante calabro e siculo, si considera l'installazione di quattro sistemi di protezione catodica a corrente impressa, due dei quali agli estremi dell'opera di attraversamento.

Il posizionamento e le caratteristiche di alimentatori e dispersori dovranno essere verificate e definite in funzione delle interferenze rilevate nelle fasi di costruzione dell'opera e di messa in esercizio.