

RTI Progettisti:

**SYSTRA**

**SOTECNI**  
SYSTRA GROUP

**architector**  
engineering

**AEGIS**  
CANTARELLI + PARTNERS

**STUDIO MATTIOLI**  
Ambiente • Ingegneria • Energia

**cooperativa archeologia**

## PROGETTO DEFINITIVO DELLA SECONDA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (TRATTO NORD LINEA VERDE)

### INGEGNERIA DI SISTEMA ELABORATI GENERALI

Provvedimenti per il contenimento degli effetti delle correnti vaganti

COMUNE DI BOLOGNA  
SETTORE MOBILITA' SOSTENIBILE E INFRASTRUTTURE

IL DIRETTORE DEL SETTORE  
ING. CLETO CARLINI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
ING. GIANCARLO SGUBBI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO  
ING. MIRKA RIVOLA

SEGRETERIA TECNICA

ing. Barbara Baraldi  
arch. Virginia Borrello  
ing. Giulio Cimbali  
geom. Agnese Fero  
ing. Stefania Guadagnini  
geom. Luciano Notte  
ing. Lisa Ombra  
ing. Marco Pesare

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

RESPONSABILE DI COMMESSA  
ING. PAOLO MARCHETTI

COORDINATORE TECNICO  
ING. ALESSANDRO PIAZZA

SISTEMA TRANVIARIO  
ING. SANTI CAMINITI

ARCHITETTURA E INSERIMENTO URBANISTICO  
ARCH. SEBASTIANO FULCI DE SARNO

OPERE A VERDE  
ARCH. NICOLA CANTARELLI

OPERE STRUTTURALI  
ING. STEFANO TORTELLA

SEGNALAMENTO E TELECOMUNICAZIONI  
ING. ANGELA TORTORELLA

AMBIENTE  
PROF. MATTEO MATTIOLI

SICUREZZA  
ARCH. SERGIO MOSCHEO

ARCHEOLOGIA  
DOTT. CRISTINA BIGAZZI

BIM MANAGER  
GEOM. MIRKO CASAROLI

RESP. INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  
ING. SANTI CAMINITI

IMPIANTI TECNOLOGICI  
ING. SIMONE VILLA

STUDI TRASPORTISTICI  
ING. ANDREA SPINOSA

VIABILITA' INTERFERENTE E SOTTOSERVIZI  
ING. PIETRO CAMINITI

IDRAULICA E IDROLOGIA  
ING. ANDREA BENVENUTI

DEPOSITO  
ING. GIORGIO COLETTI

ARMAMENTO  
ING. MAURIZIO FALZEA

GEOLOGIA E GEOTECNICA  
DOTT. GEOL. ANTONIO PAONE

TRAZIONE ELETTRICA  
ING. DOMENICO D'APOLLONIO

IMPIANTI MECCANICI  
ING. SALVATORE GIUA

COMMESSA		FASE	LOTTO		WBS	DISCIPLINA		TIPO	NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE						
B	3	8	1	C	D	X	0	0	STM	X	X	X	RT	0	6	A	-	B381C-D-X00-STM-XXX-RT-06-A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Ago. 2023	PRIMA EMISSIONE	G. IASEVOLI	A. TORTORELLA	S. CAMINITI
B					
C					
D					

## Indice

1. PREMESSA.....	3
2. ACRONIMI.....	4
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
4. DEFINIZIONI .....	5
4.1 TERRA DI STRUTTURA .....	6
4.2 TERRA COMUNE ESTERNA (TCE) .....	6
4.3 TERRA DI TRAZIONE.....	6
4.4 DISPOSITIVO DI LIMITAZIONE DELLA TENSIONE.....	7
4.5 ZONA DELLA LINEA AEREA DI CONTATTO E DEL PANTOGRAFO (O CONO DI CADUTA).....	7
5. SISTEMA COMPLESSIVO DI MESSA A TERRA.....	7
5.1 FERME .....	8
5.2 SOTTOSTAZIONI DI PIENA LINEA .....	9
5.3 LINEA.....	9
5.4 TERRA DI TRAZIONE (O CIRCUITO DI RITORNO).....	10
5.5 TERRA DI SCARICATORI .....	10
5.6 MESSA A TERRA DELLA LINEA DI CONTATTO (COLLEGAMENTO A ROTAIA) .....	11
5.7 SCHERMI CAVI MT .....	12
6. PROVVEDIMENTI CONTRO I PERICOLI DA CORROSIONI ELETTROLITICHE.....	14
6.1 CONDUTTIVITÀ DEL CIRCUITO DI RITORNO DI TRAZIONE .....	14
6.2 ISOLAMENTO DEL CIRCUITO DI RITORNO RISPETTO A TERRA.....	15
6.3 APPARECCHIATURE O STRUTTURE METALLICHE IN COLLEGAMENTO COL CIRCUITO DI RITORNO E CON LA LINEA DI CONTATTO .....	16
6.3.1 APPARECCHIATURE ISOLATE DA TERRA .....	17
6.3.2 APPARECCHIATURE NON ISOLATE DA TERRA.....	18

6.3.3	APPARECCHIATURE CONTENENTI PARTI O COMPONENTI RELATIVI AL SISTEMA DI TRAZIONE IN C.C.....	18
6.3.4	COMPONENTI ED ACCESSORI COLLEGATI A BINARIO PER SCOPI DI MESSA A TERRA	19
6.3.5	POZZETTI PER ALLOGGIAMENTO DISPOSITIVI DI LIMITAZIONE DELLA TENSIONE .....	19
6.3.6	SUPPORTI DELLA LINEA DI CONTATTO .....	19
6.4	PERICOLI DA CORRENTI VAGANTI PROVOCATE DA CAMPI ELETTRICI ESTERNI .	19
6.4.1	TERRA DI STRUTTURA .....	20
6.4.2	PRESCRIZIONI PER I FERRI DI ARMATURA.....	20
6.4.3	GIUNTI DIELETTRICI E PRESENZA DI MANUFATTI SIGNIFICATIVI .....	21
6.4.4	TRATTI SU VIADOTTO .....	22
7.	MISURE DI CAMPO ELETTRICO ESTERNO .....	25
7.1	MISURE LONGITUDINALI E TRASVERSALI AL TRACCIATO .....	25
7.2	MISURE DI POTENZIALE SU STRUTTURE UBICATE IN PROSSIMITÀ DEL TRACCIATO .....	26
8.	MONITORAGGIO CORRENTI VAGANTI .....	28
8.1	VERIFICA DELLA RESISTENZA VERSO TERRA E DELLA CONDUTTIVITÀ DEL CIRCUITO DI RITORNO .....	28
8.2	VERIFICA DELLA CONDUTTIVITÀ E DEL POTENZIALE VERSO TERRA DEI FERRI DI ARMATURA.....	28
8.2.1	PREDISPOSIZIONI.....	29
8.2.2	POSTI DI MISURA .....	29
8.2.3	ELETTRODI DI RIFERIMENTO ED ACCESSORI.....	30
8.3	VERIFICA DEL POTENZIALE DI BINARIO .....	30
8.4	EVENTUALE MONITORAGGIO DIFFERENZA DI POTENZIALE AI CAPI DEI FERRI DI ARMATURA.....	31

## 1. PREMESSA

Il presente documento, relativo al sistema di trasporto tranviario della nuova Linea Verde della città di Bologna, si prefigge quanto segue:

- individuare le cause che possono dar luogo a corrosione (o ad incrementarne il rischio) sia delle strutture del sistema tranviario, sia di strutture esterne appartenenti ad enti terzi;
- fornire le indicazioni atte a definire i provvedimenti necessari per proteggere dette strutture dalle eventuali correnti vaganti, mitigandone quanto più possibile i rischi, ed eseguendo un opportuno monitoraggio dei parametri elettrici più significativi (sia prima che dopo l'entrata in servizio della linea).

Si sottolinea il fatto che i provvedimenti da adottarsi sono rivolti a diverse tecnologie e sottosistemi facenti parte della linea tranviaria, che dovranno quindi implementarne i principi nei loro progetti fin dalle fasi iniziali.

Tali sottosistemi sono principalmente:

- Opere Civili
- Armamento
- Circuito di ritorno di trazione
- Segnalamento
- Telecomunicazioni e sistema di telecontrollo/telecomando (SCADA)
- Alimentazione elettrica di trazione e linea di contatto
- Alimentazione elettrica in media e bassa tensione
- Impianti di terra

Le misure ed i provvedimenti necessari per preservare dalla corrosione le strutture di enti terzi richiedono la collaborazione, nelle diverse fasi, di diversi soggetti, allo scopo di definire e concordare un programma comune di indagini, misure ed eventuali interventi. Inoltre, per ottenere un efficace risultato nell'applicazione dei principi qui esposti, è anche richiesto uno stretto coordinamento con l'Ente Distributore di energia e con le

Municipalità locali, che possono avere strutture e/o apparecchiature ubicate nell'area di influenza della rete tranviaria, quindi soggette ad osservare le prescrizioni del presente documento.

Il futuro Esercente della linea dovrà attenersi in particolare alle prescrizioni fornite per quanto riguarda il monitoraggio dei campi elettrici esterni, delle strutture soggette a possibili interferenze e dei parametri elettrici significativi del sistema.

Tali controlli andranno, infatti, effettuati anche durante l'esercizio.

## 2. ACRONIMI

---

BT	Bassa Tensione
CA	Corrente Alternata
CC	Corrente Continua
MT	Media Tensione
SSE	Sottostazione Elettrica
VLT	Voltage Limiting Device.

## 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

---

Si riportano di seguito le principali norme di riferimento, a titolo esemplificativo non esaustivo:

- CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua"
- CEI EN 50122-1 (ed. 2012) "Applicazioni ferroviarie – Installazioni fisse. Parte 1: Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra"

- CEI EN 50122-2 (ed. 2012) “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”
- Ente Nazionale di Unificazione (UNI) Norme Applicabili
- Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) Norme Applicabili
- D.P.R. 27 Aprile 1955 n°547 e successive integrazioni e modificazioni “Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro”
- D.M. 22/01/2008 n. 37 “Norme in materia di installazione degli impianti elettrici”
- D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81, Testo coordinato con il D.Lgs. 3 agosto 2009, n. 106, “Testo unico sulla salute e la sicurezza sul lavoro”.

#### 4. DEFINIZIONI

---

La Norma EN 50122-2 (ed. 2012) prevede l’esistenza di tre sistemi di masse metalliche denominate:

- Terra di struttura del sistema di trazione (TS);
- Terra comune esterna (TCe);
- Terra di trazione o circuito di ritorno.

Inoltre definisce:

- Dispositivo di limitazione della tensione;
- Zona della linea aerea di contatto e del pantografo.

Viene qui inoltre fornita una definizione del cosiddetto circuito di terra di protezione della linea di contatto.

Per tutte le altre definizioni si rimanda alle normative di riferimento, in particolare alla EN50122 (ed. 2012).

#### 4.1 TERRA DI STRUTTURA

La Norma EN 50122-2 (ed. 2012) dà per il sistema “Terra di struttura” la seguente definizione:

“interconnessione elettrica delle armature delle strutture...”, “armature delle strutture di cemento armato elettricamente collegate per tratti significativamente lunghi”  
ove dette strutture sono riconducibili a gallerie, ponti, viadotti ecc...

Tale terra di struttura include i ferri di armatura della galleria o delle altre strutture, e dell’eventuale conduttore equipotenziale collegato ad essi in parallelo.

Per quanto riguarda le linee tranviarie tale Terra di struttura può considerarsi non presente, eccettuati i tratti ove siano presenti strutture del tipo suddetto di dimensioni significative.

Ove però sia presente un circuito di terra di protezione, quest’ultimo può considerarsi effettivamente Terra di Struttura, ai fini delle prescrizioni fornite dal presente documento.

#### 4.2 TERRA COMUNE ESTERNA (TCE)

La Norma EN 50122-2 (ed. 2012) dà per il sistema “Terra comune esterna” la seguente definizione:

“insieme delle strutture metalliche interrate in vicinanza della linea di trazione e delle relative strutture ferroviarie e non collegate metallicamente ad esse ed in nessun caso afferenti al sistema di trazione”.

Tale sistema include le strutture adiacenti alla linea, normalmente interrate (tubazioni, sottoservizi ecc...), non collegate al sistema di trazione ma potenzialmente soggette a correnti vaganti.

#### 4.3 TERRA DI TRAZIONE

La Norma EN50122-2 (ed. 2012) dà per il circuito di ritorno (altrimenti definibile anche come “Terra ferroviaria” o “Terra di trazione”) la seguente definizione:

“Tutti i conduttori che costituiscono una via prestabilita della corrente di ritorno della trazione e della corrente nelle condizioni di guasto”

In generale, la terra ferroviaria è costituita dai binari.

#### 4.4 DISPOSITIVO DI LIMITAZIONE DELLA TENSIONE

“Dispositivo per la limitazione della tensione fra le masse ed il circuito di ritorno per realizzare un collegamento aperto in condizioni normali di esercizio”.

Il dispositivo si commuta in chiusura per determinati valori di tensione e, a seguito dell'intervento:

- si ripristina automaticamente dopo un massimo di 10 s
- non si ripristina automaticamente (in tal caso deve essere prevista una procedura per rilevare ed eliminare in modo rapido la causa dell'evento, e ripristinare sia le condizioni di collegamento aperto, sia le condizioni di sicurezza provvedendo al ripristino o alla sostituzione del dispositivo stesso)

Il dispositivo in oggetto verrà denominato nel seguito anche VLD (Voltage Limiting Device).

#### 4.5 ZONA DELLA LINEA AEREA DI CONTATTO E DEL PANTOGRAFO (O CONO DI CADUTA)

Si definisce come segue:

“Zona i cui limiti non sono generalmente superati né da una linea di contatto danneggiata, né da un pantografo in tensione che abbia sviato, o da suoi frammenti”

Le dimensioni minime di tale zona sono definite secondo normativa EN 50122-1 (ed. 2012).

Le dimensioni X, Y e Z della zona della linea di contatto e della zona del captatore di corrente da utilizzare sono:

$X = 3 \text{ m}$ ;  $Y = 3 \text{ m}$ ;  $Z = 1 \text{ m}$ .

### 5. SISTEMA COMPLESSIVO DI MESSA A TERRA

Il sistema complessivo di terra sarà così costituito da:

- Terra di Trazione costituita dal circuito di ritorno;



- Terra di Struttura normalmente non presente, o presente solo in corrispondenza di punti singolari, ossia di tratte ove siano presenti manufatti che presentino armature metalliche o parti conduttrici strutturali collegate fra loro per sezioni significativamente lunghe, quali gallerie o viadotti (é riconducibile alla Terra di struttura l'eventuale sistema costituito da componenti conduttori longitudinali, normalmente in ferro, annegati nella soletta in cemento armato (o struttura equivalente) a supporto della sede tranviaria. Tale sistema viene interrotto elettricamente e reso accessibile ad intervalli);
- Terra Comune Esterna, costituita dalle strutture metalliche interrato nel terreno circostante;
- Dispersori di terra (che hanno la funzione di disperdere le correnti di guasto verso la terra lontana) di fermata, sottostazione o linea, che sono da considerarsi parte della Terra Comune Esterna.

La Terra di trazione dovrà essere isolata dalla Terra di Struttura (se esistente) e dalla Terra Comune esterna, secondo quanto illustrato ai paragrafi seguenti.

## 5.1 FERMATE

Tutte le strutture metalliche ed i ferri di armatura dei manufatti e delle banchine di fermata saranno collegati al dispersore di terra di fermata, al quale a sua volta sarà collegata la barra di terra del quadro di distribuzione in bassa tensione di fermata.

I pali della linea aerea posati nell'area di banchina dovranno essere collegati a terra al dispersore.

I dispersori di terra di fermata saranno atti a garantire condizioni di sicurezza per le persone a seguito di possibili guasti ai circuiti di distribuzione in bassa tensione.

I seguenti requisiti dovranno inoltre essere rispettati:

- dovranno essere effettuate misure di resistività in corrispondenza di ciascun sito prima della stesura del dispersore;
- i componenti dell'impianto di terra dovranno essere tali da supportare le massime sollecitazioni derivanti dalle condizioni di guasto che possono interessare il sistema

senza alcun deterioramento, danneggiamento o compromissione delle caratteristiche meccaniche o della durata nel tempo dei componenti stessi;

- si prevederanno appositi collegamenti per misure in posizioni idonee;
- dovranno essere previsti pozzetti ispezionabili;
- i collegamenti fra diversi elementi del dispersore saranno normalmente effettuati tramite saldatura;
- adeguate prove e verifiche dovranno essere effettuate, quali: verifica della continuità elettrica del sistema; misura della resistenza di terra del dispersore; verifica delle sezioni dei conduttori costituenti l'impianto.

## 5.2 SOTTOSTAZIONI DI PIENA LINEA

Tutte le strutture metalliche e i ferri di armatura dei manufatti della sottostazione saranno collegati alla rete di terra di sottostazione, a sua volta collegata al conduttore equipotenziale.

I criteri costruttivi di tale dispersore di terra prevedono una rigorosa separazione dai dispersori di terra delle fermate e da eventuali altri dispersori relativi ad apparecchiature e/o strutture lungo linea.

Ciò per evitare in linea di principio sia trasferimenti di tensione pericolosi, sia un'alterazione di eventuali campi elettrici esterni che possa creare pericolo di corrosione per strutture metalliche interrate.

Le reti di terra di sottostazioni adiacenti possono essere collegate attraverso gli schermi dei cavi MT con eventuali conduttori in parallelo, se necessario ai fini del contenimento delle tensioni di passo e contatto.

Per quanto concerne i criteri relativi al dimensionamento delle reti di terra delle SSE, si rimanda al paragrafo 6.2.2.

## 5.3 LINEA

Le apparecchiature ubicate lungo linea verranno messe a terra sia attraverso dispersore locale, sia tramite conduttore di protezione (PE) collegato alla barra di terra del relativo

quadro di distribuzione, in funzione dell'ubicazione delle apparecchiature stesse all'interno od all'esterno del cono di caduta della linea di contatto.

#### 5.4 TERRA DI TRAZIONE (O CIRCUITO DI RITORNO)

Il circuito di ritorno, costituito dai binari di corsa, dovrà essere isolato da terra secondo i criteri esposti nel documento "Provvedimenti protettivi contro le correnti vaganti".

Dovranno inoltre essere seguiti tutti provvedimenti legati a migliorare la conduttività longitudinale dei binari, allo scopo sia di minimizzare le correnti vaganti sia di migliorare le condizioni di sicurezza.

In corrispondenza delle sottostazioni dovranno prevedersi collegamenti in cavo isolato fra le rotaie e il negativo di dimensioni adeguate commisurate alle correnti di ritorno del sistema. Il livello di isolamento dei cavi negativi (compresi anche i collegamenti di parallelo rotaia-rotaia, binario- binario e di continuità) dovrà essere riferito alla tensione nominale della linea aerea, per tenere conto della possibilità di guasto linea-rotaia (oltre che per fornire maggiore garanzia rispetto al problema delle correnti vaganti).

Tutti i collegamenti negativi alla rotaia (siano essi di ritorno in SSE, di continuità, parallelo o protezione) dovranno essere effettuati in posizioni e con modalità compatibili col sistema di segnalamento (con eventuale interposizione di connessioni induttive ove richiesto).

#### 5.5 TERRA DI SCARICATORI

Sono stati previsti scaricatori installati all'esterno della sottostazione (in testa ai pali di alimentazione della linea di contatto), con i seguenti accorgimenti:

- gli scaricatori dovranno essere collegati ad un proprio dispersore di terra, separato da quello di sottostazione, costituito da uno o più picchetti di terra in pozzetto ispezionabile collocato ad una distanza massima di 1 m dal palo;
- eventuali collegamenti dal pozzetto principale ad altri picchetti dovranno essere sigillati;
- il dispersore di terra dovrà avere una resistenza (di solito il valore è dato dal fornitore) adeguata a garantire il corretto funzionamento dello scaricatore stesso, comunque

dell'ordine dei 5  $\Omega$  normali (10  $\Omega$  in casi particolari); tali valori sono relativi al tipi ad ossido di zinco comunemente usato;

- la connessione verso terra dovrà sempre essere il più breve possibile e dovranno essere evitati angoli o curve strette nel cavo di collegamento (ciò deve essere garantito anche nel caso lo scaricatore si trovi in sottostazione).

Gli scaricatori dovranno garantire un bassissimo livello di dispersione di corrente verso terra, il valore dovrà essere dichiarato dal fornitore e la sua accettabilità valutata nell'ambito del sistema generale.

Per apparecchiature a palo, tutta la carpenteria di sostegno e relativi accessori dovrà essere isolata dal palo stesso.

Dopo il funzionamento, lo scaricatore dovrà sempre auto ripristinarsi in condizione di circuito aperto; in caso di guasto (ossia nel caso l'apparecchiatura rimanga in stato di chiuso anche dopo la scarica), lo scaricatore drenerebbe verso terra una corrente non sufficiente a far aprire l'extrarapido di SSE e commisurata al valore di resistenza di terra del dispersore, con conseguente pericolo di produrre una tensione di passo pericolosa in corrispondenza del pozzetto di terra.

Dovrà pertanto essere garantito che la modalità di guasto dello scaricatore stesso evolva verso una condizione di circuito aperto entro tempi compatibili con la norma EN 50122-1 (ed. 2012) in funzione del livello di tensione dell'impianto.

Non sono previsti dispositivi di sconnessione automatica dello scaricatore.

## 5.6 MESSA A TERRA DELLA LINEA DI CONTATTO (COLLEGAMENTO A ROTAIA)

La linea di contatto necessita di essere collegata a rotaia, sia per le normali operazioni di manutenzione, sia durante eventuali situazioni di emergenza.

Se i sezionatori afferenti alla linea stessa sono a tre posizioni tale funzione può essere svolta a livello di manovra del sezionatore stesso; in caso contrario la messa in sicurezza della linea viene affidata a dispositivi o fioretti di messa a terra (anche nel primo caso è sempre e comunque raccomandato di usare tali dispositivi anche per realizzare una messa a rotaia a vista).

Per realizzare tale funzione, quando la rotaia è prontamente accessibile (tratti in ballast, o binario posato su soletta in cemento armato o simile) il dispositivo si collega direttamente alla rotaia stessa.

Per i tratti in sede stradale, dove la rotaia è di solito a gola ed annegata nella sede stessa, si utilizza un dispositivo con apposite ganasce per il collegamento diretto alla rotaia stessa.

## 5.7 SCHERMI CAVI MT

Lo schermo dei cavi MT di arrivo è frequentemente collegato a terra ad entrambe le estremità, cioè sia lato cabina ENEL sia lato sottostazione elettrica del sistema di trazione. Questa prassi è comune nelle aree urbanizzate con alta/media densità di consumi elettrici, ed è in accordo con la definizione di impianto di terra globale (ossia di un impianto di terra realizzato con l'interconnessione di più impianti).

Tale accorgimento permette la ripartizione delle correnti di guasto col collegamento fra la terra dell'ente distributore e quella della sottostazione elettrica di conversione, portando così ad una riduzione delle tensioni totali di terra e conseguentemente delle tensioni di passo e contatto negli impianti di terra singoli, a tutto vantaggio della sicurezza.

Tuttavia, possono presentarsi circostanze in cui il collegamento ad entrambe le estremità non è perseguibile, come le seguenti:

- caso di collegamenti con cabine dell'ente distributore il cui impianto di terra può trasferire valori molto elevati di tensione totale di terra;
- diverse disposizioni dell'ente distributore stesso;
- casi in cui la situazione dei campi elettrici nel terreno porti alla circolazione negli schermi di valori elevati di corrente;
- casi in cui la possibile contiguità fra sottostazioni di trazione o dell'ente distributore ed i binari, o possibili percorsi paralleli fra la rete di media tensione ed i binari stessi possano provocare la circolazione negli schermi di elevati valori di corrente di trazione

Di conseguenza, in sede di progetto esecutivo/costruttivo dovranno essere svolte comunque valutazioni più precise circa la convenienza di collegare gli schermi ad entrambi i lati, coordinandosi opportunamente con l'Ente distributore. Tale valutazione, e la conseguente scelta di collegare gli schermi dei cavi deve essere condivisa con l'Ente distributore e, per questo motivo, si rimanda alla successiva fase progettuale, essendo peraltro influente sulla quantificazione economica dei lavori oggetto della presente progettazione.

Risulta evidente che, nel caso in cui gli schermi siano collegati a terra solo ad un'estremità, occorrerà tenere in considerazione le possibili tensioni trasferite che si possono manifestare all'estremità isolata, adottando opportuni accorgimenti che consistono principalmente nel rendere inaccessibile con adeguato isolamento tale estremità.

Nel caso in cui lo schermo dei cavi di interconnessione fra SSE adiacenti risulti collegato a terra ad una sola estremità, occorre comunque prevedere una predisposizione per il collegamento a terra ad entrambe le estremità e per un ulteriore eventuale conduttore di rinforzo, denominato conduttore di terra, da collegarsi in parallelo allo schermo ed avente sezione opportuna (in funzione della effettiva sezione dello schermo e della percentuale di corrente di guasto circolante nello stesso).

Nel caso di collegamento dello schermo ad entrambi i lati, si raccomanda la predisposizione per un adeguato monitoraggio in sottostazione della corrente circolante nello schermo stesso, allo scopo di controllare ed eventualmente rettificare la configurazione adottata: a tal fine si potrà prevedere la possibilità di disconnettere da terra lo schermo ad una delle estremità a seconda delle esigenze.

Allo scopo di ridurre il pericolo e comunque l'entità di eventuali correnti convogliate negli schermi, questi ultimi dovranno essere adeguatamente isolati da terra per tutto il loro percorso.

Alla luce di quanto sopra, la rete di terra delle singole sottostazioni è stata progettata senza considerare in forma cautelativa il contributo degli impianti di terra adiacenti.

## 6. PROVVEDIMENTI CONTRO I PERICOLI DA CORROSIONI ELETTROLITICHE

E' necessario adottare opportuni provvedimenti a carico dei sottosistemi facenti parte della linea, al fine di garantire una bassa dispersione di correnti vaganti da parte del circuito di ritorno di trazione.

Per la verifica dei valori dei potenziali in condizioni di guasto ed il rispetto dei valori ammissibili si rimanda alla relazione di verifica della simulazione elettrica di trazione.

### 6.1 CONDUTTIVITÀ DEL CIRCUITO DI RITORNO DI TRAZIONE

La resistenza elettrica longitudinale del circuito di ritorno di trazione deve essere minimizzata; le rotaie dovranno essere ben collegate attraverso ogni discontinuità come giunti di espansione, giunzioni, scambi e comunicazioni, attraverso cavi isolati opportunamente dimensionati.

L'aumento di resistenza longitudinale dovuto ai collegamenti longitudinali di rotaia non dovrà essere superiore al 5% in accordo alla norma CEI EN 50122-2, paragrafo 6.2.2.

Laddove siano usate sezioni di binario isolate per prova, i giunti isolanti di rotaia, che sono posizionati alle estremità di ciascuna sezione, dovranno essere "by-passati" da cavi isolati opportunamente dimensionati con connessioni rimovibili.

Tali connessioni, ed ogni accessorio o componente relativo, dovranno essere adeguatamente isolate da terra e poste all'interno di appositi pozzetti che dovranno essere di dimensioni tali da permettere facilità di accesso per manutenzione e contenere apparecchiature portatili di prova. Inoltre, tali pozzetti dovranno essere stagni o, in alternativa, muniti di opportuno sistema di drenaggio.

La rimozione delle connessioni di continuità alle estremità delle sezioni di binario di prova deve essere attuata solo quando la linea è de-energizzata ed in accordo con opportune procedure di esercizio, allo scopo di assicurare condizioni di sicurezza sia al personale che al pubblico evitando pericolosi potenziali di rotaia;

Collegamenti rotaia-rotaia e, dove possibile, binario-binario, dovranno essere realizzati ad intervalli regolari non superiori a 300 m, usando cavi isolati opportunamente

dimensionati; comunque, la posizione di tali collegamenti deve tenere conto di tutti i requisiti forniti dal sistema di segnalamento.

In corrispondenza delle sottostazioni di trazione, cavi isolati opportunamente dimensionati dovranno connettere le rotaie al polo negativo dentro la sottostazione. Attenzione deve essere prestata nell'assicurare che ogni componente che è relativo a tali cavi sia adeguatamente isolato da terra, così come il polo negativo dentro la sottostazione;

La resistenza longitudinale del circuito di ritorno dovrà essere verificata dopo l'installazione ed i relativi metodi di misura dovranno essere in accordo con lo standard europeo CEI EN 50122-2, allegato A.

## 6.2 ISOLAMENTO DEL CIRCUITO DI RITORNO RISPETTO A TERRA

Il provvedimento fondamentale per garantire una minimizzazione del fenomeno delle correnti vaganti è garantire un efficace isolamento delle rotaie verso terra. La conduttanza per unità di lunghezza dei binari deve essere sufficientemente bassa ed i valori prescritti (come stabilito dalla norma CEI-EN 50122-2) devono essere mantenuti durante il normale servizio.

Tali livelli di isolamento devono essere verificati durante le fasi di costruzione, collaudo ed esercizio. Le verifiche vengono eseguite con tutti i collegamenti elettrici afferenti ai binari installati, ed effettuate durante la posa per piccoli tratti allo scopo di individuare tempestivamente eventuali deficienze e provvedere alla loro eliminazione.

Un efficace drenaggio dei binari deve essere realizzato lungo il tracciato, allo scopo di assicurare che l'acqua piovana fluisca rapidamente lontano dalle rotaie non lasciando liquido in contatto coi binari o strutture metalliche a questi connesse. I metodi di misura della resistenza del circuito di ritorno verso terra saranno in accordo con lo standard europeo 50122-2, allegato A.

Valori di conduttanza verso terra per unità di lunghezza sono descritti dalla normativa EN 50122-2 come segue:



$$\begin{array}{ll} G'_{RE} \leq 0,5 \text{ S/km per binario e } U_{RE} \leq + 5 \text{ V} & \text{per piattaforme aperte (di tipo ferroviario)} \\ G'_{RE} \leq 2,5 \text{ S/km per binario e } U_{RE} \leq + 1 \text{ V} & \text{per piattaforme chiuse (di tipo stradale)} \end{array}$$

dove  $U_{RE}$  è la variazione media del potenziale (per la variazione media del potenziale di rotaia  $U_{RE}$  si considerano solo i valori positivi del potenziale di rotaia. Il periodo di calcolo della media deve essere pari a 24 h o suoi multipli).

Nel caso le condizioni sopracitate non fossero soddisfatte si dovrà calcolare un valore  $G_{RE}$

$$G'_{RE} = \frac{I}{U_{RE}}$$

dove  $I = 2.5 \text{ mA/m}$  per binario.

Per una linea a doppio binario il valore della massima conduttanza per unità di lunghezza sarà moltiplicato per 2.

Durante l'esercizio, deve essere mantenuto il rispetto dei limiti per la conduttanza per unità di lunghezza conformemente alle equazioni sopracitate, per questa ragione si deve avere un valore iniziale obiettivo in fase costruttiva maggiore (solitamente 5 volte il valore che si deve mantenere in esercizio).

### 6.3 APPARECCHIATURE O STRUTTURE METALLICHE IN COLLEGAMENTO COL CIRCUITO DI RITORNO E CON LA LINEA DI CONTATTO

Il collegamento a scopi di protezione col circuito di ritorno è prescritto dalla norma EN 50122 per apparecchiature o strutture metalliche che si trovano a rischio di contatto accidentale con la linea aerea (ossia che si trovano nella zona del cosiddetto cono di caduta).

In generale comunque si dovrà cercare di mantenere fuori dal cono di caduta tali elementi, allo scopo di evitare il collegamento a rotaia che è sempre una potenziale fonte di correnti vaganti.

Tipicamente tali componenti sono:

- strutture metalliche varie quali ringhiere, supporti metallici e altro;

- armadi metallici di contenimento di apparecchiature dell'impianto di segnalamento, telecomunicazioni o controllo del traffico;
- apparecchiature di fermata.

Il numero totale di collegamenti, e relativi dispositivi di protezione, dovrà essere quindi minimizzato, anche tramite i metodi seguenti: interposizione di barriere fisiche od ostacoli fra la linea di contatto e la struttura (preferibilmente isolanti); suddivisione della struttura metallica in parti più piccole, di lunghezza inferiore ai 15 m (per farle rientrare nella categoria di "piccole dimensioni" secondo la normativa EN 50122-1 (ed. 2012)); utilizzo di un solo dispositivo per la limitazione della tensione per il collegamento di più oggetti (compatibilmente con le distanze e con i requisiti richiesti); collegamento di apparecchiature che richiedono collegamento a rotaia, e adiacenti alla banchina di fermata, alla terra di banchina.

Pozzetti o alloggiamenti usati per manutenzione/prova o di contenimento dei dispositivi di protezione dovranno essere stagni o, in alternativa, muniti di opportuno sistema di drenaggio. Tutte le posizioni saranno adeguatamente identificabili.

#### 6.3.1 APPARECCHIATURE ISOLATE DA TERRA

I componenti che sono isolati da terra saranno connessi direttamente a rotaia attraverso un cavo isolato opportunamente dimensionato. L'isolamento da terra deve essere ottimizzato e tale che il valore complessivo di 20 ohm- km non venga compromesso durante l'esercizio. Il livello di isolamento deve essere verificato e mantenuto durante l'intera vita del sistema.

Il valore di resistenza verso terra della struttura da connettere al binario dovrà essere verificato prima che il collegamento sia posto in opera; il valore richiesto dipenderà dal numero totale di strutture collegate al binario in una data sezione, e dal livello di isolamento dei binari raggiunto nella stessa sezione.

### 6.3.2 APPARECCHIATURE NON ISOLATE DA TERRA

Quei componenti che non sono isolati da terra verranno collegati a rotaia attraverso un dispositivo di limitazione della tensione che realizzi un tipo di connessione normalmente aperto ed un cavo isolato opportunamente dimensionato.

Tale dispositivo deve commutarsi in chiusura solo per determinati valori di tensione, ma deve ripristinarsi entro 10 s nella posizione di aperto una volta cessate le condizioni che ne hanno determinato l'intervento.

Nessuna parte delle apparecchiature di cui sopra dovrà essere in contatto diretto con le rotaie.

### 6.3.3 APPARECCHIATURE CONTENENTI PARTI O COMPONENTI RELATIVI AL SISTEMA DI TRAZIONE IN C.C.

La connessione al circuito di ritorno si raccomanda per quei componenti che portano, supportano o contengono cavi in corrente continua facenti parte del sistema di trazione, trovandosi così a rischio di presentare temporaneamente una tensione di contatto a seguito di un guasto a detti cavi o ad altri accessori/componenti facenti parte del circuito. Tipicamente si tratta di pali della linea aerea che contengono o supportano le risalite in cavo isolato provenienti o dalle sottostazioni o da feeder di parallelo interrati, o di armadi di sezionamento.

Gli stessi requisiti descritti per gli altri tipi di apparecchiature possono essere applicati, comunque un collegamento diretto a rotaia è preferibile.

In tal caso le strutture da proteggere dovranno evidentemente essere isolate da terra. Il valore di resistenza verso terra dovrà essere verificato prima che il collegamento a binario sia posto in opera; il valore richiesto dipenderà dal numero totale di componenti collegati al binario in una data sezione, e dal livello di isolamento dei binari raggiunto nella stessa sezione.

Nel caso tali pali, che contengono o supportano risalite in cavo, servano pure da sostegno per scaricatori di protezione, la carpenteria relativa a tali dispositivi dovrà essere isolata dal palo stesso adottando gli stessi valori di cui sopra.

#### 6.3.4 COMPONENTI ED ACCESSORI COLLEGATI A BINARIO PER SCOPI DI MESSA A TERRA

Componenti ed accessori installati allo scopo di consentire un efficace collegamento alla terra ferroviaria della linea aerea di contatto, durante la manutenzione o in condizioni di emergenza, sono connessi direttamente a rotaia e normalmente alloggiati all'interno di speciali pozzetti che dovranno essere stagni o, in alternativa, muniti di opportuno sistema di drenaggio.

Tutti gli accessori che sono connessi a rotaia dovranno essere adeguatamente isolati. Il valore di resistenza verso terra che può essere raggiunto in questi casi è di solito considerevolmente più alto di quello realizzabile per strutture metalliche. Comunque, la presenza di pozzetti per messa a terra di emergenza o manutenzione non dovrà compromettere la minima resistenza verso terra complessiva prevista durante l'esercizio.

#### 6.3.5 POZZETTI PER ALLOGGIAMENTO DISPOSITIVI DI LIMITAZIONE DELLA TENSIONE

Tali pozzetti dovranno essere stagni o, in alternativa, opportunamente drenati.

#### 6.3.6 SUPPORTI DELLA LINEA DI CONTATTO

Nel caso di pali flangiati ed imbullonati, si assicurerà la continuità elettrica fra i bulloni e la piastra di base ed i ferri della fondazione. Un programma di manutenzione, basato sia su verifiche visive sia su prove a campione dell'integrità elettrica degli elementi isolanti della linea, sarà organizzato allo scopo di garantire nel tempo le proprietà isolanti.

### 6.4 PERICOLI DA CORRENTI VAGANTI PROVOCATE DA CAMPI ELETTRICI ESTERNI

E' auspicabile che i campi elettrici esterni vengano modificati il meno possibile a seguito dell'introduzione del sistema tranviario, preservando così dalla corrosione le strutture metalliche interrate esterne al sistema.

Al fine di determinare l'entità del campo elettrico esterno, deve essere prevista una campagna di misure da effettuare sia prima dell'entrata in servizio della linea che durante il normale esercizio della stessa (vedi successivi paragrafi).

A questo scopo, è opportuno realizzare interruzioni delle strutture metalliche presenti, come illustrato nei paragrafi seguenti.

#### 6.4.1 TERRA DI STRUTTURA

Come già detto ai paragrafi precedenti, la Terra di Struttura è presente ove esistano strutture come gallerie o viadotti; i ferri di armatura della sede tranviaria fanno parte di quest'ultima.

Occorrerà sempre garantire in maniera rigorosa che le parti metalliche facenti parte della struttura dei manufatti di linea (Terra di Struttura) non presentino connessioni con altre parti metalliche (tubazioni o quant'altro) localizzate all'esterno dei manufatti e quindi facenti parte della Terra Comune Esterna.

#### 6.4.2 PRESCRIZIONI PER I FERRI DI ARMATURA

Per i ferri di armatura (compresi quelli delle solette in cemento armato di supporto della sede) si osserveranno i seguenti requisiti:

- assicurare la continuità elettrica dei ferri d'armatura principali utilizzando tipicamente tondino  $\varnothing$  10 mm saldato almeno al 50% degli stessi. La saldatura dovrà interessare ferri sia paralleli, sia perpendicolari al binario;
- evitare ferri sporgenti dai getti in contatto con l'ambiente esterno;
- collegare elettricamente, mediante saldatura ai ferri di armatura principali, eventuali profilati, zanche o altri elementi metallici inseriti nei getti;
- nessuna parte relativa ai ferri suddetti dovrà essere in contatto diretto con le rotaie o accessori e supporti ad esse collegati.

I principali ferri delle armature del solettone, per una sezione adeguata (complessivamente non inferiore ad almeno 2000 mmq, e con conduttività parallela alle rotaie almeno equivalente a 70 mmq Cu), saranno collegati elettricamente tra loro per i tratti tra interruzioni di costruzione e saranno resi elettricamente accessibili ai due lati delle due estremità. In corrispondenza di tali punti di accessibilità sarà assicurata la continuità anche trasversale dei ferri stessi.

L'accessibilità sarà realizzata tramite pozzetti (o alloggiamenti equivalenti), che consentiranno sia eventuali misure locali tramite strumenti portatili, sia il collegamento elettrico fra sezioni adiacenti. Sarà consentita la possibilità di connettere o sconnettere il collegamento per scopi di misura.

Tipicamente i ferri di armatura saranno suddivisi in sezioni di lunghezza circa 300 m alle estremità delle quali si prevede la realizzazione dei punti di accesso alla maglia come sopra descritto.

Le interruzioni di sezione dovranno effettuarsi ovviamente all'ingresso/uscita di manufatti quali viadotti od altro, ed in corrispondenza di giunti dielettrici, dove si dovranno rispettare anche tutti i requisiti di cui al successivo punto.

Interruzioni di sezione si posizioneranno all'ingresso ed uscita delle fermate o di altre aree ove sia presente un dispersore.

Alle estremità di ogni sezione sarà possibile realizzare collegamenti fra ferri del solettone e ferri dell'eventuale struttura.

Le possibili configurazioni prevedono quindi di mantenere le sezioni adiacenti di lunghezza circa 300 m. isolate fra loro e non collegate, o di collegarle tramite cavallotti di continuità alle estremità (per i quali occorre predisporre le opere civili).

#### 6.4.3 GIUNTI DIELETTICI E PRESENZA DI MANUFATTI SIGNIFICATIVI

Ove siano presenti manufatti con strutture metalliche continue di lunghezza significativa, occorrerà interromperne la continuità tramite giunti isolanti dielettrici.

All'ingresso ed uscita di viadotti dovrà comunque essere realizzata l'interruzione metallica fra le strutture del manufatto stesso e tutte le altre parti conduttrici della linea riconducibili alla Terra di Struttura, ossia il conduttore di terra di protezione (che dovrà essere adeguatamente sezionato), eventuali parti metalliche relative a vie cavi o quant'altro (che dovranno essere interrotte con interposizione di materiale isolante), ferri strutturali della soletta.

All'interno del manufatto il sistema di ferri strutturali osserverà gli stessi requisiti sopra descritti, con la separazione in sezioni adiacenti e la predisposizione per l'eventuale

collegamento. Un giunto dielettrico è realizzato interrompendo la continuità longitudinale di tutte le parti metalliche (ferri d'armatura strutturali, se presenti, eventuali conduttori di terra e parti ad essi collegate), frapponendo fra questi del materiale isolante, e isolando dal terreno tutto il perimetro della struttura interessata per circa dieci metri di distanza dal giunto stesso (ossia circa 5 metri per ogni lato del giunto). Tale provvedimento suddividerà le strutture del manufatto in tronchi isolati fra loro. Altre predisposizioni da adottare sono le seguenti: occorrerà rendere elettricamente accessibili i ferri di armatura principali mediante il collegamento elettrico, tramite saldatura di un numero sufficiente di essi, aventi sezione non inferiore a 400 mmq, ad una piastrina di ferro zincato di dimensioni 100x100x10 mm posta a filo getto. Tale piastrina sarà disponibile per eventuali misure. La distanza fra giunti dielettrici può essere tipicamente di circa 300 m.

#### 6.4.4 TRATTI SU VIADOTTO

Per i viadotti aventi strutture metalliche occorre isolare le pile dalle travate. La struttura longitudinale del viadotto deve essere interrotta in tronchi di lunghezza opportuna che saranno collegati ad una pila del tratto. I sostegni della linea di contatto sono collegati elettricamente alle travate; i conduttori di terra o ceraunici (che connettono elettricamente i sostegni della linea di contatto) saranno elettricamente divisi in corrispondenza delle interruzioni nella struttura longitudinale del viadotto. I pali di ammaro saranno posizionati generalmente sulle pile.

Di seguito sono indicati ulteriori provvedimenti da attuare per limitare il fenomeno delle correnti vaganti:

- a) le pile dovranno essere in collegamento con i ferri dei plinti di fondazione;
- b) le pile dovranno essere isolate dall'impalcato attraverso l'interposizione di materiale isolante ( $R \geq 1 \text{ M}\Omega$ );
- c) per tutte le pile dovrà essere prevista l'accessibilità ai ferri attraverso la predisposizione di una piastrina di attestazione (dimensioni tipiche 100x100x10 mm) collegata ad almeno 2 ferri;

- d) in corrispondenza degli assi delle due spalle del viadotto e se necessario in altri punti lungo il viadotto stesso dovranno essere realizzati giunti dielettrici;
- e) la struttura metallica dell'impalcato dovrà essere resa accessibile con predisposizione di una piastrina (dimensioni tipiche 100x100x10 mm) in corrispondenza dei giunti dielettrici da ambo i lati. Il circuito di terra TE presente sul viadotto dovrà essere collegato elettricamente alla struttura metallica dell'impalcato ed ai relativi ferri, tramite le piastrine suddette. Le strutture metalliche sul viadotto dovranno essere collegate a loro volta all'impalcato;
- f) per i giunti dielettrici in corrispondenza delle spalle dovrà essere predisposta una ulteriore piastrina (dimensioni tipiche 100x100x10 mm) anche dal lato opposto del giunto stesso (ovvero dal lato del giunto opposto al viadotto); a tali piastrine saranno collegati almeno 2 ferri del solettone dei tratti di linea adiacenti al viadotto;
- g) la piastrina di attestazione delle pile di cui a punto c) dovrà essere disposta in posizione facilmente raggiungibile in modo da poter realizzare i collegamenti che si renderanno opportuni (ad esempio, collegamento di by-pass tra pila ed impalcato oppure collegamento per il monitoraggio del potenziale dei ferri della pila stessa). Nel caso questo non sia possibile, occorrerà realizzare un collegamento in cavo isolato con terminazione (adeguatamente protetta) accessibile dall'impalcato. Per una delle pile il collegamento dovrà proseguire fino al palo TE più prossimo ed al relativo circuito di terra TE, o fino alle piastre dei ferri dell'impalcato, per la connessione alla terra dell'impalcato stesso (quest' ultimo collegamento andrà realizzato in ogni caso);
- h) le rotaie di corsa dovranno essere isolate dall'impalcato con una conduttanza  $\leq 0.05 \text{ S/km}$ ;
- i) il collegamento ai binari delle strutture dell'impalcato, soggette alla zona della linea aerea di contatto, dovrà essere realizzato attraverso un opportuno dispositivo di



limitazione della tensione (VLD), secondo i criteri di definizione della medesima apparecchiatura per il resto della linea;

- j) al fine di non by-passare i giunti dielettrici, il collettore di terra dei pali TE dovrà essere sezionato in corrispondenza dei giunti stessi.

Per quanto riguarda le predisposizioni per il monitoraggio delle correnti vaganti, si danno le seguenti indicazioni:

- posa di un cavo unipolare schermato 1x6 mmq lungo l'intera tratta per i collegamenti relativi alla misura di potenziale di una sezione; è necessario prevedere un tubo aggiuntivo per la posa di questo cavo;
- il cavo unipolare dovrà essere attestato ai suoi estremi, in corrispondenza dei giunti, in apposite cassette di attestazione;
- nelle zone vicine ai giunti dielettrici dovranno essere previsti elettrodi di riferimento fissi le cui terminazioni saranno disponibili per misure; in alternativa potranno essere rese disponibili due zone con strato superficiale in cemento, per la sistemazione, durante l'effettuazione delle misure, di un elettrodo di riferimento portatile che, appunto, deve essere a contatto con il cemento;
- realizzazione di un pozzetto stagno o, in alternativa, munito di opportuno sistema di drenaggio (dimensioni orientative 40x40x40 cm) in corrispondenza dei giunti dielettrici e, comunque, in prossimità delle piastrine di attestazione dei ferri delle travature, con predisposizione per collegamento a binario (obiettivo misura potenziale di binario).

Attraverso le piastrine di attestazione dei ferri delle pile, potrebbe risultare possibile anche il monitoraggio dei potenziali delle pile rispetto ai ferri delle travature, per una verifica della tenuta nel tempo dell'isolamento pile/travature.

## 7. MISURE DI CAMPO ELETTRICO ESTERNO

Il presente paragrafo si riferisce alle misure da effettuarsi nel terreno e sulle strutture presenti nelle aree adiacenti al sistema, sia prima della costruzione che dopo l'entrata in servizio della linea, ed anche eventualmente durante le fasi di collaudo.

Per applicare al meglio le norme CEI EN 50122-1(ed. 2012) e CEI EN 50122-2 (ed. 2012) occorre realizzare misure di campo elettrico esterno prima della costruzione della linea di trazione (punto 5.1).

A tale scopo si devono eseguire, nel territorio nel quale dovrà essere costruito l'impianto, le misure necessarie per l'individuazione di campi elettrici, della loro distribuzione e della loro intensità. Tali misure dovranno essere adeguatamente ripetute lungo il tracciato ed a intervalli di circa 100 mt in modo da consentire una valutazione completa del fenomeno.

Le misure di campo elettrico saranno poi ripetute a seguito dell'entrata in servizio della linea stessa, al fine di valutare l'influenza sulle strutture esistenti e quindi di minimizzare il pericolo di corrosione su enti terzi a causa della circolazione di correnti vaganti generate dal sistema tranviario.

Tali misure saranno orientative per le scelte ed i provvedimenti che verranno adottati allo scopo sia di minimizzare le eventuali interferenze sulla linea tranviaria da campi elettrici esterni, sia di creare condizioni adeguate di sicurezza (in termini di corrosione) alle strutture interrato esterne già esistenti. Saranno eseguite misure sia di differenza di potenziale presente nel terreno, sia dei potenziali ai quali sono sottoposte le strutture metalliche interrate in zone prospicienti il tracciato della linea, tramite i metodi di seguito descritti.

### 7.1 MISURE LONGITUDINALI E TRASVERSALI AL TRACCIATO

Dovranno essere effettuate misure di differenza di potenziale ogni 100 mt, individuate lungo il tracciato; tali misure saranno eseguite sia in senso longitudinale alla linea sia in senso trasversale in modo da determinare il campo elettrico medio presente nell'area di

misura e quindi permettere di valutare eventuali situazioni critiche per i sottoservizi ivi localizzati.

Tali misure si svolgeranno secondo le seguenti modalità:

- posizionamento di una sonda fissa in corrispondenza di una postazione prefissata; posizionamenti successivi, lungo la direttrice della linea (per misure di campo elettrico longitudinale) e in senso ortogonale ad essa (per misure di campo elettrico trasversale), di una sonda mobile, arrivando a distanze massime fra le sonde funzione della disponibilità di spazio delle aree individuate;
- in corrispondenza di ogni configurazione delle sonde dovrà essere effettuata una registrazione del campo elettrico, tramite registratore voltmetrico, in modo da verificare che eventuali variazioni in determinate fasce orarie siano dovute ad eventi ben precisi e comunque identificabili.

Le misure, effettuate ad intervalli successivi come sopra descritto, verranno ripetute per ogni eventuale posizione della sonda fissa.

Si sceglie, per convenzione, di assegnare il polo negativo del registratore alla sonda fissa.

## 7.2 MISURE DI POTENZIALE SU STRUTTURE UBICATE IN PROSSIMITÀ DEL TRACCIATO

L'introduzione della linea tranviaria può essere causa di interferenza su strutture di enti terzi preesistenti, dove per interferenza si intende la variazione dello stato elettrico della struttura stessa in conseguenza dell'alterazione del campo elettrico nell'ambiente prodotta dalla presenza della linea.

Occorrerà quindi svolgere azioni articolate nei passi seguenti:

- individuare ubicazione e caratteristiche geometriche di tutte le strutture e sistemi che si ritengano passibili di interferenza (strutture metalliche, già fornite o no di protezione catodica, come canalizzazioni, tubazioni, etc.);
- individuare eventuali provvedimenti preventivi sulle strutture stesse;
- concordare con gli Enti proprietari un programma comune di indagini e di misure da effettuare prima della costruzione della linea e dopo l'entrata in esercizio;

- a seguito delle misure effettuate, analizzare le condizioni dello stato elettrico delle strutture;
- valutare il livello di interferenza sulle strutture e analizzare l'ammissibilità o meno dell'interferenza stessa;
- individuare gli eventuali provvedimenti da adottare atti a contenere l'interferenza entro limiti ammissibili;
- controllare l'efficacia dei provvedimenti adottati;
- controllare il livello di interferenza nel tempo durante l'esercizio, tramite controlli periodici da inserirsi nei programmi di manutenzione.

L'analisi di cui sopra verrà approfondita in ambito di progetto esecutivo, sulla base del censimento di tutte le infrastrutture di terzi situate lungo il percorso tranviario; di seguito viene riportato un elenco delle principali tipologie di infrastrutture facenti capo a differenti Enti terzi che occorrerà tenere in considerazione:

- linee gas;
- acquedotti;
- cavi elettrici;
- cavi telefonici;
- illuminazione stradale;
- fognature;
- linee di telesorveglianza.

I principi delle misure di potenziale sono trattati ampiamente nella norma UNI EN 13509 alla quale si rimanda integralmente.

Il potenziale viene registrato per un periodo significativo in relazione al traffico presente sulla linea elettrificata acquisendo simultaneamente i potenziali della rotaia e delle strutture situate in posizioni limitrofe, in particolare parallelismi e attraversamenti.

Nel caso di attraversamenti, la misura viene effettuata in corrispondenza dell'attraversamento stesso. Nel caso di parallelismi, le registrazioni vengono effettuate in varie posizioni lungo il tratto del parallelismo.

## 8. MONITORAGGIO CORRENTI VAGANTI

Il presente capitolo si riferisce al monitoraggio, da effettuarsi principalmente durante l'esercizio, ed eventualmente durante le fasi di collaudo del sistema, dei parametri elettrici più significativi relativamente alle parti costituenti della rete tranviaria.

Sulla base di quanto esposto ai paragrafi precedenti, occorrerà creare le opportune predisposizioni per poter effettuare il monitoraggio dei seguenti parametri.

I valori da prendere a riferimento per il criterio di accettazione delle misure sono normalmente indicati, se non in questo paragrafo, in altre parti del documento relative ai provvedimenti da adottarsi. Più generalmente essi costituiranno l'insieme delle informazioni necessarie per svolgere ulteriori valutazioni.

### 8.1 VERIFICA DELLA RESISTENZA VERSO TERRA E DELLA CONDUTTIVITÀ DEL CIRCUITO DI RITORNO

Il valore di resistenza, i cui metodi di misura saranno in accordo con lo standard europeo 50122-2 (ed. 2012), allegato A, dovrà essere verificato durante l'installazione per ogni singola sezione prima che essa sia collegata alle sezioni adiacenti. Dovrà essere possibile eseguire le verifiche anche durante l'esercizio.

### 8.2 VERIFICA DELLA CONDUTTIVITÀ E DEL POTENZIALE VERSO TERRA DEI FERRI DI ARMATURA

Il sistema di monitoraggio delle interferenze elettriche si basa sulla misura del potenziale delle armature rispetto ad un elettrodo di riferimento e sulla sua eventuale variazione nel tempo. I dati di potenziale delle armature consentono infatti di individuare le situazioni di interferenza e di eventuale corrosione delle armature da esse derivanti.

Il sistema di monitoraggio proposto sarà costituito da:

- predisposizioni per il collegamento alle armature, e

- posti di misura,  
disposti lungo il tracciato della tranvia.

### 8.2.1 PREDISPOSIZIONI

Il solettone di supporto della tranvia sarà sezionato elettricamente lungo il tracciato ogni 300 m circa. Il sezionamento verrà realizzato mediante discontinuità delle armature di ciascuna tratta di solettone. All'interno di ciascuna tratta verrà assicurata la continuità elettrica delle armature della tratta stessa.

In corrispondenza delle estremità di ogni tratta continua di solettone verrà predisposto l'accesso al collegamento elettrico all'armature mediante piastre metalliche. Le posizioni all'estremità delle tratte continue in cemento armato sono infatti quelle dove si prevede lo scambio di corrente tra armatura e cemento.

Tali predisposizioni potranno essere utilizzate per l'esecuzione di misure e di registrazioni del potenziale dell'armatura mediante elettrodo di riferimento portatile.

Le predisposizioni dovranno essere previste in corrispondenza di tutti i sezionamenti elettrici delle armature previsti lungo il tracciato della tranvia, laddove non sia prevista la realizzazione di un posto di misura.

### 8.2.2 POSTI DI MISURA

Ogni posto di misura sarà costituito da:

- elettrodo di riferimento fisso per la misura del potenziale, annegato nel calcestruzzo;
- collegamento elettrico all'armatura, in corrispondenza al punto di misura stesso;
- cassetta con morsettiera, alla quale fanno capo il collegamento elettrico e l'elettrodo di riferimento, situata in pozzetto in posizione facilmente accessibile e protetta.

In corrispondenza ai posti di misura verranno effettuate le registrazioni dei potenziali delle armature mediante strumento reistrator .

I posti di misura dovranno essere previsti in corrispondenza delle principali opere civili in cemento armato e in posizioni significative della tranvia, tipicamente in corrispondenza di fermate, sottostazioni o parallelismi significativi di condotte

Le posizioni dei posti di misura, potranno essere, ove applicabile, combinati con le postazioni di misura del potenziale di rotaia.

I posti di misura dovranno essere realizzati mediante opportuna custodia, al cui interno sarà fissata la morsettiera a cui fanno capo i cavi di collegamento elettrico.

Le custodie potranno essere del tipo a cassetta in pozzetto o, dove fosse preferibile, a cassetta su palina.

Le dimensioni tipiche del pozzetto sono da considerarsi dell'ordine di 40x40x40 cm.

### 8.2.3 Elettrodi di riferimento ed accessori

Gli elettrodi di riferimento dovranno essere di tipo idoneo per applicazioni nel calcestruzzo, ad esempio il tipo in titanio attivato con ossido di iridio.

Per effettuare la misura del potenziale dell'armatura rispetto all'elettrodo di riferimento dovrà essere realizzato il collegamento alla gabbia di armatura, preferibilmente in prossimità della posizione in cui è ubicato l'elettrodo.

Gli elettrodi di riferimento dovranno essere provvisti di cavo elettrico assiemato direttamente all'elettrodo.

Sono utilizzabili scatole di collegamento, provviste di morsettiera per il fissaggio dei cavi dall'elettrodo di riferimento e dal collegamento alle armature.

## 8.3 VERIFICA DEL POTENZIALE DI BINARIO

Per consentire la registrazione del potenziale di rotaia dovranno essere predisposti posti di misura con collegamento alla rotaia stessa.

Le posizioni, disposte lungo il tracciato della tranvia, sono le seguenti:

- in corrispondenza delle sottostazioni elettriche;
- in corrispondenza delle stazioni passeggeri;
- in corrispondenza dei parallelismi con condotte e strutture metalliche più significativi.

La misura verrà effettuata con un registratore voltmetrico inserito fra binario ed elettrodo di riferimento, ed un secondo registratore, nel caso di posto di misura combinato con il monitoraggio dei ferri, inserito fra terra (e/o ferri di armatura) e lo stesso elettrodo. Nel caso gli strumenti ed l'elettrodo possano essere inseriti in pozzetti già previsti, si utilizzeranno questi ultimi, in caso contrario occorrerà realizzare pozzetti dedicati (dimensioni indicative 40x40x40cm).

Si prevederanno ovviamente i necessari collegamenti dal binario al punto di misura, dalla terra (o dai ferri) al punto di misura, e si creeranno le predisposizioni per il posizionamento dell'elettrodo. Tutti gli accessori collegati al binario dovranno essere adeguatamente isolati da terra. I posti di misura potranno essere combinati con le postazioni previste per la misura del potenziale dei ferri di armatura.

#### **8.4 EVENTUALE MONITORAGGIO DIFFERENZA DI POTENZIALE AI CAPI DEI FERRI DI ARMATURA**

Solo nel caso di presenza di strutture metalliche e manufatti di lunghezza significativa, si prevederà il monitoraggio della differenza di potenziale longitudinale ai capi dei ferri di armatura, predisponendo quanto segue:

- posa di un cavo unipolare schermato, sezione 6 mmq, lungo l'intero manufatto
- realizzazione di pozzetti, ubicati in corrispondenza degli eventuali giunti dielettrici, per l'introduzione degli elettrodi di riferimento.

Il cavo unipolare schermato si attesterà, a monte e valle di ogni giunto dielettrico, in una morsettiera contenuta in un apposito cassetto.