



Comune di Bologna



Sostenibilità
è Bologna



PUMS
BOLOGNA
METROPOLITANA

RTI Progettisti:

SYSTRA

SOTECNI
SYSTRA GROUP



AEGIS
CANTARELLI + PARTNERS



STUDIO MATTIOLI
Ambiente • Ingegneria • Energie



cooperative archeologia

PROGETTO DEFINITIVO DELLA PRIMA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (LINEA ROSSA)

FSC

Fondo per lo Sviluppo
e la Coesione

Intervento finanziato con risorse
FSC 2014-2020 – Piano operativo della Città
metropolitana di Bologna
Delibera CIPE n.75/2017



ALIMENTAZIONE ELETTRICA ELABORATI GENERALI RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA

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
GEOM. AGNESE FERRO
ARCH. VIRGINIA BORRELLO

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. ALBERTO FORCHINO

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. JEREMIE WAJS

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. MATTEO MARIOTTI

PIANI ECONOMICI E FINANZIARI

ING. BORIS ROWENCZYN

COMMESSA	FASE	LOTTO	WBS	DISCIPLINA	TIPO	NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE
B381	D	X00	IAE	XXX	RT	01	B		B381-D-X00-IAE-XXX-RT-01-B

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Nov. 2020	EMISSIONE	TORTORELLA	D'APOLLONIO	S. CAMINITI
B	GIUGNO 2021	Aggiornamento a seguito chiusura CdS e validazione PD	TORTORELLA	D'APOLLONIO	S. CAMINITI
C					
D					

Indice

1. PREMESSA.....	3
2. ACRONIMI	3
3. PRESCRIZIONI TECNICHE E NORME DI RIFERIMENTO.....	3
4. DESCRIZIONE FUNZIONALE DEL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE MT	5
4.1 PUNTI DI CONSEGNA DELLE FORNITURE MT	6
4.2 INTERCONNESSIONE SSE CON LINEA IN CAVO MT.....	7
4.3 COORDINAMENTO DELLE PROTEZIONI.....	8
4.4 RIEPILOGO UTENZE ELETTRICHE.....	9
5. DESCRIZIONE TECNICA DELLE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE	11
5.1 EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE.....	18
6. SISTEMA DI ALIMENTAZIONE DELLA TRAZIONE ELETTRICA.....	18
7. SISTEMA DI ALIMENTAZIONE IN BASSA TENSIONE.....	19
7.1 IMPIANTO LFM DI FERMATA.....	20
8. SISTEMA COMPLESSIVO DI MESSA A TERRA.....	21
9. PROVVEDIMENTI CONTRO I PERICOLI DA ELETTROCUZIONE	22
9.1 DIMENSIONAMENTO TERMICO PER I CONDUTTORI DI TERRA	22
9.2 COLLEGAMENTI CON LA RETE MT.....	23
9.3 CRITERI DI CALCOLO E REQUISITI GENERALI PER LE RETI TERRA DI SSE.....	24
9.4 CRITERI DI PROGETTO E VERIFICA DEGLI IMPIANTI DI TERRA.....	24
9.4.1 METODO DI MISURA DELLA RESISTENZA DI TERRA CON METODO VOLT-AMPEROMETRICO	28
9.5 COLLEGAMENTI CON LA RETE B.T.....	29
9.6 SISTEMA DI TRAZIONE IN CORRENTE CONTINUA.....	32
9.6.1 CIRCUITO DI RITORNO DI PIENA LINEA	32

9.6.2	APPARECCHIATURE CONTENENTI PARTI O COMPONENTI RELATIVE AL SISTEMA DI TRAZIONE C.C.	32
9.6.3	SCELTA DEL DISPOSITIVO DI LIMITAZIONE DELLA TENSIONE	33
9.6.4	COLLEGAMENTI PROTETTIVI A TERRA/ BINARIO	34
10.	PROVVEDIMENTI CONTRO I PERICOLI DA CORROSIONI ELETTROLITICHE	34
10.1	CONDUTTIVITÀ DEL CIRCUITO DI RITORNO DI TRAZIONE	34
10.2	ISOLAMENTO DEL CIRCUITO DI RITORNO RISPETTO A TERRA.....	36
10.3	APPARECCHIATURE O STRUTTURE METALLICHE IN COLLEGAMENTO COL CIRCUITO DI RITORNO E CON LA LINEA DI CONTATTO	37
10.3.1	APPARECCHIATURE ISOLATE DA TERRA	38
10.3.2	APPARECCHIATURE NON ISOLATE DA TERRA.....	38
10.3.3	APPARECCHIATURE CONTENENTI PARTI O COMPONENTI RELATIVI AL SISTEMA DI TRAZIONE IN C.C.....	38
10.3.4	COMPONENTI ED ACCESSORI COLLEGATI A BINARIO PER SCOPI DI MESSA A TERRA	39
10.3.5	POZZETTI PER ALLOGGIAMENTO DISPOSITIVI DI LIMITAZIONE DELLA TENSIONE	39
10.3.6	SUPPORTI DELLA LINEA DI CONTATTO	40
10.4	PERICOLI DA CORRENTI VAGANTI PROVOCATE DA CAMPI ELETTRICI ESTERNI....	40
10.4.1	TERRA DI STRUTTURA	40
10.4.2	PRESCRIZIONI PER I FERRI DI ARMATURA.....	40
10.4.3	GIUNTI DIELETTRICI E PRESENZA DI MANUFATTI SIGNIFICATIVI	42
11.	MISURE DI CAMPO ELETTRICO ESTERNO	43
11.1	MISURE LONGITUDINALI E TRASVERSALI AL TRACCIATO	43
11.2	MISURE DI POTENZIALE SU STRUTTURE UBICATE IN PROSSIMITÀ DEL TRACCIATO	44

1. PREMESSA

Scopo del presente documento è descrivere il sistema di alimentazione primaria da realizzare nell'ambito dei lavori della nuova linea Rossa della città di Bologna.

Si definiscono inoltre le diverse configurazioni di alimentazione MT per l'intera tratta, sia in normali condizioni di esercizio che in caso di guasto.

2. ACRONIMI

BT	Bassa Tensione
CA	Corrente Alternata
CC	Corrente Continua
CEI	Comitato Elettrotecnico Italiano
EN	Norma Europea
MT	Media Tensione
PCO	Posto Centrale Operativo: locali in cui risiedono tutte le funzioni di supervisione e gestioni centralizzate del sistema di trasporto
SSE	Sottostazione Elettrica
UPS	Gruppo statico di continuità con uscita in corrente alternata
Vcc	Volt corrente continua.

3. PRESCRIZIONI TECNICHE E NORME DI RIFERIMENTO

Tutti i componenti dovranno essere dotati di marchio IMQ per gli apparecchi ammessi al regime del marchio, in alternativa di marchio CEI o comunque corredati di certificazione del costruttore per la rispondenza alle norme relative. Devono rispondere alle caratteristiche nominali del circuito in cui verranno installati in termini di potenza, tensione, corrente massima assorbita e frequenza nominali. Inoltre tutti i componenti dell'impianto dovranno essere dotati di relativo marchio CE apposto dal costruttore

secondo quanto previsto dalla direttiva CEE 93/68 recepita in Italia dal D.Lgs 25.11.1996 n. 626 e successive integrazioni e modificazioni.

Per la definizione delle caratteristiche tecniche degli impianti, anche ove non specificato, si deve fare riferimento specifico a tutta la normativa di legge ed alle prescrizioni degli Enti preposti in vigore. In particolare, a scopo esemplificativo, si elencano:

- DPR 547, 27 aprile 1955: Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro;
- Legge 186, 1 marzo 1968: Disposizioni concernenti la produzione dei materiali e l'installazione degli impianti elettrici;
- DM 22 gennaio 2008, n. 37 Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici;
- D.lgs. 106/2017, 16/06/2017, Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) n.305/2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE;
- REGOLAMENTO (UE) N. 305/2011, 01/07/2015, Condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio;
- Disposizioni della locale azienda distributrice dell'energia elettrica;
- Disposizioni particolari dei Vigili del Fuoco in materia di impianti elettrici;

nonché le Norme del Comitato Elettrotecnico Italiano:

- CEI 11-1 "Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica. Norme generali"
- CEI 11-8 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Impianti di terra"
- 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 50163 “applicazioni ferroviarie – Tensione di alimentazione dei sistemi ferroviari”
- CEI EN 60146 1-1 "Convertitori a semiconduttori - Prescrizioni generali e convertitori commutati dalla linea - Parte 1-1: Specifiche per le prescrizioni fondamentali"
- CEI EN50122-1 "Applicazioni ferroviarie - installazioni fisse Parte 1: Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra”
- CEI EN50122-2 "Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi Parte 2: Protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate da sistemi di trazione in corrente continua”

nonchè le Norme di unificazione UNI.

Per quanto riguarda la verifica delle apparecchiature elettriche nei riguardi dell’azione sismica (rif. art. 26.1.g DPR 207/2010 ed NTC 2018 cap. 7.2..4 e 7.3.6) si rimanda la stessa alla successiva fase di progettazione esecutiva/costruttiva.

4. DESCRIZIONE FUNZIONALE DEL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE MT

Il sistema di alimentazione elettrica di una tramvia ha la funzione di ricevere energia elettrica dall’esterno e di alimentare tutte le relative utenze elettriche.

E’ costituito da:

- sistema media tensione costituito da: punti di prelievo dall’ente fornitore, cavi di distribuzione MT e relativi accessori, quadri ed apparecchiature MT;
- sistema di trazione costituito da sottostazioni elettriche e linea di contatto con relativi sezionamenti ed organi di manovra;
- sistema di distribuzione BT delle utenze di fermata, deposito/officina e posto centrale operativo (PCO);
- sistema di terra e correnti vaganti in cui vengono attuati i provvedimenti al fine della sicurezza elettrica per le persone e per la mitigazione degli effetti delle correnti vaganti generate dal sistema di trazione.

Il sistema di alimentazione primaria in Media Tensione sarà costituito da dieci sottostazioni elettriche di conversione, di cui una al Deposito Borgo Panigale.

Sono previsti tre punti di consegna dalla rete ENEL da 9,9 MW in media tensione a 15 KV, rispettivamente nella sottostazione SSE 01 – Deposito Borgo Panigale, SSE 07 (Parcheggio Michelino) ed SSE 10 (Facoltà Agraria).

Dai punti di fornitura sopra indicati l'energia sarà distribuita alle altre sottostazioni tramite una linea in media tensione in cavo ad anello aperto. Le forniture di energia primaria dell'ente distributore sono derivate da due distinte cabine primarie dell'ente fornitore, di modo che anche il "fuori servizio" di una primaria non comporterà alcun disservizio della linea tranviaria: la normale continuità di esercizio sarà garantita infatti dal punto di distribuzione rimasto in servizio. In normali condizioni di funzionamento, entrambi i punti di alimentazione forniranno l'energia occorrente all'intero sistema evitando, attraverso opportuni interblocchi, il parallelo dei due. Le SSE di conversione sono state previste per garantire l'energia di trazione a 750 V cc e l'energia in bassa tensione per gli impianti di linea.

L'impianto in questione risponderà a tre esigenze principali:

- assicurare la potenza necessaria seguendo precisi criteri di disponibilità e razionalità;
- essere concepito con la massima economia di esercizio;
- garantire livelli di distorsioni armoniche accettabili, anche in relazione alle caratteristiche delle forniture.

4.1 PUNTI DI CONSEGNA DELLE FORNITURE MT

Le caratteristiche dell'impianto nei punti di consegna saranno le seguenti:

tensione nominale di consegna trifase:	15 kV, 50 Hz
valore massimo presumibile della corrente di corto circuito:	12,5kA efficaci
stato del neutro (ipotizzabile):	compensato
valore massimo presumibile della corrente di guasto monofase a terra:	101 A
tempo previsto di eliminazione del guasto:	0,69 s.

4.2 INTERCONNESSIONE SSE CON LINEA IN CAVO MT

I collegamenti in media tensione tra le S.S.E. sono previsti con cavo tripolare elicordato per Media Tensione, avente grado di isolamento 12/20 KV e sezione di 240 mmq, tipo RG7H1M1X - 12/20 KV.

Nell'elaborato dello schema di alimentazione in Media Tensione di progetto è riportato l'intero sistema di alimentazione MT.

Il cavo di alimentazione in media tensione è posato in un cavidotto da 160 mm, con un percorso parallelo al tracciato nell'interbinario lungo il quale, a distanze opportune, saranno ubicati pozzetti di ispezione e di tiro del cavo.

E' prevista una polifora di cls con n. 2 cavidotti da 160mm, interrata nell'interbinario alla profondità:

- di 40cm dal piano del ferro nelle tratte a doppio binario
- di 54 cm dal piano del ferro nelle tratte a singolo binario, ad eccezione della tratta di via Indipendenza (tratta con attraversamento pedonale) in cui la profondità di posa del cavidotto MT è di 85 cm dal piano del ferro .

In corrispondenza delle banchine di fermata (laddove la fermata ricade in asse tra i due binari) la sudetta polifora è interrata ad una profondità di 95 cm.

Per il nuovo elettrodotto si applicano le prescrizioni di cui all'art. 4 del D.P.C.M. 08/07/03 che fissa per il valore dell'induzione magnetica l'obiettivo di qualità di 3 μ T in corrispondenza di aree con permanenza non inferiore a quattro ore giornaliere.

L'utilizzo di cavi ad elica visibile fa sì che detta tipologia di linea è esclusa dalla valutazione, in base a quanto prescritto dal D.M. 29/05/2008 al punto 3.2 ed a quanto indicato nella norma CEI 106-11 ai punti 7.1.1 e 7.1.2 in quanto il rispetto della normativa tecnica in vigore, DM 16.01.1991 e DM 21.3.1988 n. 449 e s.m.i., garantisce anche il conseguimento dell'obiettivo di qualità prescritto dal DPCM 08/07/2003.

Nel primo caso (interbinario) il cavidotto si trova interrato in corrispondenza di un'area dove non è consentita la permanenza di persone, ma eventualmente solo il transito in corrispondenza di attraversamenti pedonali.

Per il secondo caso (passaggio del cavidotto interrato sotto la banchina di fermata), dove è necessario garantire valori di induzione magnetica inferiori a $3 \mu T$, è rispettato quanto prescritto dalla norma CEI 106-11 al paragrafo 7.1.1 - Fasce di rispetto per linee MT e BT in cavo cordato ad elica sotterraneo:

“Le linee in cavo sotterraneo sia di media che di bassa tensione sono posate ad una profondità di circa 80 cm per cui, in base alle valutazioni riportate nelle Figure 19 a) e 14 a), già a livello del suolo sulla verticale del cavo e nelle condizioni limite di portata si determina una induzione magnetica inferiore a $3 \mu T$. Ciò significa che per questa tipologia di impianti non è necessario stabilire una fascia di rispetto in quanto l’obiettivo di qualità è rispettato ovunque.”

4.3 COORDINAMENTO DELLE PROTEZIONI

E’ stata studiata la selettività delle protezioni elettriche di media tensione dell’impianto di alimentazione primaria e definita la regolazione delle protezioni, per assicurare una corretta protezione della rete e realizzare la selettività di intervento, ovvero fare in modo che sia sempre e solo la protezione più vicina al guasto ad intervenire.

La filosofia di utilizzo delle protezioni è basata sulla conoscenza che le condizioni anomale di funzionamento o di guasto possono essere suddivise come segue:

- sovraccarichi;
- guasti a terra;
- guasti fase-fase e trifase.

L’individuazione delle condizioni anomale menzionate è effettuata dai relé di protezione che operano per separare la parte di rete guasta dal resto dell’impianto. La taratura dei relé di protezione sarà selezionata per dare la maggiore continuità di servizio evitando danneggiamenti ai componenti della rete. I valori di taratura saranno scelti al di sopra delle condizioni transitorie che si possono verificare in rete. I tempi di intervento dovranno consentire il ripristino dei parametri transitori all’interno dei loro valori normali.

Lo studio di selettività delle protezioni è basato sul calcolo delle correnti di cortocircuito; la selettività di intervento delle protezioni è studiata per essere valida sia con correnti di corto circuito massime, sia con correnti di corto circuito minime. Si considera inoltre che tutte le protezioni installate siano e rimangano correttamente funzionanti e cablate in scatto.

La selettività di intervento delle protezioni sarà assicurata per guasti di corto circuito fase-fase. Per guasti fase-terra sulla rete 15 KV interverrà la protezione specifica di guasto a terra.

4.4 RIEPILOGO UTENZE ELETTRICHE

Si riporta di seguito una tabella con gli assorbimenti elettrici in normale esercizio della linea, sviluppata sulla scorta dei risultati della simulazione elettrica del sistema di trazione (potenza media e di picco) e dei calcoli di dimensionamento elettrici degli impianti lungo linea:

		Potenza Trazione (Valore medio)	Potenza Trazione (Valore di picco 15s max)	Potenza impianti di linea (LFM, Sistemi trasmissivi ed informativi, segnalamento ed impianti depositi)	Totale potenza assorbita (con valore medio della potenza di trazione)	Totale potenza assorbita (con valore di picco della potenza di trazione)
		kW	kW	kW	kW	kW
Dep. Borgo Panigale Cabina MT/bt				750	750,0	750,0
SSE 1	Gruppo 1	174,6	401,175	49,38	398,6	851,7
	Gruppo 2	174,6	401,175			
SSE 2	Gruppo 1	235,9	447,45	73,54	545,3	968,4
	Gruppo 2	235,9	447,45			
SSE 3	Gruppo 1	228,2	421,8	57	513,4	900,6
	Gruppo 2	228,2	421,8			
SSE 4	Gruppo 1	181,5	422,85	57	420,0	902,7
	Gruppo 2	181,5	422,85			
SSE 5	Gruppo 1	310,7	585,825	57	678,4	1228,7
	Gruppo 2	310,7	585,825			
SSE 6	Gruppo 1	237,9	383,625	57	532,8	824,3

	Gruppo 2	237,9	383,625			
SSE 7	Gruppo 1	132,9	323,4	57	322,8	703,8
	Gruppo 2	132,9	323,4			
Dep. Pilastro Cabina MT/bt				51	51,0	51,0
SSE 8	Gruppo 1	148,9	314,55	57	354,8	686,1
	Gruppo 2	148,9	314,55			
SSE 9	Gruppo 1	126,8	283,35	57	310,6	623,7
	Gruppo 2	126,8	283,35			
SSE 10	Gruppo 1	105,4	346,65	57	267,8	750,3
	Gruppo 2	105,4	346,65			
Totale KW					5145,5	9241,3

Di seguito sono indicati i valori di potenza attiva e quelli della potenza apparente calcolati in condizioni di emergenza, per ciascuna SSE:

SSE01 - SSE09

UTENZA	POTENZA IMPEGNATA KVA	POTENZA IMPEGNATA KW
Quadro SSE	16,75	13,4

SSE 06 – SSE 07 – SSE 08

UTENZA	POTENZA IMPEGNATA KVA	POTENZA IMPEGNATA KW
Quadro Fermate (4x4,18)	16,75	13,40
Quadro SSE	9,68	7,75
Totale	26,43	21,15

SSE 02 – SSE 03 - SSE 04 – SSE 05 – SSE 10

UTENZA	POTENZA IMPEGNATA KVA	POTENZA IMPEGNATA KW
Quadri Fermate (5x4,18)	20,90	16,75

Quadro SSE	18,43	14,75
Totale	39,37	31,50

5. DESCRIZIONE TECNICA DELLE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE

Le sottostazioni elettriche di alimentazione della linea di contatto dovranno fornire l'energia necessaria per i rotabili alla tensione di 750 Vcc.

Dal dimensionamento di massima, che tiene conto della portata oraria, del tipo dei convogli ipotizzato, del profilo altimetrico, dei raggi minimi di curvatura del tracciato, e di tutte le altre particolarità del sistema stesso, nonché del recupero di energia in frenatura, è prevista la realizzazione di dieci sottostazioni della potenza installata di 1,6 MW cadauna, in grado di garantire il servizio regolare nel periodo di punta con il cadenzamento massimo dei convogli ed il "fuori servizio", per manutenzione o guasto, di due S.S.E..

Tale condizione è stata verificata attraverso la simulazione i cui risultati sono contenuti nel documento B381-D-X00-EGG-XXX-CO-01-A - Simulazione elettrica del sistema di trazione.

Per la conversione ed alimentazione in c.c. sono previsti due monogruppi in ciascuna sottostazione lungo linea (uno di riserva all'altro), della potenza di 1600 kW con sovraccaricabilità in classe VI, norma CEI EN 60146.1.1. Nella SSE Deposito Borgo Panigale è stato previsto un gruppo per l'alimentazione della linea e due per la TE del Deposito.

Ciascuno dei quadri MT previsti in sottostazione é composto di un sistema di sbarre da cui sono derivate le alimentazioni per i trasformatori di gruppo, il trasformatore dei servizi ausiliari, e le linee di alimentazione che garantiscono la distribuzione della MT.

Si indica di seguito la composizione delle SSE previste:

SSE 01 Deposito Borgo Panigale

- quadro blindato MT, costituito da un'unità di protezione ARRIVO ENTE FORNITORE, uno scomparto misure, un'unità di interconnessione MT con la SSE 02, un'unità di protezione linea MT per la cabina elettrica MT/bt del Deposito, un'unità di protezione

per ciascun trasformatore di potenza ed un'unità di protezione del trasformatore dei servizi ausiliari;

- trasformatore in resina per servizi ausiliari da 160 KVA, 15KV/400 V;
- quadro generale di distribuzione in bassa tensione;
- UPS 30KVA con doppia centralina ed autonomia di funzionamento di 30 min. del tipo a cassette;
- caricabatterie 110V cc e convertitore 24V cc;
- n. 3 trasformatori di potenza in resina da 1800 KVA, con doppio secondario, 15KV/590 – 590 V;
- n. 3 gruppi di conversione monoblocco da 1600 KW (1+1 per la linea ed 1 per il Deposito);
- quadro blindato c.c., con n. 2 interruttori extrarapidi;
- armadio di sezionatori di 1° e 2° fila.

SSE 02

- quadro blindato MT, costituito da uno scomparto misure, un'unità di interconnessione MT con la SSE 01, un'unità di interconnessione MT con la SSE 03, un'unità di protezione per ciascun trasformatore di potenza ed un'unità di protezione del trasformatore dei servizi ausiliari;
- trasformatore in resina per servizi ausiliari da 160 KVA, 15KV/400 V;
- quadro generale di distribuzione in bassa tensione;
- UPS 60KVA con doppia centralina ed autonomia di funzionamento di 30 min. del tipo a cassette;
- caricabatterie 110V cc e convertitore 24V cc;
- n. 2 trasformatori di potenza in resina da 1800 KVA, con doppio secondario, 15KV/590 – 590 V;
- n. 2 gruppi di conversione monoblocco da 1600 KW;
- quadro blindato c.c., con n. 2 interruttori extrarapidi;
- armadio di sezionatori di 1° e 2° fila.

SSE 03

- quadro blindato MT, costituito da uno scomparto misure, un'unità di interconnessione MT con la SSE 02, un'unità di interconnessione MT con la SSE 04, un'unità di protezione per ciascun trasformatore di potenza ed un'unità di protezione del trasformatore dei servizi ausiliari;
- trasformatore in resina per servizi ausiliari da 160 KVA, 15KV/400 V;
- quadro generale di distribuzione in bassa tensione;
- UPS 60KVA con doppia centralina ed autonomia di funzionamento di 30 min. del tipo a cassette;
- caricabatterie 110V cc e convertitore 24V cc;
- n. 2 trasformatori di potenza in resina da 1800 KVA, con doppio secondario, 15KV/590 – 590 V;
- n. 2 gruppi di conversione monoblocco da 1600 KW;
- quadro blindato c.c., con n. 2 interruttori extrarapidi;
- armadio di sezionatori di 1° e 2° fila.

SSE 04

- quadro blindato MT, costituito da uno scomparto misure, un'unità di interconnessione MT con la SSE 03, un'unità di interconnessione MT con la SSE 05, un'unità di protezione per ciascun trasformatore di potenza ed un'unità di protezione del trasformatore dei servizi ausiliari;
- trasformatore in resina per servizi ausiliari da 160 KVA, 15KV/400 V;
- quadro generale di distribuzione in bassa tensione;
- UPS 60KVA con doppia centralina ed autonomia di funzionamento di 30 min. del tipo a cassette;
- caricabatterie 110V cc e convertitore 24V cc;
- n. 2 trasformatori di potenza in resina da 1800 KVA, con doppio secondario, 15KV/590 – 590 V;
- n. 2 gruppi di conversione monoblocco da 1600 KW;

- quadro blindato c.c., con n. 2 interruttori extrarapidi;
- armadio di sezionatori di 1° e 2° fila.

SSE 05

- quadro blindato MT, costituito da uno scomparto misure, un'unità di interconnessione MT con la SSE 04, un'unità di interconnessione MT con la SSE 06, un'unità di protezione per ciascun trasformatore di potenza ed un'unità di protezione del trasformatore dei servizi ausiliari;
- trasformatore in resina per servizi ausiliari da 160 KVA, 15KV/400 V;
- quadro generale di distribuzione in bassa tensione;
- UPS 60KVA con doppia centralina ed autonomia di funzionamento di 30 min. del tipo a cassette;
- caricabatterie 110V cc e convertitore 24V cc;
- n. 2 trasformatori di potenza in resina da 1800 KVA, con doppio secondario, 15KV/590 – 590 V;
- n. 2 gruppi di conversione monoblocco da 1600 KW;
- quadro blindato c.c., con n. 2 interruttori extrarapidi;
- armadio di sezionatori di 1° e 2° fila.

SSE 06

- quadro blindato MT, costituito da uno scomparto misure, un'unità di interconnessione MT con la SSE 05, un'unità di interconnessione MT con la SSE 07, un'unità di protezione per ciascun trasformatore di potenza ed un'unità di protezione del trasformatore dei servizi ausiliari;
- trasformatore in resina per servizi ausiliari da 160 KVA, 15KV/400 V;
- quadro generale di distribuzione in bassa tensione;
- UPS 50KVA con doppia centralina ed autonomia di funzionamento di 30 min. del tipo a cassette;
- caricabatterie 110V cc e convertitore 24V cc;

- n. 2 trasformatori di potenza in resina da 1800 KVA, con doppio secondario, 15KV/590 – 590 V;
- n. 2 gruppi di conversione monoblocco da 1600 KW;
- quadro blindato c.c., con n. 2 interruttori extrarapidi;
- armadio di sezionatori di 1° e 2° fila.

SSE 07

- quadro blindato MT, costituito da un'unità di protezione ARRIVO ENTE FORNITORE, uno scomparto misure, un'unità di interconnessione MT con la SSE 06, un'unità di interconnessione MT con la SSE 08, un'unità di protezione per ciascun trasformatore di potenza ed un'unità di protezione del trasformatore dei servizi ausiliari;
- trasformatore in resina per servizi ausiliari da 160 KVA, 15KV/400 V;
- quadro generale di distribuzione in bassa tensione;
- UPS 50KVA con doppia centralina ed autonomia di funzionamento di 30 min. del tipo a cassette;
- caricabatterie 110V cc e convertitore 24V cc;
- n. 2 trasformatori di potenza in resina da 1800 KVA, con doppio secondario, 15KV/590 – 590 V;
- n. 2 gruppi di conversione monoblocco da 1600 KW;
- quadro blindato c.c., con n. 2 interruttori extrarapidi;
- armadio di sezionatori di 1° e 2° fila.

SSE 08

- quadro blindato MT, costituito da un'unità di protezione ARRIVO ENTE FORNITORE, uno scomparto misure, un'unità di interconnessione MT con la SSE 07, un'unità di interconnessione MT con la SSE 09, un'unità di protezione per ciascun trasformatore di potenza ed un'unità di protezione del trasformatore dei servizi ausiliari;
- trasformatore in resina per servizi ausiliari da 160 KVA, 15KV/400 V;
- quadro generale di distribuzione in bassa tensione;

- UPS 50KVA con doppia centralina ed autonomia di funzionamento di 30 min. del tipo a cassette;
- caricabatterie 110V cc e convertitore 24V cc;
- n. 2 trasformatori di potenza in resina da 1800 KVA, con doppio secondario, 15KV/590 – 590 V;
- n. 2 gruppi di conversione monoblocco da 1600 KW;
- quadro blindato c.c., con n. 2 interruttori extrarapidi;
- armadio di sezionatori di 1° e 2° fila.

SSE 09

- quadro blindato MT, costituito da uno scomparto misure, un'unità di interconnessione MT con la SSE 08, un'unità di interconnessione MT con la Cabina MT/bt del Deposito Ausiliario Pilastro, un'unità di protezione per ciascun trasformatore di potenza ed un'unità di protezione del trasformatore dei servizi ausiliari;
- trasformatore in resina per servizi ausiliari da 160 KVA, 15KV/400 V;
- quadro generale di distribuzione in bassa tensione;
- UPS 30KVA con doppia centralina ed autonomia di funzionamento di 30 min. del tipo a cassette;
- caricabatterie 110V cc e convertitore 24V cc;
- n. 2 trasformatori di potenza in resina da 1800 KVA, con doppio secondario, 15KV/590 – 590 V;
- n. 2 gruppi di conversione monoblocco da 1600 KW;
- quadro blindato c.c., con n. 2 interruttori extrarapidi;
- armadio di sezionatori di 1° e 2° fila.

SSE 10

- quadro blindato MT, costituito da un'unità di protezione ARRIVO ENTE FORNITORE, da uno scomparto misure, un'unità di interconnessione MT con la Cabina MT/bt del

Deposito Ausiliario Pilastro, un'unità di protezione per ciascun trasformatore di potenza ed un'unità di protezione del trasformatore dei servizi ausiliari;

- trasformatore in resina per servizi ausiliari da 160 KVA, 15KV/400 V;
- quadro generale di distribuzione in bassa tensione;
- UPS 60KVA con doppia centralina ed autonomia di funzionamento di 30 min. del tipo a cassette;
- caricabatterie 110V cc e convertitore 24V cc;
- n. 2 trasformatori di potenza in resina da 1800 KVA, con doppio secondario, 15KV/590 – 590 V;
- n. 2 gruppi di conversione monoblocco da 1600 KW;
- quadro blindato c.c., con n. 2 interruttori extrarapidi;
- armadio di sezionatori di 1° e 2° fila.

Le caratteristiche elettriche principali delle S.S.E. sono:

- Tensione nominale di alimentazione	15 KV
- Tensione nominale raddrizzata	750 Vcc
- Potenza nominale erogata di ogni convertitore	1600 kW
- Potenza nominale del trasformatore servizi ausiliari	160 kVA
- Corrente nominale interruttori extrarapidi	3000 A
- Tensione di alimentazione servizi ausiliari	110-24Vcc 380-220 Vca

Le S.S.E. sono previste normalmente impresenziate, comandate e controllate dal Posto Centrale di Controllo, o attraverso i posti di controllo computerizzati in S.S.E..

Ogni S.S.E. nel suo complesso avrà un'emissione in termini di livello acustico compatibili con i livelli consentiti e relativi alla zonizzazione acustica.

In tutte le S.S.E. sono previsti sistemi antintrusione, di rilevamento fumi e incendio.

Le S.S.E. lungo linea, ad eccezione della SSE 05, saranno ubicate in idoneo fabbricato da realizzarsi ex novo.

5.1 EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

E' previsto che gli elementi che rappresentano una possibile fonte di interferenza elettromagnetica (per esempio: trasformatori, raddrizzatori, interruttori e sezionatori, motori e generatori elettrici, bobine, ecc.) abbiano emissioni tali e distanze di rispetto, da rientrare nei limiti di esposizione per inquinamenti di natura fisica relativamente all'ambiente esterno ed abitativo, imposti dalle leggi e normative vigenti, e non interferire con altri tipi di attrezzatura elettronica che potrebbero essere localizzati vicino alla linea. Tutto questo in conformità alle normative vigenti, ai Decreti, Delibere, e Ordinanze Ministeriali per le emissioni elettromagnetiche per gli impianti.

Nelle SSE 02, SSE06, SSE 08, SSE 09 ed SSE 10, laddove la DPA non risulta contenuta all'interno dell'area esterna della SSE opportunamente recintata, è stato previsto un sistema schermante appositamente progettato per la schermatura di campi elettromagnetici da 0 Hz a 150 kHz, realizzato con tessuto metallico flessibile spesso 0,73 mm in trama ed ordito, protetto dalla corrosione e rivestimento con alluminio spesso 150 µm su entrambi i lati, finalizzato al rispetto dell'obiettivo di qualità di $B \leq 3 \mu T$ (D.P.C.M. 8/7/2003), verificato secondo norma CEI 211-6, senza aggiunta di ulteriori elementi conduttivi e/o placcato con elementi elettroconduttivi ed equipotenziali.

La schermatura sarà in adesione a pareti/pavimento in corrispondenza delle sorgenti di campi elettromagnetici, come riportato negli elaborati B381-D-B05-IAE-XXX-PP-01-B – SSE 02, B381-D-E03-IAE-XXX-PP-01-B – SSE 06, B381-D-F05-IAE-XXX-PP-01-B – SSE 08, B381-D-F08-IAE-XXX-PP-01-B – SSE 09 e B381-D-F12-IAE-XXX-PP-01-B – SSE 10.

6. SISTEMA DI ALIMENTAZIONE DELLA TRAZIONE ELETTRICA

Il Sistema di alimentazione della Trazione Elettrica prevede la suddivisione della Linea di Contatto (ove prevista) in sezioni elettricamente separate per mezzo di isolatori di sezione. Ciascuna zona sarà alimentata in bilaterale da due SSE adiacenti. In corrispondenza di ogni isolatore di sezione, un sezionatore del tipo motorizzato, normalmente aperto, sarà in grado di riconfigurare il sistema di alimentazione in caso di

fuori servizio e/o manutenzione di ciascuna SSE, in modo tale che le SSE adiacenti possano sobbarcarsi l'intero carico di trazione.

E' questa la condizione più gravosa dal punto di vista elettrico sia per quanto riguarda il dimensionamento del gruppo trasformatore/raddrizzatore di ciascuna SSE (deve poter sostenere il carico di un'intera tratta normalmente alimentata in bilaterale) sia per la Linea di Contatto (la caduta di tensione deve essere contenuta entro i limiti previsti dalle norme considerando il numero totale dei veicoli presenti in linea). Anche in caso di fuori servizio della SSE di Deposito, lo stesso potrà essere alimentato dalla SSE di Linea più vicina, mediante la chiusura di un sezionatore motorizzato all'ingresso del Deposito.

7. SISTEMA DI ALIMENTAZIONE IN BASSA TENSIONE

Con riferimento allo schema di principio della distribuzione bassa tensione le sottostazioni sono inserite in una configurazione MT in grado di garantire un'alta affidabilità e continuità. In ogni sottostazione tutte le utenze di bassa tensione sono alimentate da un trasformatore MT/BT. La sezione di distribuzione BT è costituita da un quadro di distribuzione generale al quale sono collegati gli impianti BT, sia per la stessa sottostazione, sia quelli relativi alle utenze di linea (QEF Quadri elettrici di fermata).

Il quadro di distribuzione generale è diviso in due sezioni: la prima sezione, detta sezione normale, collegata al trasformatore dei servizi ausiliari, alimenta tutte le utenze che in caso di mancanza tensione MT possono essere senza tensione (illuminazione e forza motrice non necessaria per situazioni di emergenza) ed i quadri elettrici di fermata (sezione normale); la seconda sezione, detta sezione di emergenza, è alimentata da UPS con autonomia 30 min (gruppo di continuità con uscita in corrente alternata) per l'alimentazione in continuità degli impianti non di sistema che necessitano l'alimentazione senza soluzione di continuità, per esempio illuminazione di emergenza, rilevazione incendi, antintrusione, nonché per l'alimentazione in continuità della relativa sezione dei quadri elettrici di fermata e dei posti periferici del sistema SCADA.

La sezione di emergenza per ogni sottostazione alimenta anche un carica batterie (gruppo di continuità con uscita in corrente continua) per l'alimentazione in continuità delle logiche di funzionamento, delle protezioni e delle segnalazioni delle cabine di stazione e delle sottostazioni.

In caso di mancanza della rete di fornitura, con la riconfigurazione della linea MT di interconnessione si garantisce il ripristino dell'alimentazione in tempi contenuti. La sezione di emergenza del QGBT è anche alimentata da una fornitura ENEL in bassa tensione, che subentra in caso di fuori servizio del trafo AUX, per garantire la continuità del servizio tramviario.

7.1 IMPIANTO LFM DI FERMATA

Gli impianti elettrici luce e F.M. di linea a servizio delle fermate saranno alimentati dalle singole sottostazioni elettriche, localizzate lungo la linea tranviaria, da rete in bassa tensione 380/220 V - 50 Hz, come si può evincere dallo schema Schema di alimentazione SSE/LFM .

Le linee elettriche, realizzate con cavi tipo FG16R16 0,6/1 KV, saranno suddivise in NORMALE e PERMANENTE in uscita dal QGBT della S.S.E.; saranno posate all'interno di polifore interrate, raggiungendo le fermate e attestandosi ad un quadro elettrico di fermata dotato di comandi e protezioni per l'alimentazione dei circuiti e delle utenze della fermata stessa (obliteratrici, distributori biglietti, sistemi di telecomunicazione, impianti d'allarme, apparati IS, sezionatori di linea, predisposizione dell'alimentazione per il riscaldamento scambi, illuminazione esterna generale e d'emergenza).

Gli allarmi e le segnalazioni d'interruttori aperti confluiranno nel concentratore di fermata e quindi saranno segnalati ad un sistema di supervisione situato nel PCC.

La rete di alimentazione NORMALE e PERMANENTE delle utenze FM si dipartirà dal Quadro di Fermata e sarà costituita da più circuiti monofase e trifase con neutro singolarmente protetti.

Le reti dovranno essere realizzate con cavi tipo FG16OR16 posti in opera in tubo interrato ad una profondità di cm 50. Le giunzioni e le derivazioni dovranno essere eseguite in scatola stagna IP 67 o pozzetto di ispezione.

Saranno installate due prese di tipo CEE interbloccate, grado di protezione non inferiore ad IP67, realizzate in materiale isolante con fusibili di protezione, rispettivamente 3x16A 400V e 2x16A 230V alloggiate nel vano quadro di fermata, e due prese di tipo CEE interbloccate, grado di protezione non inferiore ad IP67, realizzate in materiale isolante con fusibili di protezione, 2x16A 230V alloggiate nel vano armadio TLC.

I quadri elettrici di fermata avranno caratteristiche tipo ANS di forma 2 e saranno alloggiati in apposito carter realizzato sulla banchina.

La carpenteria del quadro sarà del tipo modulare in lamiera di acciaio 20/10 con grado di protezione non inferiore ad IP55.

Il quadro sarà diviso in due scomparti separati, l'uno per il settore continuità e l'altro per il settore ordinario.

Sarà prevista una singola protezione magnetotermica differenziale per ogni linea in uscita alimentante le utenze luce e f.m..

8. 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;
- Circuito di terra protezione della linea di contatto (solo se presente) assimilabile alla terra di struttura;
- Terra Comune Esterna, costituita dalle strutture metalliche interrate 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.

Si rimanda per maggiori dettagli all'elaborato B381-D-X00-EGG-XXX-CO-02-B – Criteri per la messa a terra.

9. PROVVEDIMENTI CONTRO I PERICOLI DA ELETTROCUZIONE

9.1 DIMENSIONAMENTO TERMICO PER I CONDUTTORI DI TERRA

Per quanto riguarda il dimensionamento termico dei conduttori di terra appartenenti alla SSE, occorre valutare quale sia la situazione più gravosa fra le due di seguito elencate:

- corto circuito lato corrente continua;
- corto circuito lato corrente alternata (B.T.).

I valori di corrente di corto circuito in MT sono tali da non essere dimensionanti da un punto di vista termico per i conduttori di terra.

Occorrerà pertanto considerare le due situazioni di guasto applicando le seguenti formule:

$$A_{Dcc} = \frac{\sqrt{I_{Gcc}^2 \cdot t}}{K} \quad ; \quad A_{Dbt} = \frac{\sqrt{I_{Gbt}^2 \cdot t}}{K}$$

dove:

A_{Dcc} [mm²] = sezione calcolata valutando la corrente di guasto a terra lato c.c. ;

A_{Dbt} [mm²] = sezione calcolata valutando la corrente di guasto a terra lato BT;

I_{Gcc} [A] = corrente di guasto a terra lato corrente continua;

I_{Gbt} [A] = corrente di guasto a terra lato bassa tensione;

t [s] = tempo di eliminazione del guasto;

k = coefficiente che tiene conto delle caratteristiche del materiale che costituisce il conduttore e delle temperature iniziali e finali (per conduttori in rame isolati con cloruro di polivinile si ha $K = 143$).

Normalmente il guasto a terra lato corrente continua risulta essere più gravoso dal punto di vista del dimensionamento termico rispetto al guasto a terra lato bassa tensione; tuttavia possono verificarsi casi in cui, a causa di taglie particolarmente grandi dei trasformatori per i servizi ausiliari, la sollecitazione termica dovuta ad un guasto a terra lato bassa tensione è maggiore della precedente.

Anche per i conduttori di terra appartenenti alle fermate o lungo linea, nelle zone comprese all'interno del cono di caduta, occorre verificare quale sia il caso più gravoso fra il guasto a terra lato corrente continua e lato bassa tensione, tenendo presente che, con buona approssimazione, la corrente di guasto monofase a terra in lontananza dal trasformatore è pari alla metà della corrente di cortocircuito trifase.

Per i conduttori di terra appartenenti alle fermate o lungo linea, nelle zone esterne al cono di caduta, il dimensionamento termico verrà eseguito tenendo conto del solo valore di corrente di cortocircuito dovuto ad un guasto lato bassa tensione.

9.2 COLLEGAMENTI CON LA RETE MT

Normalmente i collegamenti con la rete MT si trovano in corrispondenza delle sottostazioni elettriche, che ricevono o una alimentazione diretta dall'ente distributore di energia, o una o più alimentazioni dalle sottostazioni elettriche adiacenti tramite l'eventuale anello di distribuzione MT interno al sistema tranviario, od entrambe le alimentazioni (ossia dall'ente distributore e dalla/e sottostazioni adiacenti).

I provvedimenti contro i pericoli da elettrocuzione dovuti a guasti lato corrente alternata (rete media tensione) risultano in un corretto dimensionamento degli impianti di terra (reti di terra delle sottostazioni elettriche di conversione).

Si rimanda al paragrafo successivo per la definizione dei criteri di dimensionamento e della relativa metodologia di calcolo, tenendo in considerazione le caratteristiche della rete di alimentazione ENEL in MT, le caratteristiche del sistema di distribuzione in MT del sistema tranviario, le caratteristiche delle apparecchiature installate, il tipo di collegamento a terra degli schermi dei cavi MT ed i valori limite di tensione totale di terra, tensioni di passo e di contatto.

Per il dimensionamento ai fini della sicurezza, questi ultimi valori sono stabiliti dalla norma CEI EN 50522. Per quanto riguarda la tipologia del guasto da considerare per il dimensionamento dell'impianto di terra in corrispondenza delle sottostazioni elettriche, la corrente di guasto monofase a terra è il valore di riferimento.

9.3 CRITERI DI CALCOLO E REQUISITI GENERALI PER LE RETI TERRA DI SSE

L'impianto tranviario oggetto di progettazione è alimentato da n. 10 sottostazioni elettriche, che trasformano e convertono la tensione a 15kV proveniente dalla rete dell'ente fornitore nella tensione continua a 750V di alimentazione della linea di contatto. Il sistema riceve alimentazione a 15kV in corrispondenza della SSE 01, della SSE 07 e della SSE 10; le altre SSE sono interconnesse tramite un anello di distribuzione MT.

I valori delle correnti di corto circuito, sia trifase che monofase a terra, ipotizzati sono i seguenti:

- Corrente di guasto trifase: $IG_{3f} = 12,5kA$
- Corrente di guasto monofase a terra: $IG_{1f} = 200A$ (tenendo anche conto del contributo alla corrente di guasto fornito dai collegamenti in cavo dell'anello MT questo valore deve essere pari a 250A)
- Tempo di interruzione assunto per guasto lato c.a. : 1s (valore cautelativo in quanto il tempo presunto è 370ms).

Al fine di controllare eventuali guasti lato c.c. ed il potenziale presente fra terra di SSE e polo negativo del raddrizzatore (collegato al binario), intervenendo in caso di sopraelevazione della tensione oltre i limiti consentiti, la rete di terra delle SSE è collegata al negativo per mezzo di un dispositivo di limitazione della tensione, secondo quanto riportato nella norma CEI EN 50122-1.

9.4 CRITERI DI PROGETTO E VERIFICA DEGLI IMPIANTI DI TERRA

La presenza, all'interno di ciascuna sottostazione, di un sistema di trasformazione MT/bt richiede la realizzazione di un dispersore di terra adeguato a disperdere la corrente di guasto MT monofase a terra secondo le disposizioni della Norma CEI EN 50522, tenendo conto del tempo d'intervento delle protezioni lato ente fornitore.

Per quanto riguarda la corrente di guasto monofase a terra, si dovrà tenere conto del contributo alla corrente di guasto stessa fornito dai collegamenti in cavo fra una sottostazione e l'altra che costituiscono l'anello di media tensione di distribuzione primaria. Per tale motivo i valori di guasto possono differire da sottostazione a sottostazione a seconda della distanza delle stesse dal punto di consegna nelle varie configurazioni.

Ovviamente per il calcolo della corrente di guasto occorrerà prendere a riferimento il caso peggiore.

I criteri costruttivi del dispersore di terra di SSE 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 potranno essere collegate fra loro attraverso gli schermi dei cavi MT (con eventuali conduttori in parallelo agli schermi) solo se strettamente necessario ai fini del contenimento delle tensioni di passo e contatto.

Normalmente gli schermi saranno quindi collegati a terra da un solo lato, adottando tutte le opportune precauzioni in merito alle tensioni trasferite che si possono manifestare all'estremità isolata.

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 scheri 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.

Il dimensionamento dell'impianto di terra per l'edificio delle SSE in oggetto viene fatto in accordo alla normative citate (in particolare CEI EN 50522) e con le seguenti ipotesi di base:

- la tensione di passo e contatto con massima corrente di guasto a terra non devono superare sia all'interno che all'esterno di sottostazione il valore di 110 V (CEI EN 50522 Fig.4);
- la scelta di tale valore è dovuta al fatto che le protezioni intervengono in un tempo di 1,0 secondo, corrente di guasto 250 A.

La procedura utilizzata per progettare e realizzare gli impianti di terra è la seguente:

- determinazione della massima corrente di guasto a terra;
- misura della resistività del terreno nell'area interessata dall'impianto;
- progetto dell'impianto tenendo conto dei seguenti criteri:
 - utilizzo della massima area per la posa della corda di terra;
 - garanzia di una adeguata protezione all'interno ed attorno il perimetro dell'edificio. All'esterno di quest'ultimo, eventuali collegamenti fra maglia di SSE e masse metalliche esterne (o altri dispersori di terra) possono costituire grave pericolo in quanto possono trasferire a distanza la tensione totale di terra dell'impianto. Per tale motivo, occorrerà verificare l'esistenza di possibili tubazioni metalliche interrato che attraversano l'area di SSE e prendere di conseguenza adeguati provvedimenti (ad esempio sezionamento della tubazione in corrispondenza dei punti di attraversamento, o adozione di superfici isolanti con asfaltatura o altre soluzioni);
- dispersori di terra verticali di dimensioni adeguate saranno posti lungo il perimetro della rete di terra ed in punti particolari della stessa in modo da aumentare la capacità disperdente. Posti in pozzetti ispezionabili, consentiranno le previste misure periodiche;
- disposizione di un dispersore di terra orizzontale a profondità opportuna;

- le giunzioni corda-corda dovranno essere effettuate da idonei connettori a compressione;
- disposizione sotto il pavimento del locale di sottostazione di una maglia di acciaio elettrosaldato al fine di garantire una migliore equipotenzialità. Tale maglia avrà magliature 20x20cm, sarà posizionata a circa 10 cm dalla soletta. Sia i ferri di armatura che maglia disperdente e rete elettrosaldato saranno collegati al collettore di terra;
- i componenti dell'impianto di terra dovranno essere tali da sopportare 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;
- internamente all'edificio di sottostazione, lungo il suo perimetro, sarà presente un collettore di terra;
- almeno quattro collegamenti dovranno essere previsti fra collettore e dispersore, realizzati attraverso corde in rame posate fra il dispersore stesso ed il collettore all'interno della sottostazione. I punti di ingresso in sottostazione di tali collegamenti dovranno essere protetti adeguatamente contro l'ingresso d'acqua;
- dovranno essere presenti anche collegamenti ispezionabili in corrispondenza delle connessioni con le armature in ferro dell'edificio e con la maglia equipotenziale.

Dopo il posizionamento della rete di terra e prima del suo interrimento si provvederà ad una verifica della resistenza risultante della rete di terra e, se necessario, si apporteranno le modifiche al progetto. Ad opera ultimata, completo delle strutture e attrezzature, si procederà alle seguenti misure:

- misura della resistenza di terra;
- misura della tensione di passo e di contatto nell'interno dell'edificio cui compete la rete di terra;
- misura della tensione di passo e di contatto all'esterno dell'edificio cui compete la rete di terra e nelle zone limitrofe.

Le misure devono essere fatte, per quanto possibile, con l'impianto nelle ordinarie condizioni di funzionamento. Se non si rilevano valori pericolosi delle tensioni di passo e di contatto l'impianto sarà ritenuto idoneo, in caso contrario si adotteranno tutti i provvedimenti locali necessari correttivi a riportare a valori accettabili (110V) i valori di tensione.

9.4.1 METODO DI MISURA DELLA RESISTENZA DI TERRA CON METODO VOLT-AMPEROMETRICO

I sistemi di misura della resistenza di terra sono numerosi e le tecniche sono ormai consolidate e in uso da molto tempo. Il metodo più diffuso e consigliato dalle norme CEI è il metodo della caduta di tensione o volt-amperometrico.

Il metodo prevede di iniettare una corrente alternata (la corrente continua non viene utilizzata perché essendo il terreno un conduttore di natura elettrolitica le misure potrebbero essere viziate da forze elettromotrici di tipo elettrolitico o da correnti continue vaganti) attraverso i dispersori in misura e di permetterne la richiusura attraverso un dispersore ausiliario.

La correttezza della misura dipende dalla posizione che assumono il dispersore ausiliario e l'elettrodo di tensione fra di loro e rispetto al dispersore in misura. Il dispersore ausiliario deve essere posto in un punto del terreno sufficientemente lontano rispetto a quello in prova in modo che la misura non sia viziosa dall'influenza reciproca. Si può ritenere con buona approssimazione che ad una distanza di circa cinque volte la lunghezza del dispersore o cinque volte la diagonale se si considera una rete di dispersori cessi la zona di influenza fra i dispersori. L'andamento che assume la curva relativa ai potenziali del terreno in queste condizioni è quella della figura seguente;

Tale andamento è giustificato dal fatto che la sezione del "conduttore terreno" che è attraversato dalla corrente di prova non è costante in tutti i suoi punti. La sonda di tensione deve essere conficcata in un punto dove la resistenza può essere considerata trascurabile e il potenziale uguale a zero.

Lo schema di collegamento sopra rappresentato presuppone un'alimentazione dalla rete tramite un trasformatore di sicurezza e l'impiego di un voltmetro e di un amperometro.

Innanzitutto, prima di far circolare corrente nel circuito di misura, occorre verificare che il voltmetro non indichi alcuna tensione dovuta a correnti di dispersione estranee al circuito di prova la cui origine, se ne fosse rilevata la presenza, dovrà essere individuata ed eliminata. Si alimenta quindi con un generatore facendo circolare una corrente nel circuito di prova tra il dispersore in misura e il dispersore ausiliario.

Se si indica con I la corrente che circola nel circuito e con UE la tensione indicata dal voltmetro, applicando la legge di Ohm si può calcolare la resistenza di terra RE .

9.5 COLLEGAMENTI CON LA RETE B.T.

I collegamenti con la rete B.T. si trovano in corrispondenza delle fermate della linea tranviaria, che sono alimentate mediante il quadro di distribuzione B.T. ubicato nelle sottostazioni elettriche facenti parte del sistema tranviario.

L'alimentazione viene realizzata mediante doppio cavo, uno derivato da sezione normale e l'altro derivato da sezione continuità.

Il neutro del cavo di arrivo, proveniente dalla sottostazione del sistema di trazione, deve essere messo a terra solo in corrispondenza della sottostazione stessa, per evitare sia trasferimenti di tensione fra terra di sottostazione e parti accessibili di fermata, sia collegamenti fra diversi dispersori che potrebbero alterare il campo elettrico preesistente. Non dovrà quindi in tal caso essere presente nel cavo di collegamento nessun conduttore di protezione (PE), e saranno utilizzati interruttori differenziali in corrispondenza della sottostazione, che alimenterà le fermate con sistema TT.

La terra di fermata sarà sempre unica, senza distinzione alcuna fra terra del quadro di distribuzione e quella di banchina, ed occorrerà evitare collegamenti con la terra di SSE tramite l'eventuale schermo del cavo di arrivo, che dovrà essere collegato a terra solo ad un'estremità, ed adeguatamente isolato e protetto all'altra estremità.

Si rileva che un difetto di isolamento del neutro porterebbe alla possibilità di circolazione indesiderata di corrente di ritorno nel conduttore di neutro stesso in caso di intervento del dispositivo di limitazione della tensione.

Inoltre si deve considerare che il neutro di arrivo può assumere in fermata la tensione totale di terra di SSE in caso di guasto, e che i circuiti B.T. devono quindi sopportare tale tensione accidentale.

La fermata deve avere un dispersore di terra con una resistenza di terra di valore coordinato con la tipologia delle protezioni prevista in sottostazione (normalmente si può prendere a riferimento, in maniera cautelativa, il valore base di 10Ω , prescrivendo l'uso di interruttori differenziali da 0,3 A nel quadro di distribuzione B.T. di sottostazione, quindi con un adeguato coefficiente di sicurezza. Tuttavia valori più elevati, dell'ordine dei 50Ω , possono essere accettati in aree ove venga rilevata una elevata resistività del terreno.

La terra di fermata (e quindi tutte le parti ad essa collegate, siano o no all'interno del cono di caduta) è collegata al circuito di ritorno tramite dispositivo di limitazione della tensione.

Per i collegamenti a terra delle apparecchiature:

- le utenze, apparecchiature e strutture metalliche ubicate in banchina, alimentate dal relativo quadro di distribuzione di fermata, saranno collegate al dispersore di cui sopra;
- i collegamenti a terra delle apparecchiature saranno effettuati con conduttori PE.

Per quanto riguarda le apparecchiature lungo linea:

- in generale si dovrà cercare di mantenere fuori dal cono di caduta tutte le utenze, apparecchiature e strutture metalliche, in modo da evitare la protezione con collegamento a rotaia. Eventualmente in alcuni casi è possibile adottare l'interposizione di barriere fisiche per elementi di relativamente piccole dimensioni, sempre allo scopo di evitare il collegamento a rotaia;
- le utenze elettriche a singolo isolamento (classe I), ubicate al di fuori del cono di caduta della linea aerea, sono collegate normalmente con sistema TN, ossia messe a terra attraverso il conduttore di protezione PE proveniente dalla fonte di alimentazione. E' da evitare in questi casi il collegamento di queste apparecchiature al circuito di terra di protezione;

- le utenze elettriche a singolo isolamento (classe I), ubicate all'interno del cono di caduta della linea aerea, sono collegate di circuito di terra di protezione, a sua volta collegato a rotaia tramite VLD;
- le utenze elettriche completamente a doppio isolamento (classe II) non sono collegate a terra né tramite conduttore PE né tramite terra locale. Se la classe II lato B.T. garantisce almeno un livello di isolamento lato c.c. (corrispondente alla tensione nominale lato c.c.), il pericolo di trasferimento di tensione lato B.T. in caso di guasto c.c. non sussiste (essendo il conduttore PE, come sopra rimarcato, non presente, ed avendo i conduttori di fase e neutro una tensione di tenuta sufficiente). Per tal motivo il collegamento a rotaia tramite VLD, anche nel caso le apparecchiature rientrino all'interno del cono di caduta, viene omissis. Si sottolinea comunque che tale soluzione va applicata a piccole apparecchiature quali semafori, paline, segnali ecc...
- in generale, le apparecchiature alimentate con sistema TN non dovranno mai essere collegate al circuito di terra di protezione, in quanto così facendo si collegherebbe il neutro del sistema di distribuzione ad un sistema di terra collegato a rotaia tramite VLD;
- inoltre, tutte le apparecchiature da proteggere con collegamento a rotaia contenenti parti appartenenti al sistema B.T. non dovranno avere un collegamento diretto ma solo tramite VLD, per evitare un trasferimento di corrente di ritorno nel sistema di distribuzione che sarebbe immediato in caso di guasto terra-neutro lato B.T. (non sempre rilevato dalle protezioni). Inserendo il dispositivo VLD per avere tale trasferimento dovrebbe verificarsi un doppio guasto (anche se non simultaneo);
- le apparecchiature contenenti sia parti e/o componenti relative al sistema di trazione in c.c., sia parti e/o componenti appartenenti al sistema di alimentazione B.T. (ad esempio sezionatori motorizzati afferenti alla linea di contatto), dovranno essere protette, in funzione delle loro caratteristiche costruttive e delle caratteristiche di isolamento di entrambi i circuiti e/o componenti in c.c. ed in B.T.:

- nel caso l'armadio (o il telaio metallico interno comune alla parte c.c. e B.T.), venga protetto con collegamento a rotaia è previsto il collegamento non diretto, ma tramite VLD;
- per la messa a terra del circuito B.T. non deve essere utilizzato mai un conduttore PE collegato all'armadio o al telaio;
- devono essere utilizzati circuiti e componenti B.T. a doppio isolamento;
- per l'alimentazione dei circuiti B.T. si useranno interruttori differenziali (valore tipico di sensibilità 300mA).

9.6 SISTEMA DI TRAZIONE IN CORRENTE CONTINUA

9.6.1 CIRCUITO DI RITORNO DI PIENA LINEA

Il circuito di ritorno di piena linea, essendo isolato da terra, può assumere un potenziale rispetto a terra in funzione della quantità e distribuzione dei carichi presenti e della distanza dalle sottostazioni di alimentazione.

Tuttavia tale potenziale deve mantenersi entro i limiti di sicurezza stabiliti dalla norma EN 50122-1, sia in condizioni normali di esercizio (quindi anche con una sottostazione fuori servizio) sia in condizioni di guasto (corto-circuito linea-rotaia).

Per tale motivo le protezioni previste (dispositivi per la limitazione della tensione o collegamento diretto a rotaia) collegate fra circuito di ritorno e terra (sia essa terra di sottostazione, fermata o lungo linea) hanno una funzione protettiva esclusivamente dedicata a guasti lato c.c. fra linea di contatto e strutture/apparecchiature/utenze o ubicate nel cono di caduta della linea di contatto, o contenenti parti e/o componenti relative al sistema di trazione (quindi non riferita a possibili sovratensioni del binario, in quanto queste sono da considerarsi entro i limiti di sicurezza).

9.6.2 APPARECCHIATURE CONTENENTI PARTI O COMPONENTI RELATIVE AL SISTEMA DI TRAZIONE C.C.

In generale gli elementi di supporto accessibili della linea di contatto, in caso di singolo isolamento, dovranno essere collegati ad un circuito di terra di protezione.

In caso di doppio isolamento, questo provvedimento non è necessario; occorre però che le apparecchiature o supporti (tipicamente pali adibiti all'alimentazione della linea e armadi sezionatori) che contengono o supportano risalite cavi o componenti in c.c. (anche se definibili ad isolamento rinforzato) vengano protette con collegamento a rotaia per garantire un percorso di ritorno alla corrente di guasto (sia che si trovino all'interno o all'esterno del cono di caduta della linea di contatto).

Si adotterà quindi il provvedimento di collegare l'apparato a rotaia o direttamente (con isolamento completo da terra), o tramite dispositivo di protezione VLD.

9.6.3 SCELTA DEL DISPOSITIVO DI LIMITAZIONE DELLA TENSIONE

E' previsto un dispositivo nelle seguenti situazioni:

- nelle sottostazioni di trazione, collegato fra il negativo di gruppo di piena linea e la terra;
- nelle fermate, collegato fra la terra di fermata ed il binario;
- lungo linea, a protezione di apparecchiature metalliche od elettriche ubicate nel cono di caduta della linea aerea;
- lungo linea, a protezione di apparecchiature elettriche contenenti anche parti relative al sistema di trazione;
- lungo linea, collegato fra il circuito di terra di protezione ed il binario.

I requisiti cui deve soddisfare detto dispositivo sono principalmente i seguenti:

- tempi di commutazione in chiusura, che devono soddisfare la tabella riportata dalla norma EN 50122-1
- auto-ripristino automatico entro 10 s;
- tenuta al corto-circuito in funzione delle caratteristiche dell'impianto;
- minimizzazione della dispersione di corrente di ritorno verso terra attraverso il dispositivo stesso.

Per quanto riguarda gli ultimi due casi lungo linea, relativi ad apparecchiature contenenti anche parti relative al sistema di trazione, o a supporto di esse, è previsto il collegamento

diretto a rotaia per apparecchiature singole, sempre che queste siano isolate da terra, e non contengano apparecchiatura facente parte del sistema B.T..

9.6.4 COLLEGAMENTI PROTETTIVI A TERRA/ BINARIO

Si deve garantire in ogni caso la protezione di tutte le strutture conduttrici che potrebbero trovarsi accidentalmente in tensione in caso di caduta della linea di contatto o di cedimento di un isolamento lato T.E., secondo quanto contemplato dalla Norma CEI EN50122-1.

La descrizione dei provvedimenti protettivi di strutture portanti apparecchiature elettriche, nonché di strutture di banchina di stazione si può trovare ai paragrafi precedenti, mentre per quanto riguarda i supporti e gli elementi relativi alla linea di contatto si rimanda a quanto detto sopra.

Per strutture non portanti apparecchiature elettrica si applicherà sempre la norma CEI EN 50122-1, evidenziando che per strutture di piccole dimensioni non è necessario alcun provvedimento.

In caso di presenza di circuito di terra di protezione, sarà possibile collegare le strutture non portanti apparecchiatura elettrica a tale circuito.

10. 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.

In particolare, le specifiche progettuali relative ai sottosistemi e componenti saranno strettamente correlate e conformi ai requisiti enunciati in questo paragrafo

10.1 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.

10.2 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 è consigliabile avere un valore iniziale obiettivo in fase costruttiva maggiore (solitamente 5 volte il valore che si deve mantenere in esercizio).

10.3 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.

10.3.1 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.

10.3.2 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.

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

La connessione al circuito di ritorno è prevista 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.

10.3.4 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.

10.3.5 POZZETTI PER ALLOGGIAMENTO DISPOSITIVI DI LIMITAZIONE DELLA TENSIONE

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

10.3.6 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.

10.4 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.

10.4.1 TERRA DI STRUTTURA

Come già detto ai paragrafi precedenti, la Terra di Struttura è presente ove esistano strutture come gallerie o viadotti, ovvero nel Sottopasso Tangenziale, Ponte sul Reno, Ponte FS e Sovrapasso FS. Concettualmente però 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.

10.4.2 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 i collegamenti 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).

10.4.3 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. Nella linea oggetto di progettazione sono stati individuati il Ponte sul Reno ed il Ponte FS.

All'ingresso ed uscita dei 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.

11. 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 interrate 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.

11.1 MISURE LONGITUDINALI E TRASVERSALI AL TRACCIATO

Dovranno essere effettuate misure di differenza di potenziale ogni 100 mt, in punti individuati 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.

11.2 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.

Si rimanda per maggiori dettagli all'elaborato B381-D-X00-EGG-XXX-CO-03-B –
Provvedimenti per il contenimento degli effetti delle correnti vaganti.