

DIVISIONE TECNOLOGIE
Il Responsabile

Roma, 24 OTT. 1995

LTC **E-0252**

AREA INGEGNERIA E COSTRUZIONI
VICE DIREZIONE COSTRUZIONI
DIVISIONE DIREZIONE LAVORI

SEDE

Oggetto: Norma Tecnica LTC n° 728, Edizione sperimentale Settembre 1995
"Messa a terra negli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima), in particolare di segnalamento e di telecomunicazione, sulle linee di trazione elettrica a corrente continua a 3000 V".

All: n° 1

Si trasmette la Norma Tecnica in oggetto, redatta sulla base dell'ultima edizione della Norma CEI 9-6/agosto 1992.

La presente Norma sostituisce integralmente quella allegata alla nota S.SG./A.02/00880 del 10/02/1988 per la messa a terra negli impianti di sicurezza e segnalamento e le prescrizioni relative a tutti gli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) contenute nell'Istruzione C3 Ed. 1970 *"Istruzione per il circuito di ritorno TE e per i circuiti di terra sulle linee elettrificate a c.c. 3 kV"*.

Rimane in vigore la circolare IE n°. 41-43 276/611 dell'08/07/1981 *"Circuito di terra di protezione di piena linea"*.

La Norma, oltre che richiamare l'applicazione delle Norme CEI ed antinfortunistiche vigenti, sottolinea l'osservanza di alcune prescrizioni utili per una efficace protezione contro le sovratensioni.

Considerate le importanti innovazioni introdotte si raccomanda la sollecita diffusione e applicazione delle presenti Norme, al fine di raccogliere eventuali osservazioni e/o suggerimenti, da trasmettere a questa Sede anche per le vie brevi (Sig. Mario LORETI Tel. 22519, Fax 24289), per la stesura dell'edizione definitiva.

Paolo RIPAMONTI

11/95

Pizzelli

NORMA TECNICA I/TC N° 728

**MESSA A TERRA NEGLI IMPIANTI DI CATEGORIA
0 (ZERO) E I (PRIMA), IN PARTICOLARE DI
SEGNALAMENTO E DI TELECOMUNICAZIONE,
SULLE LINEE DI
TRAZIONE ELETTRICA A CORRENTE CONTINUA A 3000 V**

Edizione sperimentale Settembre 1995

INDICE

PREMESSA	5
CAPITOLO I - GENERALITÀ	7
Sezione 1	7
Oggetto e scopo	7
1.1.01 Oggetto e scopo delle norme.....	7
1.1.02 Campo di applicazione.....	7
Sezione 2	7
Definizioni	7
1.2.01 Zona di rispetto TE	7
1.2.02 Circuito di terra di protezione TE	7
1.2.03 Sistema elettrico di trazione (Art. 1.2.06 - Norma CEI 9-6)	7
1.2.04 Circuito di trazione (Art. 1.2.11 - Norma CEI 9-6).....	7
1.2.05 Circuito di ritorno TE	8
1.2.06 Linea di trazione elettrica (Art. 1.2.13 - Norma CEI 9-6).....	8
1.2.07 Valvola di tensione (Art. 1.2.32 - Norma CEI 9-6).....	8
1.2.08 Diodo di protezione (Art. 1.2.33 - Norma CEI 9-6).....	8
1.2.09 Scaricatore (di sovratensioni) (Art. 1.2.34 - Norma CEI 9-6).....	8
1.2.10 Classificazione dei sistemi secondo la loro tensione nominale (Art. 22.1 - Norma CEI 64-8).....	8
1.2.11 Classificazione dei sistemi secondo il loro modo di collegamento a terra (Art. 312.2 - 312.2.1 - 312.2.2 - 312.2.3 - Norma CEI 64-8).....	9
1.2.12 Parte attiva (Art. 23.1 - Norma CEI 64-8).....	9
1.2.13 Massa (Art. 23.2 - Norma CEI 64-8)	9
1.2.14 Massa estranea (Art. 23.3 - Norma CEI 64-8)	9
1.2.15 Contatto diretto (Art. 23.5 - Norma CEI 64-8)	9
1.2.16 Contatto indiretto (Art. 23.6 - Norma CEI 64-8)	9
1.2.17 Parti simultaneamente accessibili (Art. 23.10 e commento - Norma CEI 64-8).....	10
1.2.18 Parti a portata di mano (Art. 23.11 - Norma CEI 64-8)	10
1.2.19 Terra (Art. 24.1 - Norma CEI 64-8).....	10
1.2.20 Dispersore (Art. 24.2 - Norma CEI 64-8)	10
1.2.21 Resistenza di terra (Art. 24.3 - Norma CEI 64-8)	10
1.2.22 Impianti di terra elettricamente indipendenti (Art. 24.4 - Norma CEI 64-8)	10
1.2.23 Conduttore di protezione (Art. 24.5 - Norma CEI 64-8).....	10
1.2.24 Conduttore di terra (Art. 24.7 e commento - Norma CEI 64-8)	11
1.2.25 Collettore (o nodo) principale di terra (Art. 24.8 - Norma CEI 64-8).....	11
1.2.26 Collettore di terra (in zona di rispetto TE).....	11
1.2.27 Collegamento equipotenziale (Art. 24.9 - Norma CEI 64-8).....	11
1.2.28 Conduttore equipotenziale (Art. 24.10 - Norma CEI 64-8)	11
1.2.29 Impianto di terra (Art. 24.11 - Norma CEI 64-8).....	11
1.2.30 Linea di telecomunicazione (Art. 1.3.20 - Norma CEI 103-10).....	11
1.2.31 Elementi conduttori della linea di telecomunicazione (Art. 1.3.21 - Norma CEI 103-10)	11

CAPITOLO II - ESECUZIONE DEGLI IMPIANTI DI TERRA IN ZONA DI RISPETTO TE.....	12
Sezione 1.....	12
Criteri generali.....	12
2.1.01 Indipendenza delle masse degli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) dal circuito di terra di protezione TE.....	12
2.1.02 Coesistenza di più impianti di terra.....	12
2.1.03 Masse simultaneamente accessibili.....	12
2.1.04 Prescrizione a salvaguardia degli impianti di segnalamento.....	12
2.1.05 Trasferimenti di potenziali.....	12
2.1.06 Riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi.....	12
2.1.07 Protezioni contro le corrosioni elettrolitiche.....	12
Sezione 2.....	13
Dimensionamenti.....	13
2.2.01 Dimensionamento dei conduttori di protezione e di terra.....	13
2.2.02 Dimensionamento della sbarra collettiva di terra.....	13
Sezione 3.....	13
Modalità di esecuzione dei collegamenti per la messa a terra.....	13
2.3.01 Collegamenti di terra.....	13
2.3.02 Utilizzo della sbarra collettiva di terra.....	13
2.3.03 Impianto di terra separato.....	13
Sezione 4.....	14
Prescrizioni particolari.....	14
2.4.01 Canalette, cassette di sezionamento, piantane e apparecchiature similari di materiale isolante.....	14
2.4.02 Canaletta metallica per cavi.....	14
2.4.03 Guaine ed armature metalliche di cavi di energia.....	14
2.4.04 Guaine ed armature metalliche di cavi di telecomunicazione.....	14
2.4.05 Casse di manovra (e apparecchiature similari).....	15
2.4.06 Trasmissioni a semplice e doppio filo.....	15
2.4.07 Messa a terra degli scaricatori dei sistemi di categoria 0 (zero) e I (prima).....	15
2.4.08 Protezione contro le sovratensioni per contatti fra circuiti a tensione nominale diversa (Art. 2.3.03 - Norma CEI 11-1).....	16
CAPITOLO III - ESECUZIONE DEGLI IMPIANTI DI TERRA AL DI FUORI DELLA ZONA DI RISPETTO TE.....	16
Sezione 1.....	16
Criteri generali.....	16
3.1.01 Adozione della normativa CEI.....	16
Sezione 2.....	16
Dimensionamenti.....	16
3.2.01 Dimensionamento dei conduttori di protezione.....	16
3.2.02 Dimensionamento dei conduttori di terra.....	17

3.2.03 Dimensionamento del collettore di terra.....	17
3.2.04 Valore della resistenza di terra dell'impianto di terra.....	17
Sezione 3.....	18
Prescrizioni particolari.....	18
3.3.01 Indipendenza dell'impianto di terra dal "circuito di terra di protezione TE" e dal "circuito di ritorno TE".....	18
3.3.02 Canalette, cassette di sezionamento, piantane e apparecchiature similari di materiale isolante	18
3.3.03 Canaletta metallica per cavi.....	18
3.3.04 Guaine ed armature metalliche di cavi.....	18
3.3.05 Armatura del cavo a 1000 Vca di alimentazione del blocco automatico.....	18
APPENDICE A	20
Zona di rispetto TE.....	20
Definizioni.....	20
Criteri di progetto dell'impianto di terra delle linee di trazione elettrica.....	20
APPENDICE B	22
Collegamenti equipotenziali.....	22
Riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi	22
Esempio n. 1: Sistema di rilevamento delle temperature dei cuscinetti dei rotabili (sistema RTB).....	22
Esempio n. 2: Circuito di relazione del Blocco Automatico.....	23

PREMESSA

Sulle linee di trazione elettrica (TE), i dimensionamenti e le modalità di esecuzione dei collegamenti per la messa a terra negli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima), in particolare di segnalamento e di telecomunicazione, hanno lo scopo, in caso di tensionamento per guasto del circuito di alimentazione TE, di provocare l'intervento dei sistemi di protezione in sottostazione, secondo il metodo di protezione denominato "protezione mediante interruzione automatica dell'alimentazione".

Questo metodo di protezione è quello più comunemente utilizzato contro i contatti indiretti, contro i contatti cioè di una persona con una massa che sia in tensione per un guasto: esso è inoltre il solo ammesso per impianti elettrici alimentati da sistemi di categoria superiore alla I, come quello relativo alla trazione elettrica a corrente continua a 3000 V.

Altri metodi di protezione contro i contatti indiretti possono venire adottati negli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) e sono:

- uso di componenti elettrici di Classe II o con isolamento equivalente (Art. 413.2 - Norma CEI 64-8);
- separazione elettrica (Art. 413.5 - Norma CEI 64-8);
- bassissima tensione SELV oppure PELV. (Art. 411.1 - Norma CEI 64-8).

Quest'ultimi metodi di protezione non richiedono la messa a terra di tali impianti, purchè naturalmente tutti i loro componenti abbiano un isolamento adeguato, oltre che alla propria alimentazione, al sistema di categoria superiore, come è quello relativo alla trazione elettrica a corrente continua a 3000 V, nel cui ambito possono venire a trovarsi, oppure, siano protetti con isolamenti o con involucri o con barriere aventi caratteristiche tali da assicurare il grado di protezione richiesto.

Nell'Appendice A viene riportata la definizione della "Zona di rispetto TE", fondamentale per la corretta scelta dell'impianto di terra in prossimità della linea di trazione elettrica, dove si considera possibile il pericolo di un contatto accidentale con i conduttori della TE sotto tensione.

Nell'Appendice B sono trattati due argomenti di particolare importanza per la sicurezza e la funzionalità degli impianti:

- **Collegamenti equipotenziali:** come è noto la pericolosità di una massa in tensione (a causa di un guasto) non dipende tanto dal potenziale assunto da quella massa, quanto dalla differenza di potenziale che si crea tra la massa e le altre masse e le masse estranee simultaneamente accessibili.
- **Riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi:** devono essere adottate adeguate misure per evitare che componenti degli impianti o delle apparecchiature, in particolare IS e TLC, abbiano riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi.

Per quanto non espressamente detto nella presente Norma si rimanda all'osservanza delle Norme CEI e antinfortunistiche vigenti, in particolari delle seguenti:

Norma CEI 9-6/1992	"Impianti di messa a terra relativi ai sistemi di trazione elettrica"
Norma CEI 11-1/1987	"Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica. Norme generali"

<i>Norma CEI 11-8/1989</i>	<i>"Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Impianti di terra"</i>
<i>Norma CEI 11-17/1992</i>	<i>"Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica: Linee in cavo"</i>
<i>Norma CEI 64-8/1992</i>	<i>"Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua"</i>
<i>Norma CEI 64-12/1993</i>	<i>"Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario"</i>
<i>Norma CEI 103-1/12 Febbraio 1990</i>	<i>"Impianti telefonici interni - Parte 12: Protezione degli impianti telefonici interni"</i>
<i>Norma CEI 103-6/1991</i>	<i>"Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto"</i>
<i>Norma CEI 103-10 Maggio 1995</i>	<i>"Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata da linee ferroviarie elettrificate in corrente alternata"</i>
<i>D.P.R. N. 547 del 27/04/1955</i>	<i>"Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro"</i>
<i>D.P.R. n. 323 del 20/03/1956</i>	<i>"Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro negli impianti telefonici"</i>
<i>Circolare Ministero PT n. LCI/U2/2/71571/SI del 13/03/1973</i>	<i>"Prescrizioni per gli impianti di telecomunicazioni allacciati alla rete pubblica installati nelle cabine, stazioni e centrali A.T."</i>
<i>Circolare IE. n. 41 - 43 276/611 dell'08/07/1981</i>	<i>"Circuito di terra di protezione di piena linea"</i>

CAPITOLO I - GENERALITÀ

Sezione 1

Oggetto e scopo

1.1.01 Oggetto e scopo delle norme

La presente norma riguarda le modalità di esecuzione per la messa a terra negli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima), in particolare di segnalamento e di telecomunicazione, sulle linee di trazione elettrica a corrente continua a 3000 V.

1.1.02 Campo di applicazione

La presente norma si applica agli impianti di cui all'art. 1.1.01, ai fini della protezione nei confronti del contatto elettrico accidentale delle masse con le parti attive del sistema elettrico di trazione, che può verificarsi a causa principalmente della caduta dei conduttori, conseguente a cedimento dell'isolamento o/e a inconveniente d'esercizio (come per es. impigliamento del pantografo).

Sezione 2

Definizioni

1.2.01 Zona di rispetto TE

Zona in cui, ai fini della scelta dell'impianto di terra, si considera il pericolo di un contatto accidentale con i conduttori della TE sotto tensione.

Nota: Vedi la descrizione nell'appendice A di questa norma.

1.2.02 Circuito di terra di protezione TE

Complesso dei collegamenti che, in territorio elettrificato, connette stabilmente a terra e al circuito di ritorno, ai fini protettivi, tutte le attrezzature metalliche relative alla linea di trazione elettrica (in genere tutti i sostegni della linea di contatto: pali, portali, paline, ecc.) che, per cedimento di isolatori o per altre cause accidentali, potrebbero venire a contatto con i conduttori TE sotto tensione.

1.2.03 Sistema elettrico di trazione (Art. 1.2.06 - Norma CEI 9-6)

Sistema elettrico destinato all'alimentazione della trazione elettrica; esso è definito dalla sola tensione nominale nel caso di trazione in corrente continua.

1.2.04 Circuito di trazione (Art. 1.2.11 - Norma CEI 9-6)

Insieme dei conduttori destinati a portare l'energia elettrica dalle officine elettriche di trazione ai mezzi di trazione.

Il circuito di trazione comprende:

- conduttori di alimentazione che collegano l'officina elettrica alla linea di contatto;

- la linea di contatto, dalla quale viene derivata l'alimentazione elettrica dei veicoli, per mezzo di organi di presa di corrente;
- il circuito di ritorno costituito essenzialmente dai binari di corsa ed i relativi collegamenti con l'officina elettrica di trazione.

1.2.05 Circuito di ritorno TE

Circuito destinato a convogliare al negativo delle sottostazioni le correnti di ritorno della trazione elettrica. Il circuito di ritorno può essere costituito:

- a) *da ambedue le rotaie di tutti i binari* (quando non si sia in presenza di circuiti di binario);
- b) *da una sola delle due rotaie di ciascun binario* (in presenza di circuiti di binario ad una sola rotaia isolata);
- c) *da ambedue le rotaie e connessioni induttive* (in presenza di circuiti di binario con entrambe le rotaie isolate).

1.2.06 Linea di trazione elettrica (Art. 1.2.13 - Norma CEI 9-6)

Insieme comprendente il circuito di trazione, i relativi sostegni ed isolatori e tutti i relativi accessori, comprese le apparecchiature di interruzione, sezionamento, trasformazione, protezione, misura, ecc., montate sugli stessi sostegni della linea di contatto o separatamente in prossimità della linea stessa.

1.2.07 Valvola di tensione (Art. 1.2.32 - Norma CEI 9-6)

Dispositivo di protezione di tipo statico impiegato per stabilire un collegamento franco tra il circuito di ritorno e l'impianto di terra, allorchè la relativa differenza di potenziale supera un valore prefissato.

1.2.08 Diodo di protezione (Art. 1.2.33 - Norma CEI 9-6)

Diodo di potenza utilizzato nei sistemi di trazione a corrente continua per consentire il passaggio unidirezionale della corrente di terra dall'impianto di terra al circuito di ritorno.

1.2.09 Scaricatore (di sovratensioni) (Art. 1.2.34 - Norma CEI 9-6)

Dispositivo di protezione che limita, con il suo intervento, a valori determinati la sovratensione ai propri morsetti.

1.2.10 Classificazione dei sistemi secondo la loro tensione nominale (Art. 22.1 - Norma CEI 64-8)

In relazione alla loro tensione nominale i sistemi elettrici si dividono in:

- sistemi di categoria 0 (zero), quelli a tensione nominale minore o uguale a 50 V se a corrente alternata o a 120 V se a corrente continua (non ondulata).
- sistemi di I categoria, quelli a tensione nominale da oltre 50 fino a 1000 V compresi se a corrente alternata o da oltre 120 fino a 1500 V se a corrente continua;
- sistemi di II categoria, quelli a tensione nominale oltre 1000 V se a corrente alternata o oltre 1500 V se a corrente continua, fino a 30000 V compreso;
- sistemi di III categoria, quelli a tensione nominale maggiore di 30000 V.

1.2.11 Classificazione dei sistemi secondo il loro modo di collegamento a terra (Artt. 312.2 - 312.2.1 - 312.2.2 - 312.2.3 - Norma CEI 64-8)

In relazione al modo di collegamento a terra i sistemi elettrici sono classificati con due lettere, che hanno il seguente significato:

Prima lettera: situazione del sistema di alimentazione verso terra:

T = collegamento diretto a terra di un punto, in c.a. in genere il neutro;

I = isolamento da terra, oppure collegamento a terra di un punto, in c.a. in genere il neutro, tramite un'impedenza.

Seconda lettera: situazione delle masse dell'impianto elettrico rispetto a terra:

T = masse collegate direttamente a terra;

N = masse collegate al punto messo a terra del sistema di alimentazione.

Sistema TN: il sistema ha un punto collegato direttamente a terra mentre le masse dell'impianto sono collegate a quel punto per mezzo del conduttore di protezione.

Sistema TT: il sistema ha un punto collegato direttamente a terra e le masse dell'impianto collegate ad un impianto di terra elettricamente indipendente da quello del collegamento a terra del sistema di alimentazione.

Sistema IT: il sistema non ha parti attive collegate direttamente a terra, mentre le masse sono collegate a terra.

1.2.12 Parte attiva (Art. 23.1 - Norma CEI 64-8)

Conduttore o parte conduttrice in tensione nel servizio ordinario.

1.2.13 Massa (Art. 23.2 - Norma CEI 64-8)

Parte conduttrice di un componente elettrico che può essere toccata e che non è in tensione in condizioni ordinarie, ma che può andare in tensione in condizioni di guasto.

(Vedi commento all'art. 23.2 - Norma CEI 64-8)

1.2.14 Massa estranea (Art. 23.3 - Norma CEI 64-8)

Parte conduttrice non facente parte dell'impianto elettrico in grado di introdurre un potenziale, generalmente il potenziale di terra.

(Vedi commento all'art. 23.3 - Norma CEI 64-8)

1.2.15 Contatto diretto (Art. 23.5 - Norma CEI 64-8)

Contatto di persone con parti attive.

1.2.16 Contatto indiretto (Art. 23.6 - Norma CEI 64-8)

Contatto di persone con una massa in tensione per un guasto.

1.2.17 Parti simultaneamente accessibili (Art. 23.10 e commento - Norma CEI 64-8)

Conduttori o parti conduttrici che possono essere toccati simultaneamente da una persona. Convenzionalmente si ritengono simultaneamente accessibili due parti che distano fra di loro non più di 2,5 m in verticale o 2,0 m in orizzontale (1,25 m se entrambe fuori dalla portata di mano). Nei posti dove vengono usualmente manipolati oggetti conduttori di grande lunghezza o volume, le precedenti distanze devono essere adeguatamente aumentate.

1.2.18 Parti a portata di mano (Art. 23.11 - Norma CEI 64-8)

Conduttori o parti conduttrici situati nella zona che si estende da un punto o da una superficie occupata o percorsa ordinariamente da persone fino ai limiti che una persona può raggiungere con una mano senza l'uso di attrezzi.

(Vedi commento all'art. 23.11 - Norma CEI 64-8)

1.2.19 Terra (Art. 24.1 - Norma CEI 64-8)

Il terreno come conduttore il cui potenziale elettrico in ogni punto è convenzionalmente considerato uguale a zero.

1.2.20 Dispersore (Art. 24.2 - Norma CEI 64-8)

Corpo conduttore o gruppo di corpi conduttori in contatto elettrico con il terreno e che realizza un collegamento elettrico con la terra.

(Vedi commento all'art. 24.2 - Norma CEI 64-8)

1.2.21 Resistenza di terra (Art. 24.3 - Norma CEI 64-8)

Resistenza tra il collettore (o nodo) principale di terra e la terra.

1.2.22 Impianti di terra elettricamente indipendenti (Art. 24.4 - Norma CEI 64-8)

Impianti di terra aventi dispersori separati e tali che la corrente massima che uno di questi impianti può disperdere non modifica il potenziale rispetto a terra dell'altro impianto in misura superiore ad un valore determinato.

1.2.23 Conduttore di protezione (Art. 24.5 - Norma CEI 64-8)

Conduttore prescritto per alcune misure di protezione contro i contatti indiretti per il collegamento di alcune delle seguenti parti:

- masse;
- masse estranee;
- collettore (o nodo) principale di terra;
- dispersore;
- punto di terra della sorgente o neutro artificiale.

1.2.24 Conduttore di terra (Art. 24.7 e commento - Norma CEI 64-8)

Conduttore di protezione che collega il collettore (o nodo) principale di terra al dispersore od i dispersori tra loro.

Le parti non isolate dei conduttori di terra interrati sono considerate come facenti parte del dispersore.

1.2.25 Collettore (o nodo) principale di terra (Art. 24.8 - Norma CEI 64-8)

Elemento previsto per il collegamento al dispersore dei conduttori di protezione, inclusi i conduttori equipotenziali e di terra, nonché i conduttori per la terra funzionale, se esistente.

1.2.26 Collettore di terra (in zona di rispetto TE)

Il collettore di terra, in zona di rispetto TE, può essere costituito:

- a) *dal binario (che è considerato anche dispersore);*
- b) *dal centro della connessione induttiva (C.I.);*
- c) *dalla sbarra colletttrice di terra.*

1.2.27 Collegamento equipotenziale (Art. 24.9 - Norma CEI 64-8)

Collegamento elettrico che mette diverse masse e masse estranee al medesimo potenziale.

1.2.28 Conduttore equipotenziale (Art. 24.10 - Norma CEI 64-8)

Conduttore di protezione destinato ad assicurare il collegamento equipotenziale.

1.2.29 Impianto di terra (Art. 24.11 - Norma CEI 64-8)

Insieme dei dispersori, dei conduttori di terra, dei collettori (o nodi) di terra e dei conduttori di protezione ed equipotenziali, destinato a realizzare la messa a terra di protezione e/o di funzionamento.

1.2.30 Linea di telecomunicazione (Art. 1.3.20 - Norma CEI 103-10)

Sistema destinato a trasmettere informazioni con qualsivoglia modalità tra 2 o più punti su portante fisico. Ai fini della presente Norma sono da prendere in considerazione solo le linee di telecomunicazione provviste di elementi conduttori.

1.2.31 Elementi conduttori della linea di telecomunicazione (Art. 1.3.21 - Norma CEI 103-10)

Sono tutti gli elementi metallici presenti nella linea di telecomunicazione, caratterizzati dal fatto di avere sezione trasversale trascurabile in rapporto alla loro lunghezza.

Essi si dividono in:

- conduttori di trasmissione destinati a veicolare informazioni (coppie simmetriche, coppie coassiali, conduttori per servizi ausiliari, ...);
- elementi strutturali destinati a svolgere altre funzioni (guaine, elementi di tiro, funi portanti, ...).

CAPITOLO II - ESECUZIONE DEGLI IMPIANTI DI TERRA IN ZONA DI RISPETTO TE

Sezione 1

Criteria generali

2.1.01 Indipendenza delle masse degli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) dal circuito di terra di protezione TE

La messa a terra degli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) è da eseguirsi tenendo presente che le masse non debbono essere in nessun caso collegate al "circuito di terra di protezione TE".

Nota: Anche se la Norma CEI 9-6 (vedi appendice A di questa norma) prevede la possibilità del collegamento al circuito di terra di protezione TE, questa soluzione è assolutamente da evitare per gli impianti di segnalamento (IS) e di telecomunicazione (TLC).

2.1.02 Coesistenza di più impianti di terra

Nei casi in cui coesistono più impianti di terra le masse collegate ai differenti impianti di terra non devono essere simultaneamente accessibili.

2.1.03 Masse simultaneamente accessibili

Tutte le masse, facenti parte o non facenti parte degli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima), che sono simultaneamente accessibili devono essere interconnesse con dei conduttori di protezione e/o equipotenziali. In alternativa, tali masse possono essere rese non simultaneamente accessibili con l'impiego di opportuni ripari o isolanti.

2.1.04 Prescrizione a salvaguardia degli impianti di segnalamento

L'esecuzione degli impianti di terra dovrà essere effettuata in modo tale da non recare disturbo agli impianti di segnalamento.

2.1.05 Trasferimenti di potenziali

Nel realizzare la messa a terra occorre porre attenzione, se del caso, al problema del trasferimento dei potenziali in punti lontani.

(Vedi Cap. III - Norma CEI 9-6).

2.1.06 Riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi

Devono essere adottate adeguate misure per evitare che componenti degli impianti o delle apparecchiature, in particolare IS e TLC, abbiano riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi.

Nota: Vedi l'appendice B di questa norma.

2.1.07 Protezioni contro le corrosioni elettrolitiche

L'esecuzione degli impianti di terra dovrà essere effettuata in modo tale da limitare le corrosioni elettrolitiche senza diminuire il livello di protezione dal pericolo di tensionamento.

Sezione 2

Dimensionamenti

2.2.01 Dimensionamento dei conduttori di protezione e di terra

I conduttori di protezione e di terra, in zona di rispetto TE, devono essere dimensionati tenendo conto della taratura dell'interruttore extrarapido di protezione del circuito di trazione:

- a) *fino a 1000 A* con una treccia di rame da 70 mm² o due tondi di acciaio da \varnothing 12 mm;
- b) *da 1000 A a 2000 A* con due trecce di rame da 70 mm² o tre tondi di acciaio da \varnothing 12 mm;
- c) *da 2000 A a 3000 A* con due trecce di rame da 95 mm² o quattro tondi di acciaio da \varnothing 12 mm.
- d) *oltre 3000 A* con due trecce di rame da 120 mm².

Per questi collegamenti è in generale preferibile adottare i tondi in acciaio, salvo il caso di collegamento al centro delle connessioni induttive o di collegamento di piccole apparecchiature.

2.2.02 Dimensionamento della sbarra collettiva di terra

La sbarra dovrà essere realizzata in profilato di acciaio, preferibilmente ad "U", di sezione di circa 600 mm² posta entro un cunicolo affiorante ed opportunamente trattata con vernice protettiva.

Sezione 3

Modalità di esecuzione dei collegamenti per la messa a terra

2.3.01 Collegamenti di terra

I collegamenti di terra devono essere effettuati, a seconda della presenza o meno di circuiti di binario, con le seguenti modalità:

- a) *in assenza di circuiti di binario*, le masse devono essere collegate alla rotaia più vicina;
- b) *in presenza di circuiti di binario ad una sola rotaia isolata*, le masse devono essere collegate solamente alla rotaia più vicina non isolata;
- c) *in presenza di circuiti di binario con ambedue le rotaie isolate e con connessioni induttive*, le masse devono essere collegate al centro della connessione induttiva, se installate ad una distanza minore o uguale a 50 m, altrimenti alla rotaia più vicina, nel rispetto di quanto prescritto al punto 2.1.04.

2.3.02 Utilizzo della sbarra collettiva di terra

Ogni volta che è necessario effettuare un certo numero di collegamenti di terra (ad esempio, nei posti di blocco automatico), si deve ricorrere all'impiego della sbarra collettiva di terra di cui al punto 2.2.02.

2.3.03 Impianto di terra separato

Se per la regolarità dell'esercizio degli impianti, in particolare di segnalamento e telecomunicazione, è necessario realizzare un impianto di terra separato, il valore della resistenza di terra deve essere minore o uguale a 10 Ω e il

dispensore deve essere collegato al collettore di terra (in zona di rispetto TE) tramite una valvola di tensione (1.2.07) o un diodo di protezione (1.2.08).

Sezione 4

Prescrizioni particolari

2.4.01 Canalette, cassette di sezionamento, piantane e apparecchiature similari di materiale isolante

Per quanto possibile devono essere adoperati elementi realizzati con materiale isolante, poiché non necessitano di nessuna messa a terra.

2.4.02 Canaletta metallica per cavi

La canaletta deve avere una sezione trasversale maggiore di 600 mm².

Gli elementi di canaletta formanti un unico complesso devono essere collegati fra di loro con un conduttore di sezione adeguata, in modo tale che la giunzione, dei due elementi di canaletta, presenti una conduttanza almeno equivalente a quella che ha la sezione trasversale del materiale costituente la canaletta.

Gli elementi di canaletta devono essere inoltre collegati tra di loro con conduttore di rame a vista della sezione di 25 mm².

La canaletta deve essere messa a terra ad una sola estremità.

Se la lunghezza della canaletta è maggiore di 250 m si deve sezionare la canaletta ogni 150 m (con elementi di canaletta in materiale dielettrico) per un tratto di almeno 3 m e quindi collegare a terra, ad una sola estremità, ciascuna parte di canaletta.

Il collegamento della canaletta al collettore di terra deve essere realizzato seguendo quanto prescritto nella precedente sezione.

2.4.03 Guaine ed armature metalliche di cavi di energia

Le guaine ed armature metalliche di cavi di energia devono essere collegate a terra sempre e solo ad una estremità.

2.4.04 Guaine ed armature metalliche di cavi di telecomunicazione

Sulle linee di trazione a corrente continua, il collegamento a terra della guaina metallica ad una sola estremità non svolge alcuna azione schermante mentre favorisce accoppiamenti capacitivi e/o conduttivi indesiderati.

Pertanto, a differenza degli altri elementi strutturali, la guaina e/o armatura metallica dei cavi di telecomunicazione, opportunamente sezionata e resa non accessibile nelle condizioni normali di esercizio, **non** deve essere collegata a terra. Il sezionamento deve essere fatto con un passo sufficiente a garantire che in ciascuna sezione le tensioni indotte siano inferiori ai limiti ammissibili (Norma CEI 103-6 Marzo 1991 - Capitolo II). In corrispondenza del sezionamento deve essere possibile, all'occorrenza, realizzare la continuità della guaina stessa e/o il collegamento di terra.

Nota bene: *In corrispondenza delle terminazioni e delle interruzioni dei rivestimenti metallici, se accessibili, devono essere applicate opportune protezioni atte ad evitare tensioni di contatto superiori ai valori ammessi dalla Norma CEI 11-8, 2.1.04 (Art. 3.3.01 - Norma CEI 11-17).*

Quando si eseguono lavori lungo un cavo con rivestimento metallico occorre premunirsi da eventuali trasferimenti di tensioni pericolose di terra o collegando il rivestimento metallico del cavo stesso a tutte le altre masse metalliche accessibili (inclusi tutti i rivestimenti metallici di altri cavi) o prendendo precauzioni per isolare gli operatori dalle parti pericolose (Art. 3.3.03 - Norma CEI 11-17).

2.4.05 Casse di manovra (e apparecchiature similari)

Le casse di manovra risultano collegate al circuito di ritorno TE a mezzo degli zatteroni, per cui non è necessario eseguire alcun collegamento di terra.

Vanno posti naturalmente degli isolanti sulla rotaia isolata (o in quella più lontana, se entrambe isolate) per non cortocircuitare il circuito di binario.

2.4.06 Trasmissioni a semplice e doppio filo

Le trasmissioni devono essere isolate dalla cassa di manovra e dall'apparecchiatura manovrata a mezzo di una catena di tre isolatori a noce e devono essere collegate, ogni 300 m circa, a propri dispersori (valore della resistenza di terra minore o uguale di 10 Ω).

Ad intervalli stabiliti, tenendo conto di quanto richiesto ai punti 2.1.04 e 2.1.07, tali impianti di terra devono essere collegati al circuito di ritorno tramite valvole di tensione o diodi di protezione.

Tale modalità dovrà essere adottata per qualsiasi trasmissione a filo.

La cassa e le altre apparecchiature vanno collegate a terra seguendo quanto prescritto nel presente capitolo, se installate in zona di rispetto TE.

2.4.07 Messa a terra degli scaricatori dei sistemi di categoria 0 (zero) e I (prima)

In caso di guasto verso terra dei sistemi di categoria II (in particolare, il sistema elettrico di trazione elettrica (TE) a corrente continua a 3000 V) e di categoria III (ad esempio, la linea ad alta tensione (A.T.) a 132 kV per l'alimentazione del sistema elettrico di trazione) possono originarsi sovratensioni che possono raggiungere un'ampiezza di diversi kV ed avere durata fino a 1 s, a seconda del tipo di sistema di protezione utilizzato.

L'eventuale impiego di scaricatori per la protezione contro le sovratensioni deve tenere presente che il loro intervento può ridurre fortemente l'impedenza verso terra dei componenti i sistemi di categoria 0 (zero) e I (prima), favorendo così una circolazione di corrente che può essere causa di danno all'impianto e/o alle persone, in specie se ricorrono le condizioni di cui al punto 2.1.06 (riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi).

Nella messa a terra degli scaricatori dei sistemi di categoria 0 (zero) e I (prima) si devono distinguere i seguenti tre casi:

a) Messa a terra degli scaricatori in cabina.

Bisogna seguire i criteri riportati nel capitolo III (esecuzione degli impianti di terra al di fuori della zona di rispetto TE), con l'avvertenza di evitare che componenti degli impianti o delle apparecchiature, per la presenza degli scaricatori, tramite coppie telefoniche o altri elementi conduttori, anche strutturali, abbiano riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi.

b) Messa a terra degli scaricatori lungo linea.

La messa a terra degli scaricatori deve essere realizzata seguendo quanto prescritto nel presente capitolo.

Se ricorrono le condizioni previste al punto 2.1.06 (riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi) è vietato l'impiego di scaricatori tra parti attive e terra.

c) Messa a terra degli scaricatori nelle sottostazioni elettriche.

Nella zona di influenza dell'impianto di terra dei sistemi di categoria superiore (T.E. e linea A.T.), se ricorrono le condizioni previste al punto 2.1.06 (riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi) è vietato l'impiego di scaricatori tra parti attive e terra.

Nota bene: Nei casi in cui non si possono utilizzare gli scaricatori tra parti attive e terra, per la protezione contro le sovratensioni bisogna adottare altri tipi di provvedimenti: isolamento adeguato, protezione per separazione elettrica, cavi in fibra ottica, traslatori, limitatori di sovratensioni fra i conduttori, fusibili, ecc. Vedi anche l'appendice B di questa norma.

2.4.08 Protezione contro le sovratensioni per contatti fra circuiti a tensione nominale diversa
(Art. 2.3.03 - Norma CEI 11-1)

Devono essere adottate adeguate misure per evitare il contatto fra sistemi a diverse tensioni o, comunque per limitarne le conseguenze nel tempo e negli effetti. Queste misure devono essere particolarmente curate quando uno dei sistemi è di categoria 0 (zero) o I (prima).

Nota: Apposite prescrizioni sono state stabilite dal Ministero delle Poste e delle Telecomunicazioni (Circolare del Ministero P.T. del 13 marzo 1973) per gli impianti di telecomunicazioni installati nelle cabine, stazioni e centrali elettriche A.T. (Normativa espressamente richiamata nell'art. 12.4.03 - Norma CEI 103-1/12).

CAPITOLO III - ESECUZIONE DEGLI IMPIANTI DI TERRA AL DI FUORI DELLA ZONA DI RISPETTO TE

Sezione 1

Criteri generali

3.1.01 Adozione della normativa CEI

La normativa da adottare è quella prevista dalle norme CEI, con l'osservanza dei criteri generali riportati nella Sez. 1 del Cap. II e dei dimensionamenti previsti nella Sez. 2 di questo capitolo.

Sezione 2

Dimensionamenti

3.2.01 Dimensionamento dei conduttori di protezione

La sezione dei conduttori di protezione deve essere determinata secondo la tabella seguente (Tabella 54 F - Relazione tra le sezioni dei conduttori di protezione e dei conduttori di fase - Art. 543.1.2 - Norma CEI 64-8).

Sezione dei conduttori di fase dell'impianto S (mm ²)	Sezione minima del corrispondente conduttore di protezione Sp (mm ²)
$S \leq 16$	$Sp = S$
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$Sp = \frac{S}{2}$

I valori della tabella sono validi soltanto se i conduttori di protezione sono costituiti dallo stesso materiale dei conduttori di fase.

In caso contrario, la sezione del conduttore di protezione deve venire determinata in modo tale che esso abbia una conduttanza equivalente a quella risultante dall'applicazione della tabella.

Quando un conduttore di protezione sia comune a diversi circuiti, la sua sezione deve essere dimensionata in funzione del conduttore di fase avente la sezione più grande.

Quando il conduttore di protezione, ricoperto con guaina isolante, non fa parte della stessa condotta dei conduttori di fase, la sua sezione, in rame, deve essere non inferiore a 16 mm² e, se sono presenti scaricatori di sovratensione, non inferiore a 25 mm².

3.2.02 Dimensionamento dei conduttori di terra

Le sezioni dei conduttori di terra devono essere stabilite con i criteri indicati per i conduttori di protezione.

In ogni caso, la sezione dei conduttori di terra non deve essere inferiore a 25 mm², se in rame.

E' ammesso l'uso, come conduttori di terra, di elementi strutturali metallici (telai, armadi, paline, ecc.) purchè inamovibili e con conduttanza equivalente.

3.2.03 Dimensionamento del collettore di terra

La sezione della piastra collettore, o collettore di terra, oltre a possedere una buona robustezza meccanica che offra garanzia di stabilità nel tempo deve presentare una conduttanza almeno equivalente al massimo valore riscontrabile tra i conduttori in essa attestati.

3.2.04 Valore della resistenza di terra dell'impianto di terra

Il valore della resistenza di terra dell'impianto di terra deve essere coordinato con le misure adottate per la protezione dell'impianto elettrico, in funzione dello stato del neutro e del collegamento a terra delle masse.

Nel caso di coesistenza di modi di collegamento a terra TT e TN, dovuti anche ad alimentazioni differenti e utilizzando lo stesso impianto di terra, il valore della resistenza di terra va verificato per entrambe le situazioni.

Il sistema IT, molto diffuso negli impianti di segnalamento, non ha parti attive collegate direttamente a terra, mentre le masse sono collegate a terra.

Una volta manifestatosi un primo guasto a terra, le condizioni d'intervento della protezione nel caso di un secondo guasto a terra sono:

- a) quelle proprie ai sistemi TT, quando le masse sono messe a terra per gruppi od individualmente (negli impianti di segnalamento: apparecchiature nel piazzale o in campagna).
- b) quelle relative al sistema TN, quando le masse sono interconnesse collettivamente da un conduttore di protezione (negli impianti di segnalamento: condizione da realizzare in cabina).

In ogni caso il valore della resistenza di terra deve essere minore o uguale a 10 Ω.

Sezione 3

Prescrizioni particolari

3.3.01 Indipendenza dell'impianto di terra dal "circuito di terra di protezione TE" e dal "circuito di ritorno TE"

La messa a terra degli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) è da eseguirsi tenendo presente che le masse non debbono essere collegate al "circuito di terra di protezione TE" ed al "circuito di ritorno TE".

L'impianto di terra deve essere elettricamente indipendente sia dal "circuito di terra di protezione TE" che dal "circuito di ritorno TE".

Qualora non si possa realizzare un impianto di terra elettricamente indipendente è permesso il collegamento al circuito di ritorno TE, applicando la normativa prevista per la zona di rispetto TE (Cap. 2, ad eccezione di quanto prescritto alla Sezione 2 - Dimensionamenti). In questo caso, bisogna accertare che i componenti degli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) abbiano un isolamento verso terra corrispondente a quello richiesto nella zona di rispetto TE. Inoltre, può essere necessario adottare uno o più dei provvedimenti previsti nel Cap. III della Norma CEI 9-6 (Tensioni trasferite all'esterno dell'impianto di terra in caso di guasto) quale, ad esempio, l'aumento della resistività dello strato superficiale del terreno circostante.

Nota bene: Vedi l'appendice B di questa norma.

3.3.02 Canalette, cassette di sezionamento, piantane e apparecchiature similari di materiale isolante

Per quanto possibile devono essere adoperati elementi realizzati con materiale isolante, poiché non necessitano di nessuna messa a terra.

3.3.03 Canaletta metallica per cavi

Gli elementi di canaletta formanti un unico complesso devono essere collegati tra di loro con un conduttore di rame da 25 mm².

La messa a terra della canaletta dovrà essere effettuata in modo tale da non recare disturbo agli impianti di segnalamento.

Se alcuni elementi di canaletta sono posati entro la zona di rispetto TE, o si procede alla sostituzione degli elementi tensionabili con elementi di canaletta di materiale isolante oppure si applica la normativa prevista per la zona di rispetto TE all'intera canaletta.

3.3.04 Guaine ed armature metalliche di cavi

Le guaine ed armature metalliche dei cavi (ad eccezione di quelle relative al cavo a 1000 Vca di alimentazione del blocco automatico) possono essere messe a terra in più parti, anche con funzione di schermo.

3.3.05 Armatura del cavo a 1000 Vca di alimentazione del blocco automatico

L'armatura del cavo di ogni sezione di blocco deve essere messa a terra sempre e solamente ad una estremità, con l'avvertenza che non deve essere connessa a terra, e quindi al neutro, l'armatura del cavo in partenza e/o in arrivo della linea di alimentazione del blocco automatico (B.A.).

Negli armadi di stazione per l'alimentazione del B.A., l'armatura del cavo ad alta tensione (definizione: Art. 268 - DPR 547/55) risulterà perciò sempre isolata e non accessibile (con l'estremità "affogata" nell'isolante del cono terminale).

Invece, negli armadi di linea le armature dei cavi in ingresso ed in uscita dell'alimentazione ad alta tensione risulteranno o tutte e due collegate a terra, oppure una armatura sarà collegata a terra, insieme alle altre apparecchiature della garitta, mentre l'altra dovrà risultare isolata e non accessibile.

APPENDICE A

Zona di rispetto TE

La ZONA DI RISPETTO TE, fondamentale per la corretta scelta dell'impianto di terra in prossimità della linea di trazione elettrica, dove si considera possibile il pericolo di un contatto accidentale con i conduttori della TE sotto tensione, è definita negli articoli sotto riportati della Norma CEI 9-6 /Agosto 1992.

Definizioni

Linea di trazione elettrica (Art. 1.2.13 - Norma CEI 9-6)

Insieme comprendente il circuito di trazione, i relativi sostegni ed isolatori e tutti i relativi accessori, comprese le apparecchiature di interruzione, sezionamento, trasformazione, protezione, misura, ecc., montate sugli stessi sostegni della linea di contatto o separatamente in prossimità della linea stessa.

Posizione accessibile (Art. 1.2.39 - Norma CEI 9-6)

Posizione, relativa ad un sostegno di una linea di trazione elettrica o ad un'altra opera situata in prossimità di una linea di trazione elettrica, che ha qualche punto a distanza inferiore a $3\text{ m} + 0,010\text{ U}$ dalle posizioni liberamente raggiungibili del terreno circostante o dei manufatti (U = tensione nominale del sistema in kV).

Posizione accessibile di una massa di un impianto di categoria 0 (zero) e I (prima)

Posizione, relativa ad una massa di un impianto di categoria 0 (zero) e I (prima), che ha qualche punto a distanza inferiore a $3\text{ m} + 0,010\text{ U}$ dalle posizioni liberamente raggiungibili del terreno circostante o dei manufatti (U = tensione nominale del sistema in kV).

Criteri di progetto dell'impianto di terra delle linee di trazione elettrica

Campo di applicazione e scopo (Art. 2.2.01 - Norma CEI 9-6)

La presente Sezione si applica alle messe a terra delle strutture metalliche (facenti parte o no della linea elettrica, 1.2.13) situate in prossimità della linea di trazione elettrica, ai fini della protezione nei confronti del contatto elettrico accidentale delle strutture stesse con le parti attive del sistema elettrico di trazione, che può verificarsi a causa principalmente dei seguenti eventi:

- a) cedimento dell'isolamento delle linee di contatto o di alimentazione o delle apparecchiature di linea, con conseguente andata in tensione dei relativi sostegni metallici;
- b) caduta dei conduttori, conseguente a cedimento dell'isolamento o/e a inconveniente d'esercizio (come per es. impigliamento del pantografo) con conseguente rischio di andata in tensione dei sostegni e/o di altre opere metalliche situate in prossimità.

Messa a terra di opere metalliche diverse (Art. 2.2.04 - Norma CEI 9-6)

Ai fini della protezione dagli eventi accidentali di cui al punto b) di 2.2.01, tutte le altre opere metalliche (pensiline, ringhiere, parapetti, masse degli impianti di illuminazione, di segnalamento, di telecomunicazione

ecc.), che si trovino ad una distanza in pianta non maggiore di 3 m dai conduttori, che non siano completamente situate ad una quota superiore di oltre 1 m a quella dei conduttori, e che inoltre siano:

- in posizione accessibile (1.2.39), ovvero nel caso che:
- pur trovandosi in posizione non accessibile, siano elettricamente collegate a distanza,

devono essere messe a terra singolarmente o per gruppi seguendo le seguenti tre soluzioni alternative:

- 1) collegamento franco al circuito di ritorno (binario), purchè esso abbia una resistenza di terra non superiore a 2Ω ;
- 2) collegamento all'impianto di terra dei sostegni della trazione elettrica;
- 3) realizzazione di un impianto di terra separato avente resistenza di terra non superiore a 10Ω e collegamento al circuito di ritorno tramite cortocircuitatori o valvole di tensione o diodi di protezione.

Le suddette messe a terra devono essere applicate anche alle apparecchiature di un passaggio a livello che, pur avendo la cassa di manovra situata ad una distanza in pianta dai conduttori del sistema elettrico di trazione maggiore a 3 m, sia dotato di barriere metalliche di lunghezza superiore alla distanza stessa.

Nel realizzare le messe a terra occorre porre attenzione, se del caso, al problema del trasferimento dei potenziali in punti lontani (vedi Cap. III).

APPENDICE B

Collegamenti equipotenziali

Come è noto la pericolosità di una massa in tensione (a causa di un guasto) non dipende tanto dal potenziale assunto da quella massa, quanto dalla differenza di potenziale che si crea tra la massa e le altre masse e le masse estranee.

Con i collegamenti equipotenziali si evita che in caso di guasto si possano manifestare differenze di potenziale pericolose fra parti metalliche che possono essere toccate contemporaneamente da una persona. In un edificio, ad esempio, è richiesto il collegamento al collettore principale di terra di tutte le canalizzazioni metalliche entranti nell'edificio (gas, acqua o altro) e delle parti strutturali metalliche dell'edificio stesso.

L'impianto di terra con interruzione automatica del circuito protegge da guasti interni all'impianto, che avvengano a valle del dispositivo di protezione; non è efficace se invece la tensione pericolosa viene trasferita da altri impianti utilizzatori tramite masse estranee: l'equipotenzialità è l'unico sistema in grado di assicurare la protezione da tensioni pericolose provenienti dall'esterno dell'impianto.

Per contenere i rischi derivanti dal trasferimento di tensioni pericolose, in particolare in conseguenza di un guasto a terra nei sistemi di categoria superiore alla prima, può essere necessario adottare uno o più dei seguenti provvedimenti (vedi Cap. III - Norma CEI 9-6):

- interruzione della continuità dei corpi metallici (separazione);
- aumento della resistività dello strato superficiale del terreno circostante (modifica della resistività superficiale);
- riduzione dei gradienti di tensione sulla superficie del terreno circostante (controllo dei gradienti);
- segregazione o isolamento degli elementi e delle aree in cui si localizzano tensioni pericolose (segregazione e isolamento).

Riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi

L'equipotenzialità o gli altri provvedimenti sopra riportati possono non essere sufficienti se si hanno riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi. Alcuni esempi potranno essere utili ad una migliore comprensione del problema.

Esempio n. 1: Sistema di rilevamento delle temperature dei cuscinetti dei rotabili (sistema RTB)

In piena linea (fig. 1) le masse del sistema di rilevamento delle temperature dei cuscinetti dei rotabili (sistema RTB) viene collegate ad una terra elettricamente indipendente perchè l'armadio è situato al di fuori della zona di rispetto TE. La testa di lettura, essendo fissata alla rotaia, di fatto è collegata all'impianto di terra costituito dal circuito di ritorno TE. Il sistema RTB fa quindi riferimenti a due impianti di terra che possono assumere potenziali diversi!

Per guasto del circuito di alimentazione della trazione elettrica a corrente continua a 3000 V, la rotaia può assumere un potenziale di alcuni kV, mentre le masse all'interno dell'armadio RTB rimangono praticamente a potenziale zero. La differenza di potenziale può essere tale da provocare il cedimento dell'isolamento del sistema RTB, con conseguente guasto delle apparecchiature.

Per il sistema RTB è stata adottata la protezione per separazione elettrica (Art. 413.5 della Norma CEI 64-8).

La testa di lettura viene applicata alla rotaia tramite un supporto isolante. Per le dimensioni ridotte e la particolare configurazione dell'installazione si può considerare non tensionabile per guasto della TE. L'armadio era già non tensionabile.

L'alimentazione a 220 V del piccolo motore e delle scaldiglie interne alla testa di lettura, nonché l'elettronica contenuta nell'armadio viene effettuata tramite un trasformatore di isolamento (Norma CEI 14-6).

Le masse non sono intenzionalmente collegate a terra, nè alle masse di altri circuiti, nè a masse estranee. Per evitare il rischio di un guasto a terra nel circuito separato viene curato in modo particolare l'isolamento verso terra (posa dei cavi di collegamento testa/armadio entro tubi isolanti, armadio RTB isolato dal piano di calpestio della garitta), realizzando condizioni di isolamento equivalente alla protezione mediante componenti di Classe II (qualsiasi guasto nel sistema RTB deve rimanere all'interno del sistema stesso).

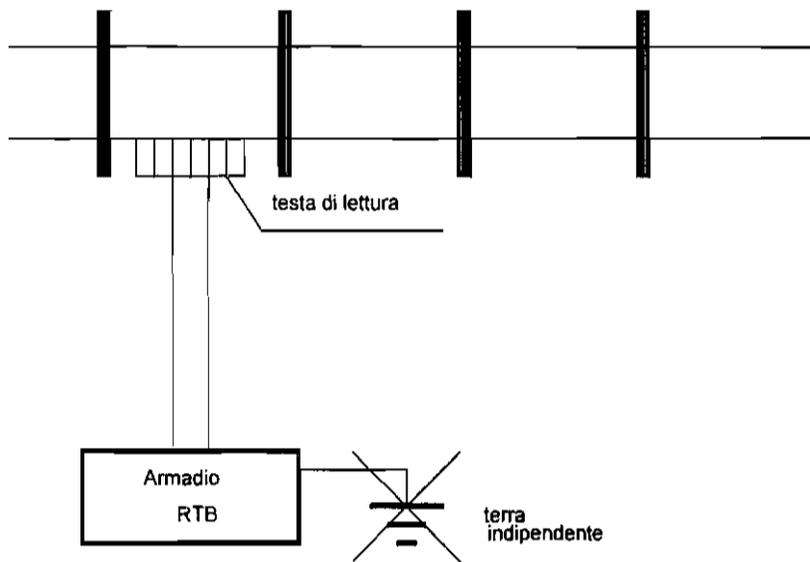


Fig. 1

Esempio n. 2: Circuito di relazione del Blocco Automatico

La circolazione dei treni lungo linea è regolata, oltre che dall'accertamento preventivo dello stato di libertà del circuito di via, dall'invio di "informazioni", tramite contatti stabiliti di relè inseriti nei circuiti di relazione (fig. 2), tra un posto di blocco (PBA) e l'altro e tra questi e le stazioni limitrofe.

Nell'ipotesi di guasto in linea (per caduta della linea di contatto sul binario o cortocircuito sul locomotore) si può localizzare tra i centri delle connessioni induttive A e D una differenza di potenziale tale da far innescare gli scaricatori S1 e S2, con conseguente intervento indebito degli interruttori a scatto.

Gli impianti di sicurezza e segnalamento hanno la caratteristica fondamentale di adottare, quale sistema di distribuzione, il sistema IT per esigenza di continuità d'esercizio e per criteri di sicurezza circuitale ferroviaria. Gli scaricatori erano l'unico riferimento a terra e, nel caso in esame, tramite il cavo di relazione, a impianti di terra che possono assumere potenziali diversi.

Dato che il livello di isolamento verso terra di tutti i componenti del circuito di relazione (cavo di relazione, relè, ecc.) è superiore alle massime sovratensioni comunque ipotizzabili (2500 V) la presenza degli scaricatori era non solo superflua ma anche dannosa!

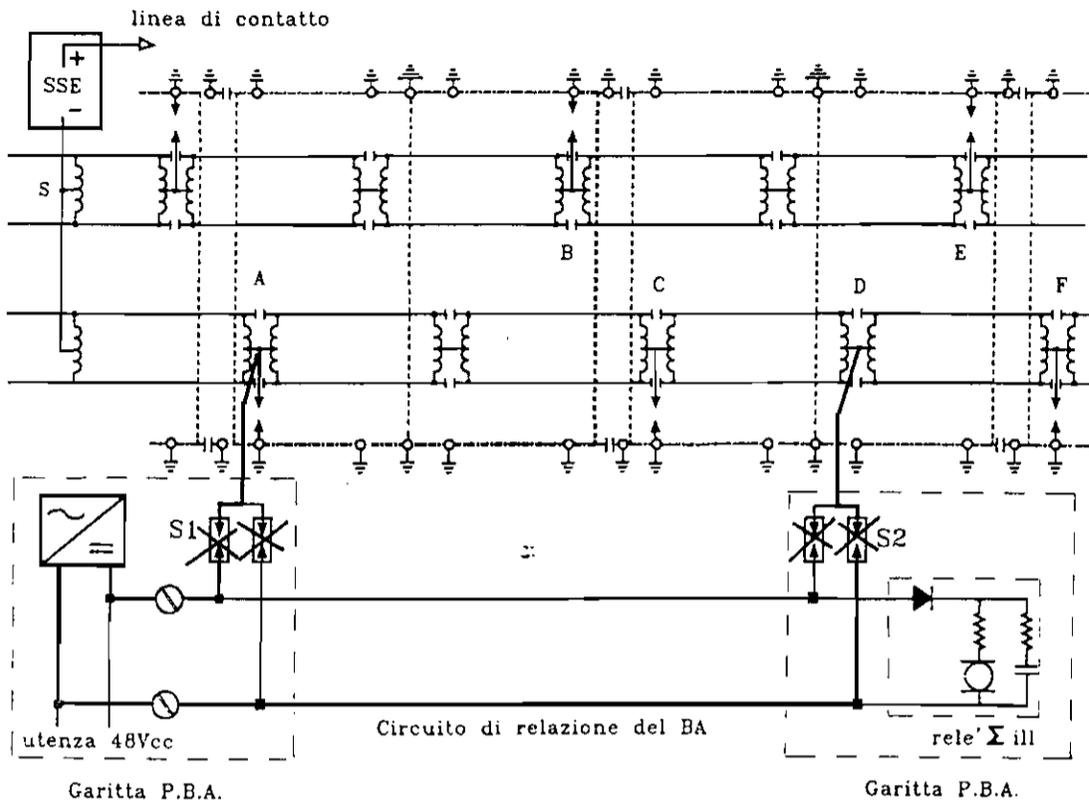


Fig. 2

Condizioni analoghe si possono ritrovare in impianti (blocco automatico, blocco contaassi, impianti C.T.C., telecomandi in genere, impianti telefonici, ecc.) che utilizzano linee di telecomunicazione che di fatto portano, tramite gli elementi conduttori della linea stessa, in cabina il diverso potenziale dell'impianto di terra lontano cui sono connesse.

acc. 11/95

MESSA A TERRA NEGLI IMPIANTI DI CATEGORIA 0 (ZERO) E I (PRIMA) SULLE LINEE DI TRAZIONE ELETTRICA A CORRENTE CONTINUA A 3000 V

Note tecniche sul coordinamento dell'impianto di messa a terra con le prescrizioni per la sicurezza e le misure di protezione contro le sovratensioni e le corrosioni elettrolitiche. Commento alla Norma Tecnica I/TC n° 728 - Settembre 1995.

di ENRICO DE BONI e ELIA TARTAGLIA
del Servizio Impianti Elettrici / Area Rete

e MARIO LORETI
della Divisione Tecnologie / Area Ingegneria e Costruzioni

La Norma Tecnica I/TC N° 728, emanata di recente (Settembre 1995) dalla Divisione Tecnologie dell'Area Ingegneria [1], oltre che recepire le prescrizioni dell'ultima edizione della Norma CEI 9-6 - Agosto 1992 "Impianti di messa a terra relativi ai sistemi di trazione elettrica" detta norme che consentono di limitare le corrosioni elettrolitiche e creano le condizioni per una efficace protezione contro le sovratensioni negli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima), senza diminuire il livello di protezione dal pericolo del tensionamento.

La Norma Tecnica richiama inoltre alcuni principi fondamentali, generalmente distribuiti in norme diverse, recependoli quando necessario anche dalla normativa internazionale, che gli impianti devono applicare al fine di una loro corretta progettazione ed esecuzione secondo criteri di sicurezza e di funzionalità. In particolare, dispone quanto segue:

- 1) Applicazione integrale della Norma CEI 9-6 - Agosto 1992.

E quindi, annullamento delle prescrizioni relative a tutti gli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) contenute nell'Istruzione C.3 Ed. 1970 "Istruzione per il circuito di ritorno TE e per i circuiti di terra sulle linee elettrificate a c.c. 3 kV".

L'Istruzione C.3 era stata redatta in base alle Norme CEI-UNIFER 9-6 / 1956. L'uscita della nuova edizione (Agosto 1992) della Norma CEI 9-6 non poteva non richiedere il conseguente adeguamento dell'Istruzione stessa.

L'Istruzione C.3 prevedeva, fra l'altro, particolari deroghe dai criteri generali, anche in zona di rispetto TE, per la messa a terra negli impianti di telecomunicazione: *la realizzazione di terre separate, senza il necessario collegamento al circuito di ritorno tramite valvole di tensione o diodi di protezione non assicura l'intervento del sistema di protezione in sottostazione in caso di tensionamento!*

- 2) Adozione di adeguate misure per evitare riferimenti ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi.

Nel realizzare la messa a terra bisogna evitare che componenti degli impianti o delle apparecchiature abbiano riferimenti (tramite coppie telefoniche, circuiti di relazione, elementi strutturali, ecc.) ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi.

- 3) Adozione di altri metodi di protezione contro i contatti indiretti.

La Norma Tecnica evidenzia la possibilità di adottare negli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) altri metodi di protezione contro i contatti indiretti, oltre quello comunemente adottato della protezione mediante interruzione automatica dell'alimentazione, quali:

- uso di componenti elettrici di Classe II o con isolamento equivalente (art. 413.2 - Norma CEI 64-8) [14];
- separazione elettrica (art. 413.5 - Norma CEI 64-8);
- bassissima tensione SELV oppure PELV (art. 411.1 - Norma CEI 64-8).

Questi ultimi metodi di protezione *non richiedono la messa a terra* di tali impianti, purchè naturalmente tutti i loro componenti abbiano un isolamento adeguato, oltre che alla propria alimentazione, al sistema di categoria superiore, come è quello relativo alla trazione elettrica a corrente continua a 3000 V, nel cui ambito si trovano, oppure, siano protetti con isolamenti o con involucri o con barriere aventi caratteristiche tali da assicurare il grado di protezione richiesto.

4) Protezione contro le corrosioni elettrolitiche.

L'esecuzione degli impianti di terra dovrà essere effettuata in modo tale da limitare le corrosioni elettrolitiche senza diminuire il livello di protezione dal pericolo di tensionamento.

Prima di sviluppare i punti sopra evidenziati è opportuno porre l'attenzione su alcune definizioni di particolare importanza riportate nella Norma Tecnica. Dove non specificato diversamente, gli articoli richiamati sono quelli della Norma Tecnica e per "Norma CEI" si intende la Norma CEI 9-6.

Zona di rispetto TE

La *zona di rispetto TE*, fondamentale per la corretta scelta dell'impianto di terra in prossimità della linea di trazione elettrica, dove si considera possibile il pericolo di un contatto accidentale con i conduttori della TE sotto tensione, è definita sostanzialmente dall'art. 2.2.04 della Norma CEI 9-6 - Agosto 1992:

"Ai fini della protezione dagli eventi accidentali (caduta dei conduttori), tutte le altre opere metalliche (pensiline, ringhiere, parapetti, masse degli impianti di illuminazione, di segnalamento, di telecomunicazione ecc.), che si trovino ad una distanza in pianta non maggiore di 3 m dai conduttori, che non siano completamente situate ad una quota superiore di oltre 1 m a quella dei conduttori, e che inoltre siano:

- in posizione accessibile (art. 1.2.39 - Norma CEI 9-6), ovvero nel caso che:
- pur trovandosi in posizione non accessibile, siano elettricamente collegate a distanza, devono essere messe a terra singolarmente o per gruppi seguendo le seguenti tre soluzioni alternative:

- 1) collegamento franco al circuito di ritorno (binario), purchè esso abbia una resistenza di terra non superiore a 2 Ω ;
- 2) collegamento all'impianto di terra dei sostegni della trazione elettrica;
- 3) realizzazione di un impianto di terra separato avente resistenza di terra non superiore a 10 Ω e collegamento al circuito di ritorno tramite cortocircuitatori o valvole di tensione o diodi di protezione.

Le suddette messe a terra devono essere applicate anche alle apparecchiature di un passaggio a livello che, pur avendo la cassa di manovra situata ad una distanza in pianta dai conduttori del sistema elettrico di trazione maggiore a 3 m, sia dotato di barriere metalliche di lunghezza superiore alla distanza stessa."

La Norma CEI *non* fa distinzione fra i diversi impianti, siano essi di sicurezza e segnalamento (IS), telefonici (TLC), impianti di luce e forza motrice (LFM) o impianti dei servizi ausiliari della trazione elettrica (TE). Pertanto, *dimensionamenti e modalità di esecuzione degli impianti di terra sono gli stessi per qualsiasi tipo di impianto che sia installato all'interno della zona di rispetto TE.*

La Norma Tecnica pone un vincolo aggiuntivo: è assolutamente da evitare (art. 2.1.01) il collegamento al circuito di terra di protezione TE (soluzione n° 2) per gli impianti di segnalamento e di telecomunicazione. Permette però (art. 3.3.01), perchè necessario alla funzionalità dell'impianto, come vedremo nel seguito della trattazione, il collegamento al circuito di ritorno TE anche per installazioni al di fuori della zona di rispetto TE.

Resistenza di terra

In zona di rispetto TE, di fatto, il valore massimo della resistenza di terra viene imposto dalla Norma CEI (2 Ω per il circuito di terra di protezione TE e 10 Ω nel caso di impianto di terra separato). Esso è un valore cautelativo, ad evitare un'eccessiva elevazione del potenziale delle masse rispetto a terra.

*La protezione nei confronti di un eventuale tensionamento per guasto del circuito di alimentazione TE è però assicurata **solamente** dal collegamento (franco o tramite valvole di tensione o diodi di protezione) al circuito di ritorno.*

E' stata ripresa la definizione della Norma CEI 64-8 ("Resistenza tra il collettore (o nodo) principale di terra e la terra") invece di quella riportata dalla Norma CEI 9-6 ("Rapporto tra la tensione totale di terra e la corrente di terra."), ugualmente valida, a sottolineare l'importanza di non aumentare impropriamente, specialmente lungo linea, il valore della resistenza di terra con collegamenti al collettore (binario) di resistività elevata (vedi più avanti il paragrafo "Dimensionamento dei conduttori di terra").

Impianti di terra elettricamente indipendenti

In zona di rispetto TE, la Norma CEI (e di conseguenza la Norma Tecnica) prende atto dell'impossibilità di realizzare impianti di terra elettricamente indipendenti, cioè aventi dispersori separati sia dal circuito di ritorno TE che dal circuito di terra di protezione TE, tali che la corrente massima che quest'ultimi impianti possono disperdere non modifichi il potenziale rispetto a terra dell'impianto di terra separato in misura superiore ad un valore determinato. In zona di rispetto TE si parla solo di impianti di terra separati, che vanno comunque collegati al binario tramite valvole di tensione o diodi di protezione.

D'altronde, al di fuori della zona di rispetto TE la possibilità di ottenere impianti di terra elettricamente indipendenti è alquanto difficile, dato che, specialmente lungo linea, vengono fatti a pochi metri dalla massicciata o dagli impianti di terra TE: anche per questo viene permesso di collegarsi al circuito di ritorno (binario), con le dovute cautele espressamente riportate nell'art. 3.3.01 della Norma Tecnica. A volte è addirittura controproducente realizzare o avere un impianto di terra elettricamente indipendente (vedi esempi n. 1 e 4)!

Linea di telecomunicazione

E' considerata linea di telecomunicazione *qualsiasi* sistema destinato a trasmettere informazioni con qualsiasi modalità tra 2 o più punti su portante fisico. Ai fini della Norma Tecnica sono da prendere in considerazione solo le linee di telecomunicazione provviste di elementi conduttori.

Le linee di telecomunicazioni *non sono* quindi *solo* quelle relative al settore TLC, ma anche degli altri settori (IS, LFM, TE, ecc.) degli impianti fissi ferroviari.

Collegamenti equipotenziali

Come è noto la pericolosità di una massa in tensione (a causa di un guasto) non dipende tanto dal potenziale assunto da quella massa, quanto dalla differenza di potenziale che si crea tra la massa e le altre masse e le masse estranee. Con i collegamenti equipotenziali si evita che in caso di guasto si possano manifestare differenze di potenziale pericolose fra parti metalliche che possono essere toccate contemporaneamente da una persona. In un edificio, ad esempio, è richiesto il collegamento al collettore principale di terra di tutte le canalizzazioni metalliche entranti nell'edificio (gas, acqua o altro) e delle parti strutturali metalliche dell'edificio stesso.

La situazione si complica in presenza di apparecchiature o sistemi che hanno parti connesse ad impianti di terra diversi e non si può ricorrere all'equipotenzialità, come nel caso di un apparecchio appartenente ad un sistema centrale, ad esempio di elaborazione dati, connesso tramite un circuito con un'apparecchiatura lontana (periferica) con cui scambia segnali o informazioni.

L'analisi delle situazioni di pericolo per le persone ma anche di danno o di malfunzionamento degli impianti e delle relative misure di protezione non può prescindere dallo studio del comportamento del terreno quale conduttore elettrico [2].

Il terreno conduttore elettrico

Il terreno svolge la funzione di conduttore elettrico tutte le volte che tra due suoi punti viene applicata o si localizza una differenza di potenziale.

Volendo paragonare la resistenza del terreno fra i due punti a quella di un conduttore ordinario occorre riferirsi ad un conduttore di forma conica (fig. 1), equivalente quindi ad un conduttore di sezione grandissima al centro e decrescente verso le estremità, con resistività pari a quella del terreno.

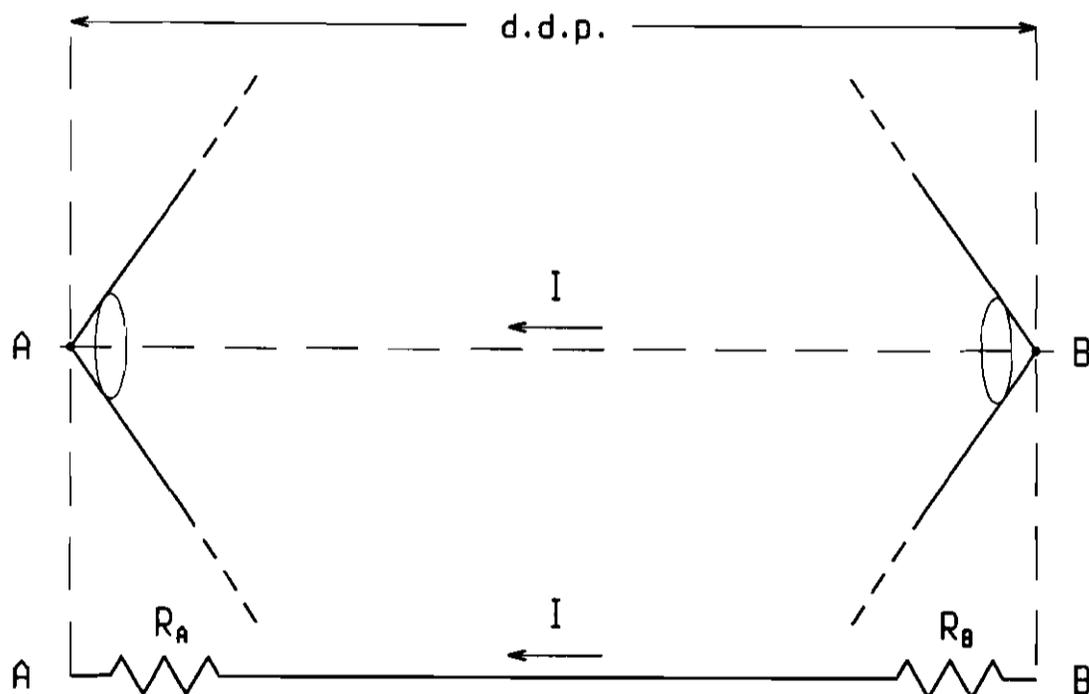


Fig. 1 - Il terreno conduttore elettrico: la resistenza del terreno è data dalla somma delle resistenze di terra in A e in B.

A sufficiente distanza (a volte, poche decine di metri) dal punto di dispersione nel terreno della corrente la sezione interessata è talmente grande che la resistenza è pressoché nulla: la resistenza del terreno di fatto corrisponde alla somma delle resistenze di terra nei due punti A e B. Se il terreno conduttore elettrico fosse percorso da corrente tra i punti A e B si localizzerebbe una differenza di potenziale data da $V = (R_A + R_B) \cdot I = R_A \cdot I + R_B \cdot I$.

Il potenziale sulla superficie del terreno nell'intorno di un dispersore di resistenza R_T , che disperde nel terreno la corrente I di guasto, ha l'andamento rappresentato nella fig. 2: la massa M assume il potenziale totale di terra $U_T = R_T I$, il punto A del terreno assume il potenziale U_A , mentre il punto B, sufficientemente lontano dal dispersore e quindi non interessato dalla corrente di guasto I , rimane a potenziale zero.

La persona che sta sulla massa M , assumendo lo stesso potenziale della massa, è sottoposta ad una d.d.p. uguale a zero; quella che tocca nel punto A la guaina metallica del cavo, in contatto con la massa M durante il guasto, è interessata da una d.d.p. pari a $V = U_T - U_A$; l'altra che tocca la guaina metallica nel punto B è sottoposta all'intera d.d.p. pari al potenziale U_T della massa M , essendo in B il potenziale di terra U_B uguale a zero: la situazione più pericolosa, a parità di resistenza verso terra della persona nei punti A e B, risulta essere quella in B. E' anche quella dove risultano maggiormente sollecitati gli isolamenti delle apparecchiature.

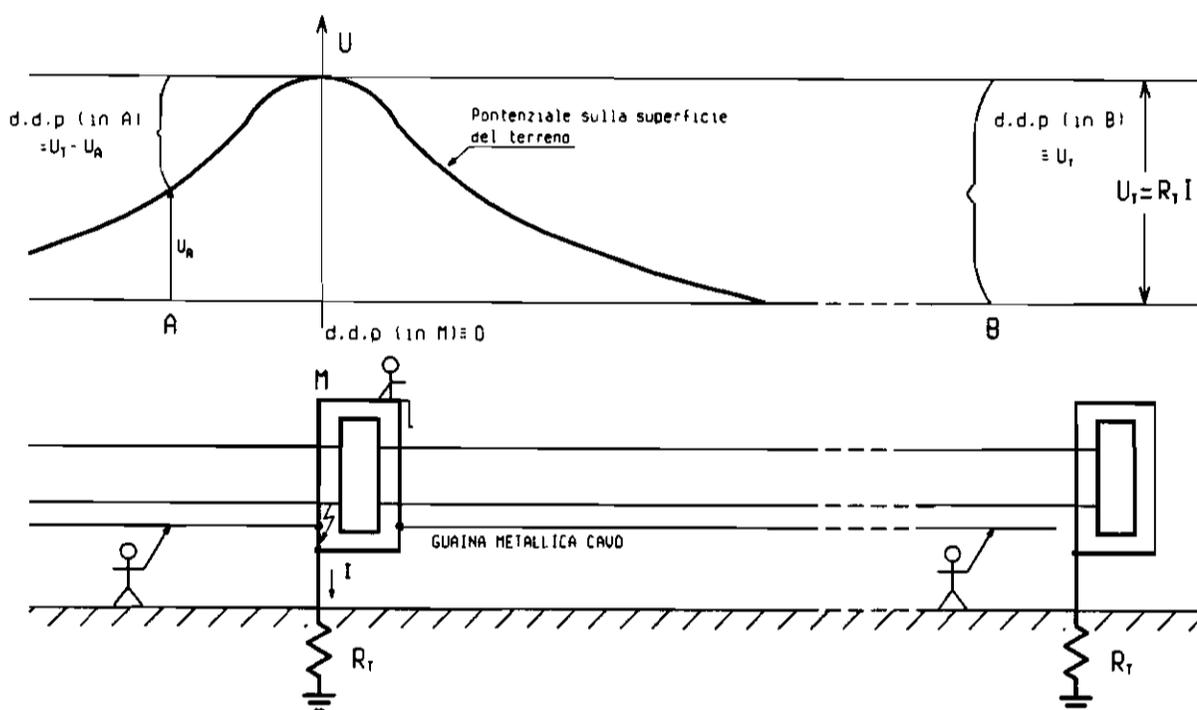


Fig. 2 - Andamento del potenziale sulla superficie del terreno. Trasferimento a distanza di tensioni pericolose.

Diversi articoli della Norma Tecnica si preoccupano di creare condizioni impiantistiche che evitino o riducano l'insorgere delle sovratensioni o che, pur in loro presenza, evitino ogni loro possibile influenza sull'impianto.

Alcuni esempi possono essere utili ad una migliore comprensione delle problematiche affrontate dalla Norma Tecnica e delle relative prescrizioni.

Esempio n. 1: Sistema di rilevamento delle temperature dei cuscinetti dei rotabili (sistema RTB)

In piena linea (fig. 3) le masse del sistema di rilevamento delle temperature dei cuscinetti dei rotabili (sistema RTB) vengono collegate ad una terra elettricamente indipendente perchè l'armadio è situato al di fuori della zona di rispetto TE. La testa di lettura, essendo fissata alla rotaia, di fatto è collegata all'impianto di terra costituito dal circuito di ritorno TE. Il sistema RTB fa quindi riferimenti a due impianti di terra che possono assumere potenziali diversi!

Per guasto del circuito di alimentazione della trazione elettrica la rotaia può assumere un potenziale di alcuni kV, mentre le masse all'interno dell'armadio RTB rimangono praticamente a potenziale zero. *La differenza di potenziale può essere tale da provocare il cedimento dell'isolamento del sistema RTB, con conseguente guasto delle apparecchiature.* Per il sistema RTB è stata adottata la protezione per separazione elettrica (art. 413.5 della Norma CEI 64-8).

La testa di lettura viene applicata alla rotaia tramite un supporto isolante. Per le dimensioni ridotte e la particolare configurazione dell'installazione si può considerare non tensionabile per guasto della TE. L'armadio era già non tensionabile.

L'alimentazione a 220 V del piccolo motore e delle scaldiglie interne alla testa di lettura, nonché quella dell'elettronica contenuta nell'armadio viene effettuata tramite un trasformatore di isolamento (Norma CEI 14-6) [14]. Il trasformatore costruito secondo le Norme Tecniche IS 365 (Norme Tecniche per la fornitura ed il collaudo di trasformatori monofasi e trifasi a raffreddamento naturale in aria destinati agli impianti di sicurezza e segnalamento) assicura un grado di isolamento superiore a quello richiesto dalla Norma CEI 14-6 e quindi può essere considerato equivalente.

Le masse non sono intenzionalmente collegate a terra, nè alle masse di altri circuiti, nè a masse estranee. Per evitare il rischio di un guasto a terra nel circuito separato viene curato in modo particolare l'isolamento verso terra (posa dei cavi di collegamento testa/armadio entro tubi isolanti, armadio RTB isolato dal piano di calpestio della garitta), realizzando condizioni di isolamento equivalenti alla protezione mediante componenti di Classe II (qualsiasi guasto nel sistema RTB deve rimanere all'interno del sistema stesso).

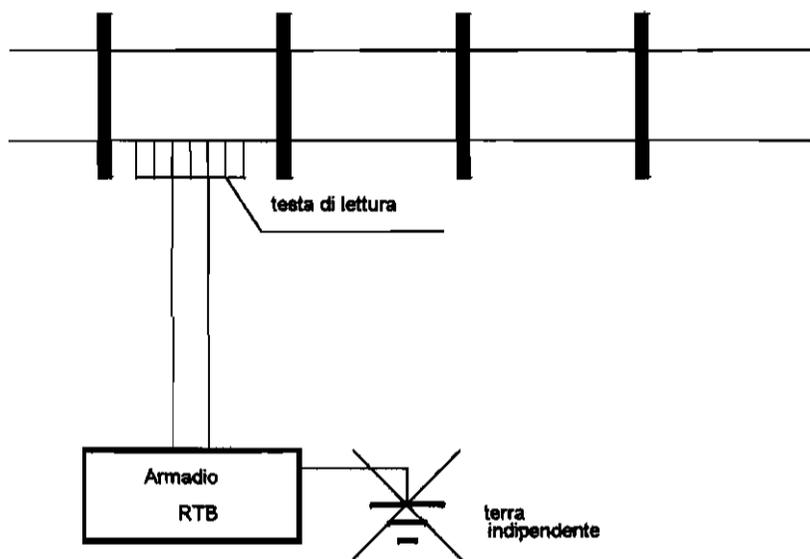


Fig. 3 - Sistema RTB: protezione per separazione elettrica e isolamento doppio o rinforzato

Come soluzione alternativa, si poteva isolare da terra l'armadio RTB e poi collegare il tutto al binario. In caso di guasto TE o guasto interno al sistema ci saremmo trovati nella situazione della persona in M. Naturalmente, l'isolamento verso terra del sistema deve corrispondere a quello richiesto nella zona di rispetto TE.

Esempio n. 2: Circuito di relazione del Blocco Automatico

La circolazione dei treni lungo linea è regolata, oltre che dall'accertamento preventivo dello stato di libertà del circuito di via, dall'invio di "informazioni", tramite contatti stabiliti di relè inseriti nei circuiti di relazione (fig. 4), tra un posto di blocco (PBA) e l'altro e tra questi e le stazioni limitrofe.

Nell'ipotesi di guasto in linea (per caduta della linea di contatto sul binario o cortocircuito sul locomotore) si può localizzare tra i centri delle connessioni induttive A e D una differenza di potenziale tale da far innescare gli scaricatori S1 e S2, con conseguente intervento indebito degli interruttori a scatto. Si rinvia alla memoria [3] e/o all'articolo [4] per un eventuale approfondimento dell'argomento.

Gli impianti di sicurezza e segnalamento hanno la caratteristica fondamentale di adottare, quale sistema di distribuzione, il sistema IT per esigenza di continuità d'esercizio e per criteri di sicurezza circuitale ferroviaria. Gli scaricatori erano l'unico riferimento a terra e, nel caso in esame, tramite il cavo di relazione, a impianti di terra che possono assumere potenziali diversi. Dato che il livello di isolamento verso terra di tutti i componenti del circuito di relazione (cavo di relazione, relè, ecc.) è superiore alle massime sovratensioni comunque ipotizzabili (2000 V) la presenza degli scaricatori era non solo superflua ma anche dannosa!

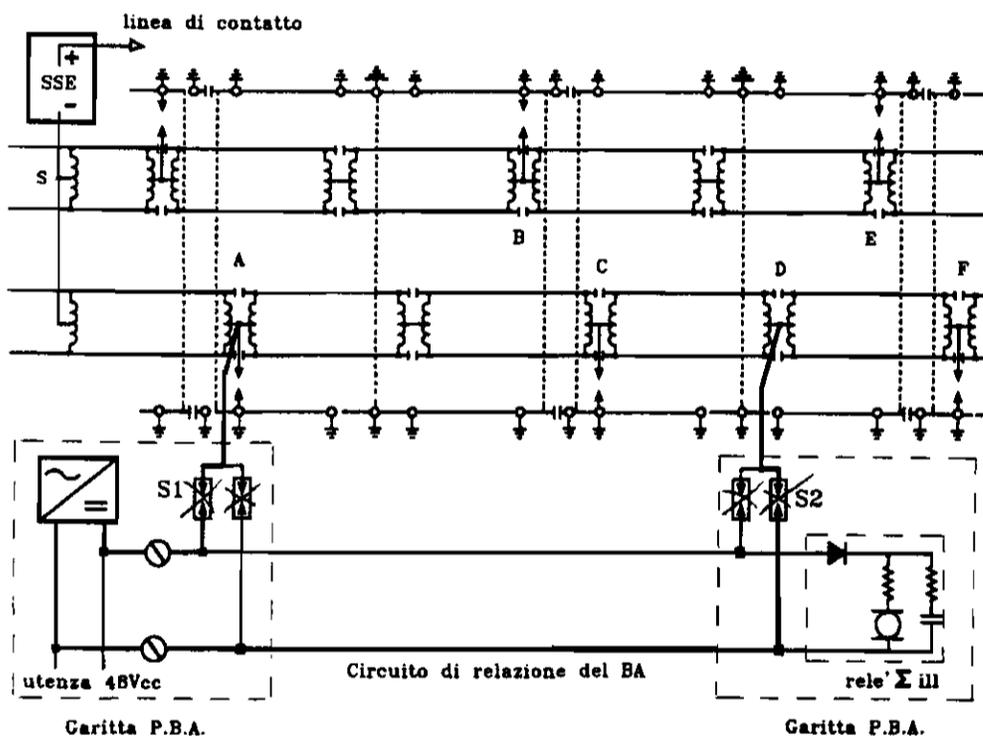


Fig. 4 - Circuito di relazione del blocco automatico e circuito di terra di protezione TE

Come soluzione alternativa si potevano togliere gli scaricatori da un solo lato, eliminando così il riferimento a *due* diversi impianti di terra. Questa è la soluzione generalmente preferita dalla Norma Tecnica (art. 2.4.07) che ne vieta l'impiego lungo linea (tra parti attive e terra) ma non in cabina.

Nell'esempio n. 2, come già detto, l'isolamento del circuito rendeva comunque superflua la presenza degli scaricatori anche nell'altro lato (rimane sempre la protezione degli interruttori a scatto). Inoltre, in presenza di scaricatori da un lato, è sufficiente che ci sia una perdita di isolamento del cavo lungo linea per ricreare le condizioni del riferimento a *due* diversi impianti di terra (uno tramite gli scaricatori, l'altro dovuto al basso isolamento del cavo). In questo caso risulta pertanto fondamentale il controllo continuo dell'isolamento come misura di prevenzione contro le sovratensioni.

Prescrizioni particolari per l'impiego di scaricatori.

E' senz'altro la parte più innovativa della Norma Tecnica. Intanto, si parte dal principio che la protezione degli impianti contro le sovratensioni può essere fatta *anche* non utilizzando scaricatori (nell'esempio n. 2 vengono vietati!), ma adottando tutta una serie di misure di prevenzione per evitare o ridurre l'insorgere delle sovratensioni.

E' bene precisare che l'impiego di scaricatori fra parti attive e terra per la protezione contro le sovratensioni non è imposto da nessuna legge o norma.

Il D.P.R. 547/55 [5] all'art. 284 dispone: "Allo scopo di impedire che i conduttori e gli apparecchi a bassa tensione subiscano accidentali sopraelevazioni di tensioni pericolose [*ed è il caso più diffuso in zona di rispetto TE*] per effetto di conduttori, trasformatori o apparecchi a tensione superiore, devono essere adottate *idonee* misure, quali il collegamento a terra del neutro, l'applicazione di valvole di tensione o di altri dispositivi equivalenti. Analoghe misure di sicurezza devono essere adottate per evitare contatti fra sistemi di distribuzione a diverse tensioni."

E per quanto riguarda le scariche atmosferiche all'art. 286 dispone: "Gli impianti elettrici devono, in quanto necessario ai fini della sicurezza ed in quanto tecnicamente possibile, essere provvisti di idonei dispositivi di protezione contro gli effetti delle scariche atmosferiche".

Il D.P.R. 323/56 [6] all'art. 11 dispone in maniera ancora più generica:

"I conduttori e le apparecchiature telefoniche che possono essere soggetti a sovratensioni o sovraccarichi pericolosi in dipendenza di contatti o induzioni con linee elettriche o scariche atmosferiche, devono essere opportunamente protetti."

Il Ministero delle PT, in attuazione della suddetta prescrizione, ha emanato la Circolare [7] per la protezione delle linee di telecomunicazione da perturbazioni esterne di natura elettrica. Nella circolare vengono individuate le seguenti cause perturbatrici:

- a) - scariche atmosferiche;
- b) - induzione prodotta da linee elettriche;
- c) - accoppiamento galvanico con dispersori di terra di impianti elettrici ad alta tensione;
- d) - contatti fisici con linee elettriche.

La probabilità di una scarica atmosferica diretta negli impianti di segnalamento e telecomunicazione è alquanto remota per la posizione relativa dei circuiti rispetto alla linea di contatto e alle diverse infrastrutture TE presenti sul piazzale e lungo linea. Quest'ultime, nei confronti di tali impianti, si comportano come dei veri e propri organi di captazione [4].

Le scariche indirette sono possibili, anche a seguito di fulminazione della linea di trazione, ma le sovratensioni non sono dannose per gli impianti se i circuiti sono ben isolati da terra e dal circuito di protezione TE. *Soprattutto per questo motivo è assolutamente da evitare (art. 2.1.01) il collegamento al circuito di terra di protezione TE.*

Alcuni criteri e sistemi di protezione attualmente adottati negli impianti non tengono invece nessun conto della causa principale delle perturbazioni, cioè l'accoppiamento galvanico con dispersori di terra di impianti elettrici ad alta tensione.

Di fatto, sulle linee elettrificate gli impianti si vengono a trovare nella zona di influenza dell'impianto di terra (di sottostazione o lungo linea) di un sistema di distribuzione ad alta tensione, dove la sopraelevazione del potenziale di terra, in caso di guasto [3], può superare il valore limite imposto dalle norme.

In questo caso si sarebbe dovuta applicare la Circolare del 13 marzo 1973 [8] del Ministero delle PT: "Prescrizioni per gli impianti di telecomunicazioni, allacciati alla rete pubblica, installati nelle cabine, stazioni e centrali elettriche ad alta tensione", ai quali i nostri impianti sono assimilabili. Nelle figure 5a e 5b sono riportati alcuni degli schemi previsti per gli impianti telefonici.

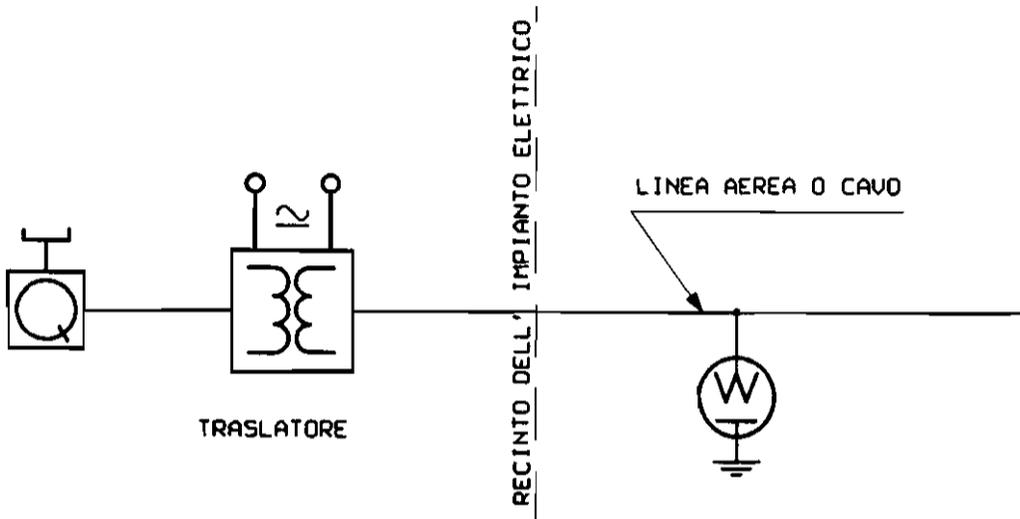


Fig. 5a - Impianto telefonico a prova di tensione

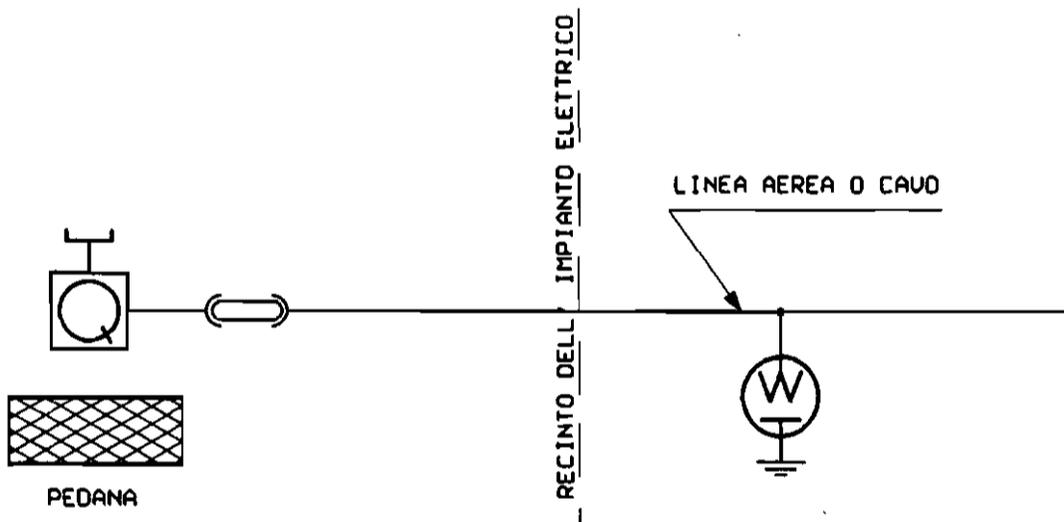


Fig. 5b - Impianto telefonico protetto con separatore galvanico (a frequenza vocale)
(il traslatore è fornito di ripetitore d'impulsi in c.c.)

La suddetta circolare dispone:

- L'isolamento di tutti i componenti degli impianti (cavi, traslatori, ecc.) deve essere almeno tale che la sopraelevazione del potenziale dell'impianto di terra non superi i due terzi del valore della tensione minima di perforazione del detto isolamento.
- Il cavo nei tratti interrati deve essere posato in tubazioni a suo uso esclusivo, costituite da materiale isolante oppure anche in tubazioni o cunicoli ad uso promiscuo, purchè in tal caso, siano rispettate le Norme CEI al riguardo. Nei tratti sulle pareti degli edifici il cavo, se non installato sotto traccia, deve essere protetto mediante tubi isolanti rigidi.
- In tutto il tratto compreso nella zona di influenza dell'impianto di terra la linea telefonica deve essere realizzata con cavi aventi guaina esterna in materiale isolante.
- Le apparecchiature (quadri di alimentazione, apparecchi telegrafici, ecc.) devono essere alimentate attraverso un trasformatore di isolamento, con isolamento almeno uguale a quello sopra detto e non devono essere in contatto con altre eventuali apparecchiature collegate alla rete di terra locale.
- Se necessario, deve essere prevista una pedana isolante, secondo le prescrizioni del D.P.R. 547/55, art. 273, disposta in modo tale che chi entra in contatto con componenti degli impianti telefonici possa facilmente mantenersi completamente isolato dalle apparecchiature di cui sopra.
- L'eventuale collegamento di messa a terra di funzionamento deve essere effettuato al di fuori della zona di influenza della rete di terra dell'impianto elettrico.
- "Qualora sulla linea telefonica (o telegrafica) debbano essere impiegati degli organi di protezione con scaricatori, essi devono essere installati al di fuori del recinto dell'impianto elettrico; la presa di terra di tali organi non deve, ovviamente, essere collegata con la rete di terra dell'impianto elettrico."
- "Le presenti prescrizioni riguardano naturalmente, la parte di impianto di telecomunicazioni posta *nella zona di influenza della rete di terra dell'impianto elettrico*, zona che si può delimitare, agli effetti delle presenti Norme, come area contenuta nel recinto esterno dell'impianto elettrico oppure area contenuta nel locale dell'impianto elettrico, nei casi in cui non esista il recinto".

Le ultime due prescrizioni sono state prese testualmente dalla circolare. Qualche perplessità rimane sulla effettiva delimitazione della zona di influenza, che nella realtà difficilmente coincide con il recinto dell'installazione o con la massicciata.

La necessità di installare scaricatori all'estremo della linea dipende dal livello ceramico della zona, dalla resistività del terreno, dal tipo di linea e dalla sua lunghezza. L'obiettivo è quello di limitare le sovratensioni che *la linea* può condurre alle apparecchiature interne, a valori inferiori a quelli ammissibili. *Se la linea è in cavo e non è esposta alle scariche atmosferiche, non è richiesta alcuna protezione se non l'isolamento sopra richiamato.*

Sulle linee elettrificate, in particolare per gli impianti di segnalamento e telecomunicazione, la possibilità di circoscrivere l'analisi delle cause di sovratensioni a guasti nel circuito di alimentazione del sistema di trazione elettrica a corrente continua a 3000 V [3] ha permesso di individuare efficaci misure di protezione. Nei due esempi sopra riportati, le misure adottate (nel primo, la protezione per separazione elettrica e il doppio isolamento e, nel secondo, un isolamento adeguato del circuito di relazione alle sovratensioni riscontrabili) hanno eliminato le anomalie dovute alle sovratensioni, *senza l'uso di scaricatori!*

La Norma Tecnica (art. 2.4.07) fa notare che *nei casi in cui non si possono utilizzare gli scaricatori tra parti attive e terra, per la protezione contro le sovratensioni bisogna adottare altri tipi di provvedimenti: isolamento adeguato, protezione per separazione elettrica, traslatori, limitatori di sovratensioni fra i conduttori, fusibili, cavi in fibra ottica, ecc.*

Esempio n. 3: Linea di distribuzione a 1000 V in corrente alternata.

L'alimentazione del blocco automatico (BA) viene effettuata con una linea di distribuzione (fig. 6) in cavo a 1000 V in corrente alternata, monofase o trifase.

In stazione, gli armadi hanno la funzione di elevare la tensione proveniente dalla centralina di continuità al valore di tensione idoneo all'alimentazione della linea di distribuzione del BA. Si distinguono nei tipi:

- *Monofase*, con tensione ingresso/uscita pari a 150/1000 V;
- *Trifase*, con tensione ingresso/uscita pari a 380/1000 V.

In linea, gli armadi alimentano i circuiti del posto di blocco e consentono la continuità ed il sezionamento della linea di distribuzione. Si distinguono nei tipi *monofase* e *trifase*, ma tale distinzione riguarda esclusivamente il settore alta tensione (AT), che varia in funzione del sistema di distribuzione usato, mentre il settore bassa tensione (BT) fornisce comunque una tensione monofase a 150 V.

Prescrizioni particolari vengono previste per la messa a terra dell'armatura del cavo a 1000 V, prevista per la protezione del cavo contro danneggiamenti di natura meccanica o provocati dai roditori: l'armatura del cavo di ogni sezione di blocco deve essere messa a terra sempre e solamente ad una estremità, con l'avvertenza che non deve essere connessa a terra, e quindi al neutro, l'armatura del cavo in partenza e/o in arrivo della linea di distribuzione.

Negli armadi di stazione l'armatura del cavo AT risulterà perciò sempre isolata e non accessibile (con l'estremità "affogata" nell'isolante del cono terminale).

Invece, negli armadi di linea le armature dei cavi in ingresso ed in uscita dell'alimentazione ad alta tensione risulteranno o tutte e due collegate a terra, oppure un' armatura sarà collegata a terra, insieme alle altre apparecchiature della garitta, mentre l'altra dovrà risultare isolata e non accessibile.

Praticamente, considerando l'alimentazione normale di una tratta, nel primo armadio di linea risulterà collegata a massa l'armatura del cavo AT sia dal lato ingresso che da quello di uscita. In tutti i restanti armadi della tratta risulterà collegata a massa solo l'armatura del cavo AT che si attesta sul lato uscita dell'alimentazione.

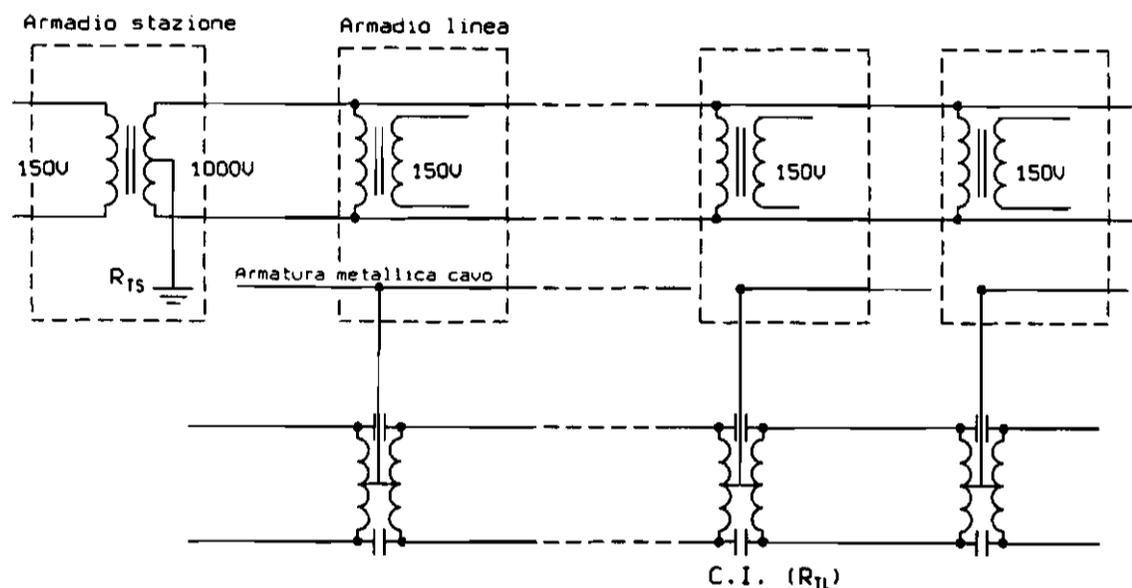


Fig. 6 - Linea di distribuzione a 1000 V ca - Messa a terra dell'armatura del cavo.

L'armatura del cavo di ogni sezione di blocco è messa a terra sempre e solamente ad una estremità, per evitare:

- la costituzione di una terza via per il ritorno TE;
- il cortocircuito di condizioni di sicurezza degli impianti di segnalamento;
- la corrosione elettrolitica dell'armatura metallica;

con la particolarità che non è connessa a terra, e quindi al neutro, in partenza e/o in arrivo (essendo prevista l'inversione dell'alimentazione della tratta) della linea di distribuzione, non dovendo l'armatura essere, di fatto, un conduttore (PEN) di protezione e di distribuzione del neutro. Se così fosse l'armatura dovrebbe avere la sezione equivalente al conduttore di fase o, dato che è minore, un dispositivo di rilevazione della sovracorrente che provochi l'interruzione dei conduttori di fase (Art. 473.3.2 - Norma CEI 64-8).

Per l'alimentazione degli impianti di blocco automatico viene utilizzato il sistema TT [9]. La distribuzione con il sistema IT, utilizzata nella quasi totalità degli impianti di segnalamento, sarebbe stata problematica, considerate l'estensione della linea (a volte oltre i 10 km) e l'alta tensione, per i seguenti motivi:

- la difficoltà di soddisfare la condizione che la tensione sulle masse, in caso di primo guasto a terra, non superi il valore di 50 V per la possibile presenza di notevoli capacità verso terra (cavo di alimentazione, masse diverse lungo linea, ecc.);
- la difficoltà, in caso di secondo guasto a terra, di stabilire in sede di progetto o con prove l'impedenza del circuito di guasto, circuito che comprende oltre all'impedenza del trasformatore di alimentazione nell'armadio di stazione, la resistenza dei conduttori di fase a massa e l'eventuale resistenza del tratto di armatura metallica del cavo interessati al guasto, la resistenza di terra in stazione e quella del punto di guasto in linea.

In caso di guasto fase/armatura metallica, per assicurare *comunque* l'intervento della protezione contro i contatti indiretti si è dovuto ricorrere all'utilizzo di interruttori differenziali. Il dispositivo differenziale prescritto dalle Norme Tecniche IS 394/91 [10] ha le seguenti caratteristiche:

- sensibilità 300 mA regolabile fino a 1 A;
- ritardo all'intervento regolabile fino a 1 s;
- insensibilità alle armoniche di corrente ≥ 300 Hz.

L'ultima caratteristica è stata imposta per evitare l'intervento indebito dell'interruttore differenziale a seguito di sovratensione indotta dalla corrente di trazione!

Il circuito equivalente (fig. 7) evidenzia la modalità dell'interferenza tra la linea di trazione e la linea di distribuzione:

- tra la terra di stazione (R_{TS}) e la terra lungo linea (R_{TL}) si localizza una differenza di potenziale (d.d.p.) per la presenza di correnti di trazione nel terreno;
- tra l'armatura metallica e i conduttori di fase si ha una reattanza capacitiva che è funzione della lunghezza della linea e della frequenza del disturbo.

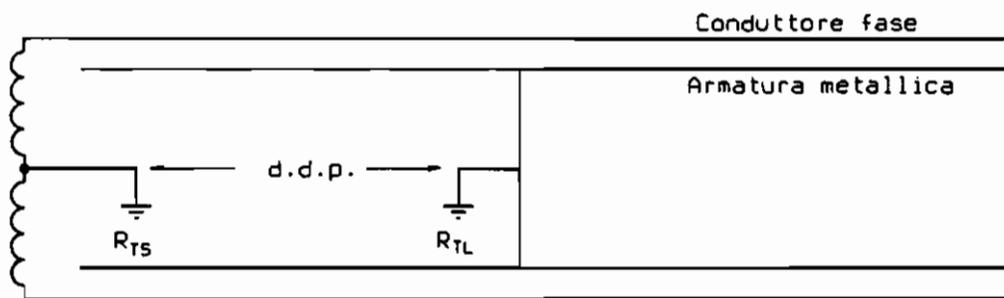


Fig. 7 - Linea di distribuzione a 1000 V ca: modalità dell'interferenza tra la linea di trazione e la linea di distribuzione.

Ciascuna sezione di armatura metallica, interrotta in ogni garitta di BA, costituisce l'altra piastra del condensatore conduttore fase/armatura e tramite la messa a terra al binario di fatto si realizza il parallelo di più condensatori: dal punto di vista capacitivo è come se l'armatura fosse un nastro continuo.

E' stato verificato che, in particolari condizioni d'esercizio (linee di distribuzione lunghe oltre i 5 km) o ambientali (alta resistività del terreno, lunghi periodi di siccità) la componente di ondulazione a 600 Hz (o a 300 Hz) della corrente di trazione circola nel circuito semiavvolgimento secondario del trasformatore / conduttore di fase / guaina metallica provocando l'intervento indebito del dispositivo differenziale. Tale intervento indebito può avvenire anche per guasto del circuito di trazione. Con la circolare [10] si disponeva, negli armadi già in esercizio, l'inserimento di un filtro passa basso, con le caratteristiche sopra riportate, in ingresso del dispositivo differenziale.

La messa a terra di guaine ed armature metalliche dei cavi.

Il collegamento della guaina metallica ad una sola estremità prevista per i cavi di energia non svolge alcuna funzione schermante mentre favorisce accoppiamenti capacitivi e/o conduttivi indesiderati, come evidenziato nell'esempio n. 3, che potrebbero dare origine al malfunzionamento di sistemi di telecomunicazione.

A differenza pertanto di altri elementi strutturali, la guaina e/o armatura metallica dei cavi di telecomunicazione, opportunamente sezionata e resa non accessibile nelle condizioni normali di esercizio, *non* deve essere collegata a terra. D'altronde le tensioni (o più propriamente i segnali) circolanti in questi cavi non sono considerate pericolose, essendo sistemi a bassissima tensione o a limitazione di corrente, e quindi non necessita la messa a terra degli eventuali rivestimenti metallici, da coordinare con le altre misure di protezione.

Nulla vieta di ripristinare la funzione schermante del rivestimento metallico mettendolo a terra in più parti tramite condensatori, i quali bloccano la corrente continua ma permettono la circolazione di correnti che danno origine all'effetto schermante. (Un resistore di scarica sarà connesso in parallelo al condensatore).

Come noto, l'eventuale disturbo si induce sia sulla linea di telecomunicazione che sulle strutture schermanti. Quest'ultime, se messe a terra, sono percorse da corrente che a sua volta induce una tensione sulla linea di telecomunicazione. Questa tensione ha segno opposto a quella indotta dal disturbo, riducendone così gli effetti.

Quando si eseguono lavori lungo un cavo con rivestimento metallico occorre premunirsi da eventuali trasferimenti di tensioni pericolose di terra o collegando il rivestimento metallico del cavo stesso a tutte le altre masse metalliche accessibili (inclusi tutti i rivestimenti metallici di altri cavi) o prendendo precauzioni per isolare gli operatori dalle parti pericolose (Art. 3.3.03 - Norma CEI 11-17) [14].

Si sottolinea la necessità di operare avendo anche ben presente che non bisogna recare disturbo agli impianti di segnalamento.

Ad esempio, nelle procedure d'intervento sui quadri elettrici [11], volte a facilitare le normali operazioni di inversione dell'alimentazione del BA, di disattivazione di sezioni di cavo AT o di posti di BA nelle normali condizioni d'esercizio e garantire nel contempo condizioni di sicurezza rispetto ai pericoli di contatti accidentali con la tensione a 1000 V, è prescritto che ogni morsettiera lato AT deve essere provvista di fioretto per il cortocircuito del cavo AT e simultanea messa a terra dell'armatura del cavo nei soli lati in cui è stata collegata a terra.

Praticamente, nel caso di disalimentazione di una sezione del cavo, essa è messa a terra dal lato dove è a terra l'armatura, mentre dall'altro lato viene solo cortocircuitata e non messa a terra per non creare una terza via alla corrente di trazione o cortocircuitare condizioni di sicurezza degli impianti di segnalamento con impianti funzionanti.

Dovendo intervenire sul cavo dal lato dove è solamente cortocircuitato o lungo la tratta, mentre non è possibile il tensionamento a 1000 V, si possono avere eventuali trasferimenti di tensioni di terra o indotte pericolose.

Pertanto è necessario mettere a terra *localmente* sia il cavo che l'armatura metallica. Si presentano due situazioni:

- la sezione di blocco è messa fuori servizio: si ha una momentanea terza via per la corrente di trazione ma nessun problema al segnalamento;
- la sezione di blocco è funzionante: si deve effettuare la messa a terra localmente e disinserire la messa a terra all'altro capo del cavo per non cortocircuitare condizioni di sicurezza degli impianti di segnalamento.

Esempio n. 4: Impianto di annuncio treni numerico (ATN).

L'impianto di annuncio treni numerico (ATN) realizza un sistema informativo riguardante la presenza dei treni nelle stazioni e la successione dei treni nelle tratte di linea afferenti alle stazioni comprese nell'area servita.

L'individuazione dei treni avviene tramite il loro numero rappresentativo su un video, in corrispondenza del segno grafico che identifica il binario di stazionamento o la postazione di linea.

La trasmissione del numero del treno alla stazione successiva avviene automaticamente sulla base di informazioni fornite al sistema ATN dall'apparato centrale di stazione.

Nell'area servita, che è delimitata da stazioni porta (SP) e comprende stazioni intermedie (SI), il sistema ATN gestisce le informazioni secondo il senso di marcia dei treni, con collegamenti tra una stazione e l'altra.

L'impianto ATN, in ogni località di servizio, è costituito da:

- un elaboratore collegato con l'apparato centrale per la gestione del numero del treno (NT);
- una pulsantiera di comando ad uso del Dirigente Movimento per impostare o variare la posizione dei NT;
- un terminale video sul quale sono schematicamente rappresentati i binari di stazione e di linea con le relative situazioni dei NT memorizzati dal sistema.

Parte delle apparecchiature (fig. 8) sono localizzate nella Sala Relè e messe a terra insieme a quelle dell'Apparato Centrale. In Sala Movimento fanno invece capo alla terra degli impianti luce e forza motrice (LFM).

Nel sistema ATN le apparecchiature fanno quindi riferimento, tramite i cavi di segnalamento e/o telecomunicazione, a impianti di terra che possono assumere potenziali diversi:

- nell'ambito della stazione, all'impianto di terra dell'Apparato e a quello dell'Ufficio Movimento;
- tra le stazioni, agli impianti di terra degli Apparati.

La Norma Tecnica richiede che vengano adottate adeguate misure per evitare che le differenze di potenziale che si possono localizzare tra i diversi impianti di terra non siano di danno per le persone e per le apparecchiature.

Nell'ambito della stazione, per il raggiungimento delle condizioni di sicurezza richieste si presentano le seguenti soluzioni alternative:

- 1) Collegamento ad un unico impianto di terra, con collegamenti equipotenziali supplementari di sezione adeguata all'entità delle correnti di guasto prevedibili.
- 2) Nel caso che la prima soluzione non fosse possibile, impiego di trasformatori di isolamento nel circuito di alimentazione delle apparecchiature nell'Ufficio Movimento, al fine di eliminare la necessità della messa a terra locale (protezione per separazione elettrica). Naturalmente bisogna adottare provvedimenti che garantiscano l'impossibilità di venire a contatto con le masse o i circuiti attivi interni.

Nelle comunicazioni tra le stazioni è espressamente vietato l'impiego di scaricatori fra parti attive e terra (art. 2.4.07), ricorrendo il riferimento a impianti di terra diversi.

La Norma Tecnica permetterebbe l'impiego di scaricatori da un solo lato (verrebbe comunque meno il riferimento a *due* diversi impianti di terra), ma l'isolamento del sistema ATN rende superflua la presenza degli scaricatori anche nell'altro lato.

Si ricorda che, in presenza di scaricatori da un lato, è sufficiente che ci sia una perdita di isolamento del cavo lungo linea per ricreare le condizioni del riferimento a *due* diversi impianti di terra (uno tramite gli scaricatori, l'altro dovuto al basso isolamento del cavo).

Fra l'altro, bisogna assicurarsi che non ci siano collegamenti a terra del comune dei circuiti elettronici o di eventuali protezioni contro le sovratensioni interne alle apparecchiature.

Qualora lo scambio di segnali fosse effettuato su supporti di tipo ottico (o via radio) o con l'interposizione di dispositivi di separazione galvanica (traslatori) con isolamento adeguato, verrebbe meno il riferimento a *due* diversi impianti di terra.

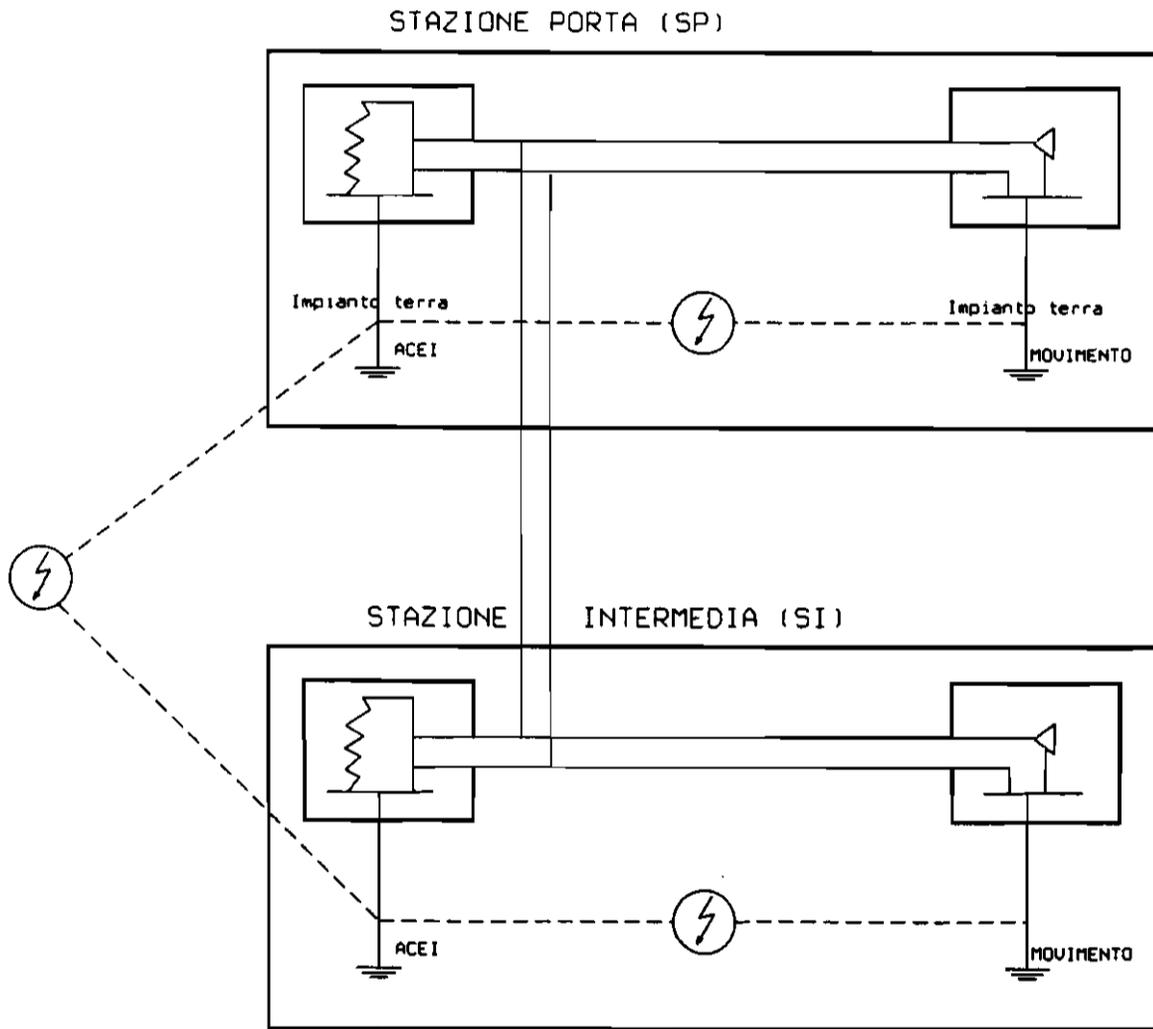


Fig. 8 - Sistema annuncio treni numerico (ATN)

Posizione accessibile, parti conduttrici di piccole dimensioni e tensionabilità

La Norma CEI 9-6 introduce all'art. 2.2.04 il concetto di posizione accessibile, cioè la posizione, relativa ad una massa di un impianto di categoria 0 (zero) e I (prima), che ha qualche punto a distanza inferiore a 3 m dalle posizioni liberamente raggiungibili del terreno circostante o dei manufatti.

Il tensionamento di tali masse, situate all'interno del volume definito dalla zona di rispetto TE, non risulta pericoloso (purchè non elettricamente collegate a distanza) se le stesse non sono accessibili (come ad es. vengono considerate le attrezzature di sostegno della linea di trazione sulle volte delle gallerie).

La Norma introduce inoltre alla fine del suddetto articolo il concetto di parti conduttrici di piccole dimensioni solo per gli impianti installati su linee di trazione a tensione nominale non superiore a 750 V. E' utile comunque riportare l'orientamento a livello CENELEC (Comitato Europeo di Normalizzazione Elettrotecnica) per gli impianti su linee di trazione a corrente continua, come risulta dalla Norma EN 50122-1 [12], in fase avanzata di elaborazione:

"Per strutture conduttrici di piccole dimensioni che *non* sostengono o *non* contengono componenti elettrici *non* è necessario prendere alcuna misura di protezione.

Tali strutture includono ad esempio: coperchi di tombini, piantane porta segnali, piantane per passaggi a livello, singoli pali, tabelle di avviso, bidoni per i rifiuti, recinzioni e reti di lunghezza fino a 15 m misurati parallelamente alla zona di rispetto TE ed a non più di 2 m misurati in una direzione ad angolo retto rispetto a tale zona."

E per le strutture conduttrici di piccole dimensioni che invece sostengono o contengono componenti elettrici? La stessa Norma CENELEC precisa che quest'ultime strutture non possono rientrare nella suddetta definizione perchè possono, in particolari circostanze, trasferire tensioni pericolose a distanze notevoli.

Nell'esempio n. 1, la testa di lettura del sistema RTB viene considerata *non* tensionabile per le dimensioni ridotte e la particolare configurazione dell'installazione: un eventuale tensionamento coinvolgerebbe le masse metalliche circostanti, con sicuro intervento delle protezioni in sottostazione. Inoltre, *ed è l'aspetto più importante da considerare*, le parti attive della testa di lettura, essendo adeguatamente isolate rispetto al contenitore metallico, non verrebbero a loro volta tensionate e viene quindi meno la circostanza del trasferimento a distanza di tensioni pericolose.

Valori ammissibili

Nella Tab. 1 sono riportati i valori ammissibili per le tensioni di contatto e di passo secondo la Norma CEI 9-6.

Tempo di eliminazione del guasto (s)	Tensione in c.a. (V eff.)	Tensione in c.c. (V medi)
≥ 2	50	100
1	70	125
0,8	80	155
0,7	85	175
0,6	125	200
≤ 0,5	160	250

Tab. 1 - Valori ammissibili per le tensioni di contatto e di passo.

La Norma CEI 11-8 [14], richiamata dalla Norma Tecnica, riporta gli stessi valori ammissibili ma solo per la tensione in corrente alternata.

In una linea di telecomunicazione possono manifestarsi condizioni di pericolo associate al valore della tensione indotta da linee elettriche vicine, in caso di guasto e nel funzionamento normale. Nella Tab. 2 sono riportati i valori ammissibili per le tensioni indotte secondo la Norma CEI 103-10 [14], di recente pubblicazione, che sviluppa il problema dell'interferenza in maniera più esauriente. I valori riportati nella Norma CEI 103-6 [14], richiamata dalla Norma Tecnica, sono compresi nella tabella.

Tempo di permanenza del guasto (s)	Tensione in c.a. (V eff.)	NOTE
DANNO PER LE PERSONE		
$t > 1$ e in condizioni di funzionamento normale	60 (150)	1 e 2
$0,5 < t \leq 1$ $0,35 < t \leq 0,5$ $0,2 < t \leq 0,35$ $0,1 < t \leq 0,2$ $t \leq 0,1$	430 650 1000 1500 2000	1
DANNO ALL'IMPIANTO DI TELECOMUNICAZIONE		
$t > 1$ e in condizioni di funzionamento normale	150	3
$t \leq 1$ per impianti in cavo a cp simmetriche: per impianti in cavo a cp. coassiali: per impianti in cavo a fibra ottica:	650 2000 2000	4

Tab. 2 - Valori ammissibili per le tensioni indotte

NOTE:

- 1) Tensione tra un elemento conduttore dell'impianto di telecomunicazione e la terra di riferimento (punto a potenziale assunto convenzionalmente uguale a zero).
- 2) In condizioni di particolare difficoltà, il valore ammissibile può essere portato a $150 V_{eff}$ adottando particolari precauzioni, quali:
 - istruzioni particolari fornite al personale che può avere accesso a tensioni superiori a $60 V_{eff}$, in modo tale da applicare speciali misure di lavoro;
 - avvertimenti esposti sulle parti accessibili degli elementi conduttori.
- 3) Tensione tra un elemento conduttore dell'impianto di telecomunicazione e la terra di riferimento e tensione fra due elementi conduttori qualsivoglia dell'impianto di telecomunicazione.
- 4) Tensione tra un elemento conduttore dell'impianto di telecomunicazione e la terra di riferimento. La tensione fra due elementi conduttori qualsivoglia dell'impianto di telecomunicazione non deve superare il valore di tenuta dell'isolante interposto tra gli elementi. Il suddetto valore non può comunque essere inferiore a $430 V_{eff}$.

Dal confronto delle due tabelle risulta un apparente contrasto nei valori ammissibili. Ad esempio, nell'intervallo di tempo $[0,5 < t \leq 1]$ il valore ammissibile di tensione indotta è di 430 V (e per gli impianti 650 V o 2000 V), mentre i valori per le tensioni di contatto e di passo variano da 70 a 160 V. La spiegazione va ricercata nella diversa natura delle tensioni prese a riferimento:

Tensione di contatto: tensione alla quale può essere soggetto il corpo umano (tensione mano-piedi) in contatto con parti simultaneamente accessibili durante il cedimento di un isolamento.

Tensione di passo: tensione che può risultare applicata tra i piedi di una persona a distanza di passo (convenzionalmente 1 m) durante il cedimento di un isolamento.

Tensione totale di terra: tensione che si stabilisce tra l'impianto di terra quando disperde la corrente di terra, e i punti sufficientemente lontani che si assumono a potenziale zero.

Tensione indotta: tensione tra un elemento conduttore dell'impianto di telecomunicazione e la terra di riferimento (punto a potenziale assunto convenzionalmente uguale a zero) e/o la tensione fra due elementi conduttori qualsivoglia dell'impianto di telecomunicazione, quale risultato dell'interferenza su una linea di telecomunicazione provocata da linee ferroviarie elettrificate in corrente alternata (Norma CEI 103-10) o da linee elettriche vicine (Norma CEI 103-6).

La Norma CEI 9-6 non si preoccupa di stabilire dei valori ammissibili per la tensione totale di terra. Nel solo caso che la tensione totale di terra sia maggiore di 250 V prescrive all'art. 2.1.03, per gli impianti di I categoria non totalmente compresi nell'area dell'impianto di terra TE, un isolamento adeguato:

$$U_p > 500 + U_t + U_o$$

dove: U_p = valore (in V) della tensione di prova verso terra a frequenza industriale per un minuto del componente di I categoria situato entro l'area dell'impianto di terra TE;

U_t = valore (in V) della tensione totale di terra;

U_o = valore (in V) della tensione nominale verso terra del sistema di I categoria.

La tensione totale di terra (anche per guasto di linee elettriche ad alta tensione) è una delle cause maggiore di interferenza (per accoppiamento conduttivo) con gli impianti di segnalamento e telecomunicazione, per la presenza di coppie telefoniche o di altri elementi conduttori che favoriscono la possibilità di far riferimento a punti che possono assumere potenziali diversi: l'impianto di terra TE (o della linea AT) e il punto sufficientemente lontano a potenziale zero.

Il danno per le persone è considerato dalla Norma CEI 103-10 in modo probabilistico (e anche per questo vengono accettati valori superiori per le tensioni indotte). Un impianto di telecomunicazione indotto che presenta valori superiori a quelli ammissibili per un determinato risultato dell'interferenza, presenta tali valori solo in particolari posizioni, per una determinata frazione di tempo e a fronte di una determinata configurazione della linea inducente: pertanto il pericolo di danno si manifesta, per la persona che entra in contatto con l'impianto, solo in quelle posizioni e in quelle frazioni di tempo.

In zona di rispetto TE, l'interferenza di tipo induttivo o capacitivo di eventuali linee elettriche ad alta tensione, capaci di indurre livelli di tensioni indotte dell'ordine di quelle ammissibili, è pressochè nulla sia perchè si dovrebbero avere particolari situazioni di parallelismo e in zone di elevata resistività del terreno, ma soprattutto per la presenza di strutture schermanti per gli impianti di segnalamento e telecomunicazione, quali sono le infrastrutture della trazione elettrica.

Per le linee ferroviarie elettrificate in corrente continua non esiste una equivalente Norma CEI, ma può rivelarsi utile la sopra menzionata Norma CENELEC, che più propriamente

riporta le misure di protezione contro il pericolo del "potenziale di binario", cioè la tensione esistente in condizioni operative e in condizioni di guasto tra i binari di corsa (e tutto quanto è a esso collegato o si trova nella sua zona di influenza) e la terra di riferimento [3].

La Tab. 3 evidenzia la possibilità che in zona di rispetto TE si possano avere, per tempi di permanenza del guasto più brevi, tensioni di contatto ben superiori a quelle riportate nella Tab. 1 per le tensioni in corrente continua.

Tempo di permanenza del guasto t (s)	Tensione di contatto Ut (V)
0,02	940
0,06	770
0,1	660
0,2	535

Tab. 3: Tensioni di contatto massime ammissibili nel sistema di trazione in c.c., in funzione di condizioni di guasto di breve durata (Norma CENELEC EN 50122-1 / Ottobre 1995).

Un adeguato isolamento (almeno 2000 V) delle apparecchiature e degli impianti in genere sono la prima e principale misura di protezione contro le sovratensioni. Bisogna inoltre evitare che artificialmente si abbiano punti di riferimento verso terra di livello più basso (installazione di scaricatori tra conduttori e terra con valori d'intervento notevolmente più bassi dei valori ammissibili, basso isolamento dei cavi, ecc.).

Dimensionamento dei conduttori di terra (e di protezione)

La Norma CEI 9-6, al penultimo capoverso dell'art. 2.4.02, stabilisce che per il dimensionamento dei conduttori di terra negli impianti di I categoria bisogna far riferimento ai seguenti articoli della Norma CEI 64-8 / 1987:

Art. 9.3.01 - Materiali e tipi (dei conduttori di terra)

N.B.: Nell'edizione più recente della Norma CEI 64-8 (Ottobre 1992) le prescrizioni sono riportate negli art. 543.1 e 543.2, con una esposizione diversa ma sostanzialmente equivalente.

Art. 9.6.01 - Determinazione della sezione (dei conduttori di protezione)

N.B.: Il dimensionamento dei conduttori di terra e di protezione è identico, differisce solamente nella prescrizione delle sezioni minime. Nell'edizione più recente della Norma CEI 64-8 (Ottobre 1992) le prescrizioni sono riportate nell'art. 543.1 e, per quanto riguarda gli impianti ferroviari, non sono cambiate.

La sezione dei conduttori non deve essere inferiore al valore determinato dalla formula:

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 t}}{K}$$

dove: S_p : sezione del conduttore di protezione (mm^2)

- I: valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile (A);
- t: tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);
- K: fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti e dalle temperature iniziali e finali.

Il tempo di intervento del dispositivo di protezione dovrebbe essere dato dal tempo totale d'interruzione dell'extrarapido: dai 20 ai 100 ms, in funzione dell'induttanza complessiva del circuito di alimentazione interessato dal cortocircuito. La Norma CEI 9-6 individua, più propriamente, "un tempo di eliminazione del guasto" (art. 1.2.27) per la presenza nelle sottostazioni elettriche di più apparecchiature (protezioni amperometriche e voltmetriche, sistemi di asservimento) interessate all'interruzione del guasto in tutte le condizioni più sfavorevoli. Inoltre, "se sono installati dispositivi di richiusura automatica, il tempo di eliminazione del guasto è la somma dei tempi di permanenza della corrente di guasto durante un ciclo di richiusura (O-C-O) purchè la durata del ciclo non sia superiore a 5 s". Perciò a titolo cautelativo è bene considerare un tempo di intervento pari a 5 s.

La valutazione della *corrente di guasto* è alquanto problematica per le diversissime configurazioni che può assumere il circuito di alimentazione del sistema di trazione elettrica, caratterizzato da più gruppi di conversione in sottostazione, dal loro parallelo, dal parallelo di più sottostazioni, dall'interconnessione con altre linee, ecc.

Molti studi [13] illustrano come sviluppare modelli più o meno accurati per il calcolo di tali correnti, necessario per il corretto dimensionamento delle protezioni in funzione delle correnti minime (taratura degli extrarapidi, relè di tensione, ecc.) e massime (caratteristiche degli extrarapidi, dimensionamento degli impianti di terra, ecc.).

Per tener conto anche del contributo delle sottostazioni limitrofe alla corrente di guasto si è preso come valore tre volte la taratura dell'interruttore extrarapido. E' vero che si possono avere correnti di guasto più elevate, ad esempio, per cortocircuito franco nei pressi di una sottostazione, ma in tal caso bisogna considerare tempi d'intervento della protezione prossimi a quelli dell'extrarapido, mentre il contributo alla corrente di guasto delle sottostazioni limitrofe sarà limitato dalla resistenza della linea, con risultato finale più o meno equivalente.

Taratura interruttore extrarapido	Norma Tecnica I/TC 728	Norma CEI 64-8 (K ricavato dalla Tab 54B - PVC)
fino a 1000 A	70	47
da 1000 A a 2000 A	140	94
da 2000 A a 3000 A	190	140
oltre 3000 A (calcolato per 4000 A)	240	187

Tab. 4: Dimensioni (in mm²) dei conduttori di terra in rame.

La Tab. 4 dà un'idea dei margini utilizzati nel dimensionamento dei conduttori di terra rispetto alla Norma CEI 64-8, margini che possono essere anche più ampi se si riesce a garantire il tempestivo intervento delle protezioni in sottostazione. Nel caso, ad esempio, di un successivo aumento di taratura degli extrarapidi di protezione del circuito di trazione saranno da rivedere, eventualmente, i collegamenti più lunghi (previsti fino a 50 m) o nei punti della tratta dove rimane incerto l'intervento della protezione e/o per le apparecchiature più delicate.

Nel dimensionamento dei conduttori di terra degli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) bisogna fare alcune considerazioni che vanno oltre la necessità di favorire l'intervento dei sistemi di protezione in sottostazione.

In fig. 9 sono rappresentati gli elementi del circuito di alimentazione del sistema di trazione e l'apparecchiatura del segnalamento interessati da un guasto in linea. Facendo riferimento ai dati e alle condizioni riportate nella memoria [3] i parametri, considerando *solo* quelli resistivi per semplicità di trattazione, relativi al circuito di guasto sono:

- R_i: 84 mΩ Resistenza equivalente interna dei gruppi raddrizzatori;
- R_c: 31 mΩ/km Resistenza linea di contatto;
- R_b: 16 mΩ/km Resistenza binario
- R_T: 0,093 mΩ/m Resistenza conduttore di terra (190 mm²): dimensionamento previsto dalla Norma Tecnica;
- R_T: 1,11 mΩ/m Resistenza conduttore di terra (16 mm²). Nell'ipotesi di un dimensionamento secondo una interpretazione letterale, più vicina agli impianti civili, della Norma CEI 64-8 (tempo di intervento del dispositivo di protezione = 30 ms; corrente di guasto = 4 o 5 volte il valore di taratura dell'extratrapido);

V_{cc} 3600 V Tensione sistema di alimentazione

Il potenziale $\left[U_p = \frac{V_{cc}}{R_i/c + R_T} \cdot R_T \right]$ che si stabilisce sull'apparecchiatura oltre che funzione della distanza del guasto dalla sottostazione, dipende dal tipo di collegamento di terra, come evidenziato nella tab. 5, nel caso limite del collegamento al centro della connessione induttiva di 50 m.

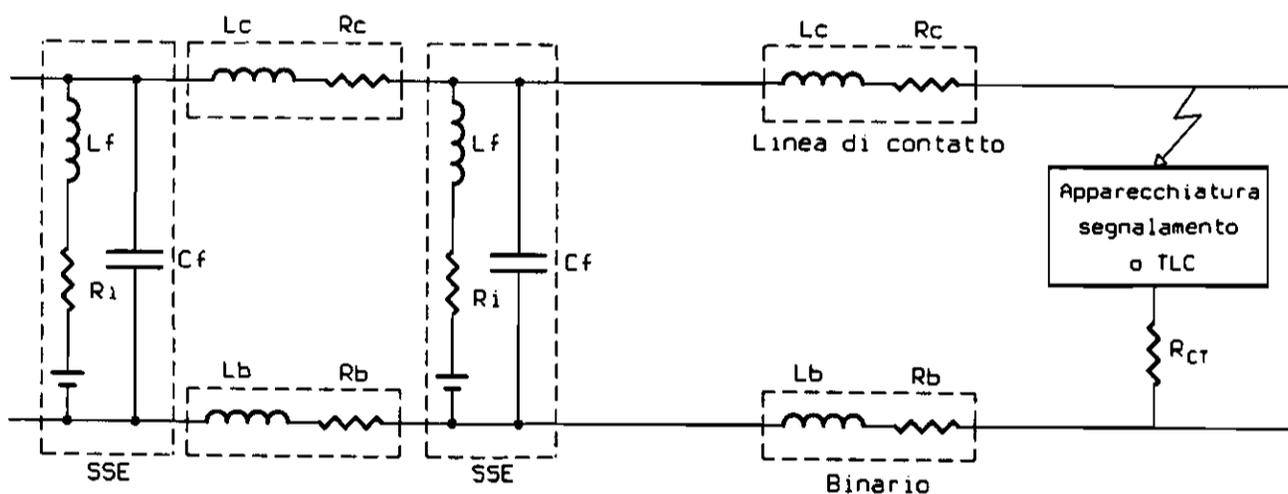


Fig. 9 - Elementi interessati dal guasto in linea.

Sezione conduttore di terra (mm ²)	R _i (mΩ)	R _c (mΩ)	R _{i/c} (R _i +R _c) (mΩ)	R _b (mΩ)	R _{CT} (mΩ)	R _T (R _b +R _{CT}) (mΩ)	U _p (V)
Distanza del guasto dalla SSE = 3 km							
190	84	91	175	48	4,7	52,7	832
16	84	91	175	48	55,5	103,5	1337
Distanza del guasto dalla SSE = 9 km							
190	84	279	363	144	4,7	148,7	1046
16	84	279	363	144	55,5	199,5	1267

Tab. 5 Potenziali sull'apparecchiatura in caso di guasto, in funzione della sezione (e della resistenza) del conduttore di terra (R_{CT})

E' evidente l'importanza dei collegamenti di terra: la continuità elettrica deve essere garantita nelle peggiori condizioni d'esercizio e di posa e nel tempo. Un aumento improprio della resistenza o l'interruzione del collegamento può far permanere sull'apparecchiatura, in caso di guasto, un potenziale di entità tale da provocarne il cedimento dell'isolamento. Tale rischio è ancora più grave in quanto l'interruzione del conduttore di terra (e di protezione) non è segnalata da alcun dispositivo.

Data l'importanza di tale collegamenti si è preferito tenere *parzialmente* conto anche dell'ultima condizione (corrente di guasto permanente di non intervento), non prevista dalla Norma CEI 9-6 per gli impianti di I categoria.

Infatti, la Norma CEI 9-6 (Agosto 1992) dispone che nei casi in cui non può essere garantita l'automatica interruzione del guasto anche nell'ipotesi di guasti anomali (per es., in presenza di una resistenza aggiuntiva di guasto), dovrà essere soddisfatta la condizione che i conduttori di terra, se di rame non superino i 600 °C, e se di altro materiale non si fondano, allorchè sono percorsi permanentemente dalla massima corrente di guasto senza che si verifichi l'intervento del sistema di protezione. A differenza dell'edizione precedente (1956) non si fa riferimento alla taratura dell'extrarapido ma alla massima corrente di guasto che, come detto sopra, è alimentata anche dalle sottostazioni limitrofe e il tempo di intervento non è quello del singolo extrarapido ma quello dell'intero sistema di protezione.

Questa condizione è quella più proibitiva per il dimensionamento dei conduttori di terra. Se fosse stata richiesta anche per gli impianti di I categoria i conduttori di terra avrebbero dovuto avere una sezione molto prossima a quella complessiva della linea di contatto!

Esempio n. 5: Impianto di telealimentazione dei telefoni di linea.

In una linea elettrificata, attrezzata con blocco automatico, situata in una zona con elevati valori di resistività del terreno e con alta attività ceraunica, è stata realizzata la messa a terra delle apparecchiature di telecomunicazione, in una galleria di circa 9 km, in base allo schema di fig. 10.

Dal cavo sono state derivate per ciascun telefono tre coppie, di cui una per la telealimentazione. In stazione un convertitore cc/cc 24/70 invia sulla coppia telefonica una tensione continua di 70 V ed in linea un altro convertitore cc/cc alimenta l'apparecchio telefonico alla tensione continua di 6 V.

La linea è protetta in uscita del convertitore di stazione con una coppia di diodi zener, senza alcun riferimento a terra (anche se predisposto) ed in ingresso del convertitore di linea con un dispositivo di protezione a tre terminali (Texas - TIS - P2290), con funzioni di zener fino a ± 200 V e con innesco di tipo spinterometrico oltre i 290 V, con il terminale centrale messo a terra.

Nei primi due mesi dalla attivazione si sono manifestati guasti sugli apparecchi telefonici di linea a seguito di forti temporali. Successivamente è stato tolto il riferimento a terra della protezione lungo linea e non si sono più riscontrate anomalie o guasti.

In galleria, non potendo realizzare impianti di terra indipendenti sia dal circuito di ritorno TE che dal circuito di terra di protezione TE ed essendo espressamente vietato il collegamento al binario, secondo l'allora vigente normativa (Circolare C.3/1970), sono state stese due trecce di rame da 35 mm^2 , alle quali sono state collegate tutte le masse degli impianti di telecomunicazione. Le trecce sono state poi collegate all'esterno della galleria ad impianti di terra indipendenti. In caso di scariche atmosferiche in un versante, dato anche l'elevato valore di resistività del terreno, le trecce diventano una canalizzazione preferenziale per le correnti di fulmine, attraverso la galleria, tra i due impianti di terra a potenziale diverso. Sono sufficienti poche centinaia di ampere per localizzare in ingresso dei convertitori di linea sovratensioni di entità tale da far innescare le protezioni (succede qualcosa di simile a quanto esposto nell'esempio n. 2, per guasto del circuito di trazione).

$$V_{1/8} = R_t \times I_f = (0,25 \times 1,350 \times 7) \times 300 = 2,36 \times 300 = 708 \text{ V}$$

dove: $V_{1/8}$ è la differenza di potenziale che si localizza tra il telefono 1 e il telefono 8;

R_t è la resistenza delle due trecce ($0,25 \Omega/\text{km}$);

I_f è l'intensità della corrente di fulmine (generalmente sono migliaia di ampere!).

Togliendo il riferimento a terra, si è isolata la coppia telefonica dall'impianto di terra, responsabile di convogliare all'interno della galleria (e degli apparecchi telefonici) le sovratensioni di origine atmosferica!

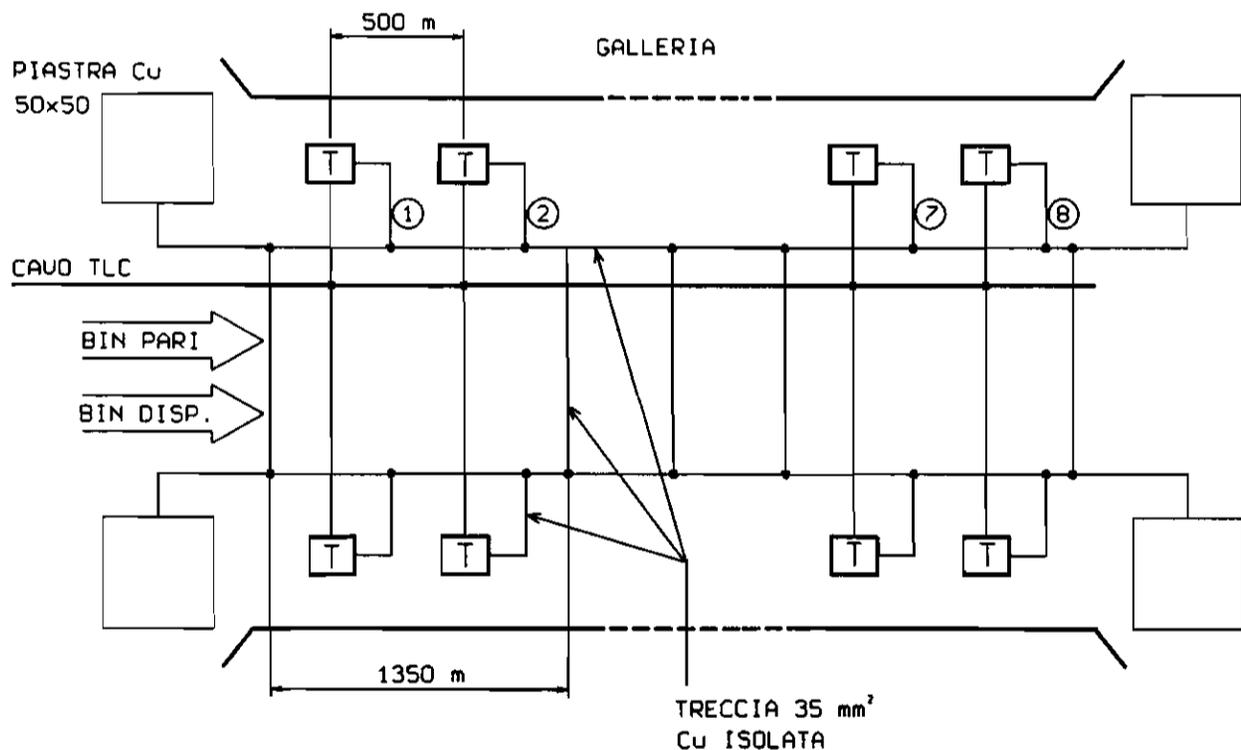


Fig. 10 - Schema base dell'impianto di terra in galleria degli impianti telefonici.

Questi impianti, fra l'altro, possono essere realizzati conformemente alle prescrizioni relative alla protezione mediante componenti elettrici di Classe II o con isolamento equivalente (art. 413.2 - Norma CEI 64-8) o alla protezione mediante bassissima tensione (Art. 411.1 - Norma CEI 64-8), che non richiedono necessariamente la messa a terra. In zona di rispetto TE, l'isolamento deve essere adeguato a quello relativo alla trazione elettrica.

Secondo la nuova Norma Tecnica, ricorrendo le condizioni del riferimento ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi, è vietato l'uso di scaricatori tra parti attive e terra.

D'altronde, essendo ammessi certi valori di tensioni (Tab. 4) verso terra, l'isolamento dell'impianto deve essere superiore a tale valori e l'eventuale dispositivo di protezione dovrebbe intervenire solo se tali valori sono superati ($V_p > 940$ V).

E' sempre richiesta la protezione fra i conduttori, ma non deve intervenire per valori della tensione nominale (70 Vcc) e qualora se ne determinino le condizioni deve essere in grado di sopportare, senza danni, la corrente di scarica dopo l'innesco, mantenendo il valore della tensione residua entro i limiti definiti dal livello di isolamento, ma superiore alla tensione nominale: in altre parole, deve limitare le sovratensioni ma non cortocircuitare la linea come in effetti faceva il dispositivo installato.

CONCLUSIONI

Con queste note gli autori non pensano certo di aver chiarito esaurientemente tutte le problematiche relative alla messa a terra negli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima), in particolare di segnalamento e telecomunicazione, sulle linee di trazione elettrica a corrente continua a 3000 V. Essi sperano tuttavia di essere riusciti ad evidenziare che la messa a terra negli impianti non è solo un problema di antinfortunistica: la corretta applicazione della legislazione tecnica vigente (e, in mancanza, il puntuale ricorso a normative internazionali) è il presupposto fondamentale per il buon funzionamento degli impianti.

La Norma Tecnica, alla cui stesura il Servizio I.E. ha collaborato in misura determinante, avrà un impatto notevole sugli impianti fissi ferroviari per alcune importanti innovazioni:

- 1) Applicazione integrale della Norma CEI 9-6 - Agosto 1992.

E quindi, annullamento delle prescrizioni relative a tutti gli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) contenute nell'Istruzione C.3 Ed. 1970 (Istruzione per il circuito di ritorno TE e per i circuiti di terra sulle linee elettrificate a c.c. 3 kV).

- 2) Adozione di adeguate misure di prevenzione per una efficace protezione contro le sovratensioni negli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima).

Nel realizzare la messa a terra bisogna evitare che componenti degli impianti o delle apparecchiature, in particolare IS e TLC, abbiano riferimenti (tramite coppie telefoniche, circuiti di relazione, elementi strutturali, ecc.) ad impianti di terra che possono assumere potenziali diversi. Pertanto:

- a) viene espressamente vietato l'impiego di scaricatori tra parti attive e terra.

Di fatto viene esteso, con opportune integrazioni, a tutti gli impianti quanto già sperimentato con successo per i circuiti di relazione del blocco automatico: le anomalie per sovratensioni (per guasto TE o scariche atmosferiche) sono scomparse!

b) viene drasticamente ridotta la possibilità di *realizzare impianti di terra separati*.

Praticamente, l'estensione delle norme tecniche per la messa a terra negli impianti di segnalamento al settore TLC elimina migliaia di impianti di terra separati (e quindi riduce la possibilità di far riferimento a impianti di terra che possono assumere potenziali diversi).

In alcune zone, per l'alta resistività del terreno, alla difficoltà di realizzazione di impianti di terra con i valori di resistenza richiesti dalla normativa si aggiungeva la beffa di aver speso somme ingenti per realizzare in effetti un sistema di protezione che era contro le più elementari regole di buona tecnica antinfortunistica. Senza poi contare i successivi costi periodici per la manutenzione e le verifiche di legge!

Dati i notevoli benefici in termini di economicità e di regolarità di esercizio (un buon 20% delle anomalie negli impianti è dovuto a sovratensioni, che potrebbero essere evitate con gli opportuni accorgimenti impiantistici previsti dalla nuova Norma Tecnica) è opportuno favorirne la sollecita applicazione.

E' in preparazione una notizia tecnica e/o l'elaborazione di una nuova normativa sulla protezione degli impianti contro le sovratensioni (in collaborazione con l'Area Ingegneria).

La normativa vigente o "non ha senso" o è carente o, in alcuni casi, come nei circuiti di relazione, la sua applicazione provocava anomalie.

La Norma Tecnica per la messa a terra crea le condizioni impiantistiche più idonee per una successiva efficace protezione contro le sovratensioni. Nel settore segnalamento molto è stato fatto con la richiesta di particolari livelli di isolamento per le apparecchiature. Ad esempio, con la Norma Tecnica IS 402 / Gennaio 1988 sulla fornitura di apparecchiature elettroniche destinate agli impianti di sicurezza e segnalamento viene richiesta una prova di tenuta ad impulso (con impulsi di forma normalizzata di 1,2 / 50 μ s) di 2,5 kV per le apparecchiature installate in sala relè, posti di movimento, stazioni e di ben 5 kV per le apparecchiature destinate ad essere installate all'esterno, in garitte o armadi.

Identica normativa dovrebbe essere estesa alla fornitura delle apparecchiature degli altri settori ferroviari, specialmente se sono destinate ad essere installate all'esterno.

RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFIA

- [1] FS - Area Ingegneria e Costruzioni
Norma Tecnica I/TC N° 728 - Settembre 1995
"Messa a terra negli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima), in particolare di segnalamento e di telecomunicazione, sulle linee di trazione elettrica a corrente continua a 3000 V"
- [2] Carrescia Vito
Fondamenti di sicurezza elettrica
Hoepli - Milano
- [3] De Boni Enrico - Pasquali Andrea - Tartaglia Elia
"Il circuito di via: generatore di impulsi ad alta tensione"
Memoria vincitrice del Premio Mallegori 1994
Ingegneria Ferroviaria - n. 4 - speciale - Aprile 1995
- [4] De Boni Enrico - Tartaglia Elia
"La regola d'arte negli impianti di telecomunicazione"
La Tecnica Professionale - Dicembre 1994
- [5] D.P.R. 27 aprile 1955, n. 547
"Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro"
- [6] D.P.R. 20 marzo 1956, n.323
"Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro negli impianti telefonici"
- [7] Circolare Ministero P.T. DCST/3/2/7900/42285/2940 del 18 febbraio 1982
"Protezione delle linee di telecomunicazione da perturbazioni esterne di natura elettrica"
- [8] Circolare Ministero P.T. LCI/U2/2/71571/SI del 13 marzo 1973
"Prescrizioni per gli impianti di telecomunicazione allacciati alla rete pubblica installati nelle cabine, stazioni e centrali elettriche A.T."
- [9] De Boni Enrico - Tartaglia Elia
"La nuova Norma CEI 64-8 e gli impianti di sicurezza e segnalamento"
La Tecnica Professionale - Settembre 1993
- [10] FS - Servizio Infrastrutture
Quadri elettrici per l'alimentazione degli impianti del blocco automatico
(Circolare ES.I/S/104609 del 19 febbraio 1992)
- [11] FS - Servizio Infrastrutture
Procedure d'intervento sui quadri elettrici per l'alimentazione degli impianti del blocco automatico e sulla linea di distribuzione a 1000 V in corrente alternata
(Circolare ES.I/S/109077 del 23 dicembre 1992)
- [12] Norma EN 50122-1 - CENELEC - Ottobre 1995
"Railways applications - Fixed Installations -
Protective Provisions Relating to Electrical Safety and Earthing"
- [13] Russo Alfonso
"Calcolo delle correnti di cortocircuito su linee per trazione elettrica"
Ingegneria Ferroviaria - Dicembre 1989

[14] NORME CEI

- Norma CEI 9-6/1992 "Impianti di messa a terra relativi ai sistemi di trazione elettrica"
- Norma CEI 11-8/1989 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Impianti di terra"
- Norma CEI 11-17/1992 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo"
- Norma CEI 14-6 /1985 "Trasformatori di isolamento e trasformatori di sicurezza"
- Norma CEI 64-8/1992 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua"
- Norma CEI 103-6/1991 "Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto"
- Norma CEI 103-10/1995 "Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee ferroviarie in corrente alternata"