

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01
LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA Tratta MILANO – VERONA
Lotto Funzionale Brescia-Verona
PROGETTO DEFINITIVO
Brescia-Verona - Relazione di Compatibilità Elettromagnetica**

GENERAL CONTRACTOR		ITALFERR	SCALA: 1:
IL PROGETTISTA INTEGRATORE <small>SAIPEM spa Torino Destino in ingegneria delle attività all'alto degli impieghi del Servizio di Milano di n. 4234/01 - Sez. A Servizi al civile e ambientale al progetto di informazione in relazione al n. 02/0000/000 del 14/08/2013</small>	Consorzio Cepav due Project Director (Ing. F. Lombardi)		
Data:			

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV. FOGLIO

IN05 00 D E2 RH IT0000 X01 A 001 di 024

	VISTO CONSORZIO SATURNO	
	Firma	Data
	<i>M. Moro</i>	08.04.14

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	M.Moro <i>M.Moro</i>	08.04.14	M.Moro <i>M.Moro</i>	08.04.14	G.Lecchi <i>G.Lecchi</i>	08.04.14	
B								
C								

SAIPEM S.p.a. COMM. 032121

File: IN0500DE2RHIT0000X01A.doc
Cod. origine: 1920.303679.001



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

CUP: F81H91000000008

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 		CONSORZIO SATURNO 		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 2 di 24

INDICE

1	PREMESSA.....	4
1.1	Attività prevista per il lotto funzionale Brescia-Verona	5
2	INTERFERENZA ELETTROMAGNETICA	6
2.1	Aspetti teorici.....	6
2.2	Descrizione degli impianti inducenti	8
2.2.1	Elettrodotto AT.....	9
2.2.2	Le Sottostazioni 25 kV	9
2.2.3	Posti di Parallelo e Autotrasformazione	9
2.2.4	Linea TE.....	10
2.2.5	Dati di calcolo	12
2.3	Descrizione degli impianti indotti.....	13
2.4	Metodo di calcolo.....	14
2.5	Normative e limiti	15
2.6	Provvedimenti di protezione.....	16
3	INTERFERENZA ELETTROMAGNETICA ALL'INTERNO DEL SISTEMA AC.....	19
3.1	Scopo dello studio	19
3.2	Ipotesi di calcolo	19
3.3	Risultati del calcolo	19
4	INTERFERENZA ELETTROMAGNETICA VERSO IL MONDO ESTERNO.....	20
4.1	Scopo dello studio	20
4.2	Modalità di esecuzione dello studio.....	20
4.3	Risultati del calcolo	20
4.4	Validità dei dati di base.....	20

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 3 di 24

5	ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22
5.1	Campo di applicazione	22
5.2	Riferimenti normativi.....	22
5.3	Valutazione del livello di esposizione	22
5.4	Attività previste	24

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 4 di 24

1 PREMESSA

Nell'ambito della Progettazione Esecutiva per il lotto funzionale Treviglio-Brescia della tratta AC/AV Milano-Verona è stato effettuato uno "Studio di Compatibilità Elettromagnetica" che ha affrontato nel dettaglio gli aspetti delle interferenze elettromagnetiche in bassa frequenza che si riferiscono a fenomeni originati da accoppiamenti elettromagnetici di tipo induttivo, capacitivo e resistivo.

Tale studio è stato completato nel 2013 ed è riassunto nel documento di Progetto Esecutivo "Lotto funzionale Treviglio-Brescia - Relazione sullo studio di compatibilità elettromagnetica" codice IN51 11 EE2 0C IT0000 X02 A.

La presente nota, realizzata per il Progetto Definitivo che prevede la realizzazione del lotto funzionale Brescia-Verona, riprende ed illustra la metodologia adottata per la risoluzione delle problematiche di compatibilità elettromagnetica all'interno del Sistema Alta Capacità e nei confronti del mondo esterno, finalizzandola alla revisione dello studio già realizzato per Treviglio-Brescia con la nuova configurazione di tratta.

Sono descritti gli aspetti teorici dei problemi, le normative italiane ed internazionali a cui gli impianti rispondono con evidenza particolare ai limiti applicabili, i procedimenti di calcolo, nonché i possibili provvedimenti di protezione adottabili per ottenere il rispetto dei limiti.

Le problematiche di compatibilità elettromagnetica sono qui suddivise in aspetti di:

- interferenza elettromagnetica;
- esposizione umana ai campi elettromagnetici;
- compatibilità elettromagnetica propriamente detta.

Gli aspetti di interferenza elettromagnetica si riferiscono a fenomeni originati da accoppiamenti elettromagnetici di tipo induttivo, capacitivo e resistivo. Le frequenze tipiche vanno dalla frequenza di esercizio della linea di trazione e delle linee primarie (50 Hz) fino a qualche kHz.

Il secondo aspetto è relativo all'esposizione delle persone ai campi elettromagnetici generati dalla linea di trazione e dalle linee primarie ed emessi nell'ambiente circostante.

La compatibilità elettromagnetica in senso stretto riguarda infine fenomeni in alta frequenza (superiore a 9 kHz) ovvero i livelli di emissione ed immunità degli apparati all'interno dell'ambiente ferroviario, nonché i limiti di emissione del sistema ferroviario verso il mondo esterno.

Nei capitoli successivi sono approfonditi e dettagliati gli aspetti relativi all'interferenza elettromagnetica, alla esposizione delle persone ai campi elettromagnetici e descritte le attività previste.

Gli aspetti di compatibilità elettromagnetica in senso stretto ovvero i livelli di emissione ed immunità degli apparati all'interno dell'ambiente ferroviario, nonché i limiti di emissione del sistema ferroviario verso il mondo esterno, non sono oggetto del presente studio ma sono affrontati nell'ambito dei progetti delle singole tecnologie.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 5 di 24

1.1 Attività prevista per il lotto funzionale Brescia-Verona

La linea AC Milano-Verona è stata suddivisa in due sub-tratte (lotti funzionali):

- Treviglio-Brescia
- Brescia-Verona

Lo studio delle interferenze elettromagnetiche è stato svolto per il primo lotto funzionale assumendo, come ipotesi di base, il termine del sistema inducente al terminale di Brescia, con il tratto finale caratterizzato da una alimentazione a sbalzo 1x25kV (assenza di feeder) per circa 6,5 km.

Lo studio delle interferenze elettromagnetiche per il secondo lotto, avendo ora disponibili i dati relativi all'intera tratta può essere svolto con una modellizzazione del sistema inducente, in particolar modo la linea di contatto, studiato nella sua interezza e quindi relativo all'intera tratta Milano-Verona.

I calcoli delle interferenze elettromagnetiche tra sistema AC ed impianti di terzi interferiti saranno svolti per le strutture che sono posizionate nel tratto Brescia-Verona.

Le strutture che si trovano nella tratto Treviglio-Brescia, già trattate nello studio 2013, saranno riesaminate in ragione della nuova situazione inducente, effettuando la riemissione delle specifiche relazioni solo nei casi di variazioni significative degli effetti delle interferenze elettromagnetiche.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità		CONSORZIO SATURNO		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 6 di 24

2 INTERFERENZA ELETTROMAGNETICA

2.1 Aspetti teorici

Il concetto fondamentale che sta alla base della spiegazione dell'accoppiamento elettromagnetico preponderante, cioè quello induttivo, è espresso dalla seguente formula:

$$e = - \frac{d\varphi}{dt} \quad (1)$$

la quale indica che la forza elettromotrice "e" indotta in un circuito chiuso è pari alla variazione nel tempo del flusso magnetico "φ" concatenato dal circuito stesso.

Il flusso concatenato dal circuito indotto può essere espresso come prodotto della corrente circolante nel circuito inducente "I", e dell'impedenza mutua "M" tra circuito inducente ed indotto:

$$\varphi = MI \quad (2)$$

Questo è esatto nell'ipotesi che la corrente circolante nel circuito indotto a causa della forza elettromotrice indotta non sia tale da produrre, per induzione dal circuito indotto sul circuito inducente, una variazione della corrente I.

Ciò è valido in molte situazioni di interferenza, nel senso che in tali situazioni questa ipotesi può essere assunta senza introdurre errori apprezzabili.

Per contro esistono situazioni in cui questa ipotesi non è applicabile ed in cui occorre dunque tenere in conto l'effetto di induzione reciproca tra due o più circuiti utilizzando metodi di tipo multiconduttore.

Nel caso in cui la corrente sia sinusoidale, utilizzando il formalismo dei numeri complessi, utilizzando la (2) la (1) diviene:

$$e = -j\omega MI \quad (3)$$

La (3) è la formula chiave, rintracciabile in tutta la letteratura tecnica relativa all'interferenza elettromagnetica, utilizzabile per calcolare la forza elettromotrice indotta.

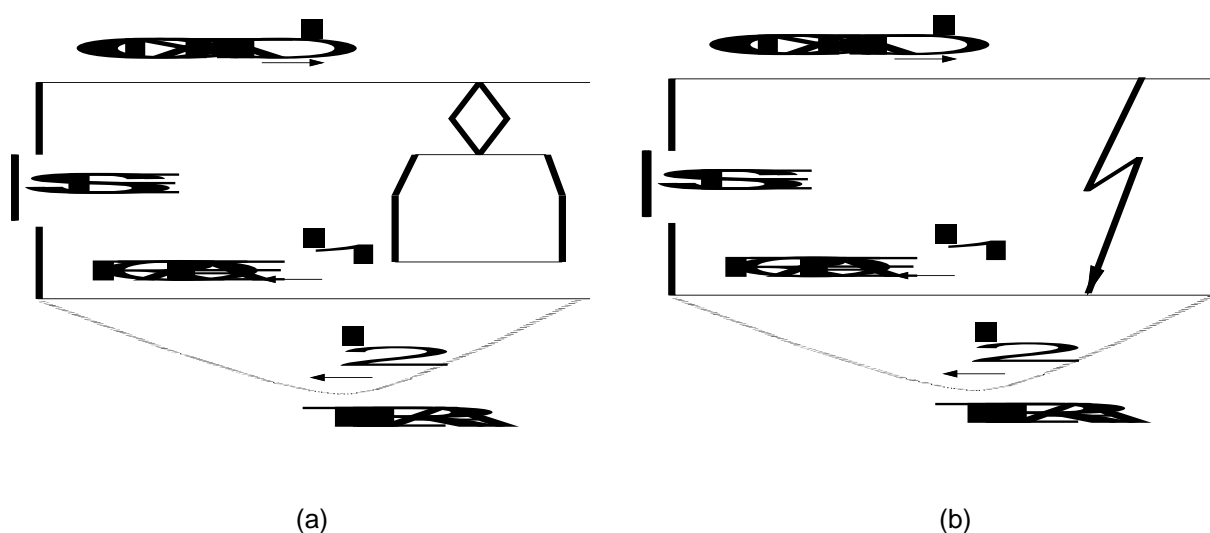
Da essa si deducono due considerazioni fondamentali:

- esiste forza elettromotrice indotta (cioè "e" assume un valore uguale a 0) solo se la corrente inducente è continua;
- la forza elettromotrice indotta è proporzionale alla corrente, alla frequenza ed alla mutua impedenza tra i due circuiti: quest'ultima dipende dalle caratteristiche del mezzo interposto tra i due circuiti (resistività elettrica del suolo), dalla frequenza, dalle caratteristiche geometriche dei circuiti inducente ed indotto (essenzialmente dalla loro distanza), e, per una data distanza, è direttamente proporzionale alla lunghezza del tratto di avvicinamento tra i circuiti inducente e indotto.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità	CONSORZIO SATURNO	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 7 di 24

In un sistema di trazione elettrificato a 25 kV, 50 Hz, la corrente in gioco, essendo alternata, è variabile nel tempo e quindi tale da dar luogo ad un campo magnetico inducente e dunque una forza elettromotrice indotta su un circuito metallico vicino.

Il circuito elettrico equivalente globale percorso dalla corrente di trazione o dalla corrente di guasto è quello della figura seguente: esso può essere visto come somma (sovrapposizione) di più circuiti elementari equivalenti.



Circuito elettrico equivalente globale percorso dalla corrente di trazione (a) e da quella di guasto (b)

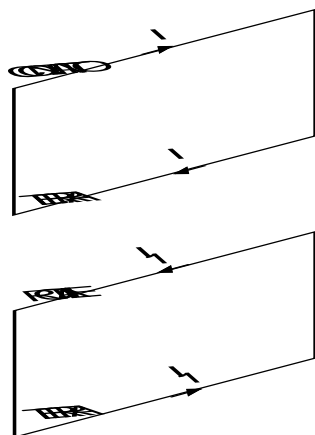
Come si vede dalla figura, i circuiti equivalenti sono identici: tali circuiti sono percorsi dalla corrente di trazione nella condizione di funzionamento normale della linea di trazione e dalla corrente di guasto nella situazione di corto circuito della linea di contatto verso terra. Pertanto lo schema logico del fenomeno è identico: cambiano solo i valori delle grandezze elettriche, tensioni e correnti e i tempi per i quali esse si manifestano.

Nella figura successiva sono invece indicati due circuiti elementari: quello costituito dal filo di contatto e dal terreno come ritorno e quello costituito dalle rotaie e dal terreno come ritorno. In realtà ciascun conduttore metallico della linea di trazione può essere considerato come facente parte di un circuito elementare il cui ritorno è costituito dal terreno.

Caratteristica fondamentale di tali circuiti elementari è quella di far entrare in gioco il terreno come conduttore di ritorno: poiché la distribuzione di corrente nel suolo è tale da interessare anche gli strati profondi del terreno, la spira di corrente così costituita è molto ampia e quindi tale da interessare (ovvero produrre induzione su) circuiti indotti posti anche a notevole distanza.

Altro aspetto importante da notare è che i due circuiti elementari indicati nella figura sono percorsi da correnti che circolano in direzioni opposte: gli effetti prodotti da una corrente sono quindi tali da opporsi agli effetti prodotti dall'altra. Scendendo nello specifico, la corrente che circola nelle rotaie dà luogo ad un effetto che tende a compensare (schermare) l'effetto prodotto dalla corrente che circola nel filo di contatto.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 8 di 24



Circuiti elettrici equivalenti elementari per lo studio della linea di trazione

Ogni conduttore metallico (ovvero ogni circuito costituito da quel conduttore e dal terreno) posto in vicinanza della linea di trazione si trova immerso nel campo magnetico prodotto dalle correnti che circolano nei circuiti in cui è stata scomposta (dal punto di vista logico) la linea di trazione ed è pertanto indotto da questa. Sul conduttore indotto si generano tensioni verso terra e correnti longitudinali (risultati dell'interferenza).

Questo fatto accade per ogni conduttore metallico (cavo di telecomunicazione, tubazione, recinzione, ecc.): i risultati dell'interferenza sono tanto maggiori quanto maggiore è la corrente inducente, la lunghezza del tratto per il quale si manifesta l'avvicinamento tra il conduttore metallico e la linea di trazione, la resistività elettrica del suolo e quanto minore è la distanza tra il conduttore metallico e la linea di trazione.

2.2 Descrizione degli impianti inducenti

Il sistema di alimentazione provvede al trasporto, alla trasformazione e distribuzione dell'energia elettrica dai punti di consegna in Alta Tensione fino ai carichi mobili (treno) e fissi (PPF).

Si compone dei seguenti elementi fondamentali:

- Elettrodotto AT;
- Sottostazioni Elettriche;
- Posti di Autotrasformazione e Parallelo o Cabine TE a seconda del sistema di elettrificazione;
- Linea di Contatto;

Le Sottostazioni (SSE) tipicamente sono distanziate di 50 km; tra esse, con passo di 12 km sono interposti 3 posti intermedi di autotrasformazione e parallelo pari/dispari (PP).

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 9 di 24

2.2.1 Elettrodotto AT

Per l'alimentazione delle SSE, in accordo con quanto in corso di realizzazione per altre Tratte AC, si è ipotizzato di realizzare un elettrodotto dedicato.

L'elettrodotto sarà realizzato con le caratteristiche tecniche previste che rispecchiano quelle degli elettrodotti unificati ENEL aventi le seguenti caratteristiche elettriche principali:

Tensione nominale	132 kV
Frequenza	50 Hz
Corrente nominale	800 A (*)
Conduttore	Alluminio Acciaio
Diametro esterno	31,5 mm
Resistenza elettrica	0,05631 Ω /km
Fune di guardia	1 fune di acciaio zincato $\Phi = 10,5$ mm
Fune di guardia compatti	2 funi di acciaio zincato $\Phi = 11,5$ mm

(*) *Tipicamente le correnti di normale funzionamento sono decisamente più basse rispetto ai valori nominali.*

2.2.2 Le Sottostazioni 25 kV

Sono dotate tipicamente di gruppi di trasformazione da 60 MVA e alimentano la Linea di Contatto e il feeder a +/- 25 KV trasformando la tensione a 132 KV fornita dall'ENEL.

Nelle tratte AC il distanziamento tipico tra due sottostazioni è di circa 50 Km.

Da ciascuna estremità del conduttore di sbarra "feeder" è alimentato un trasformatore monofase 25.000/240 V da 50 KVA per l'alimentazione dei servizi di sottostazione.

2.2.3 Posti di Parallelo e Autotrasformazione

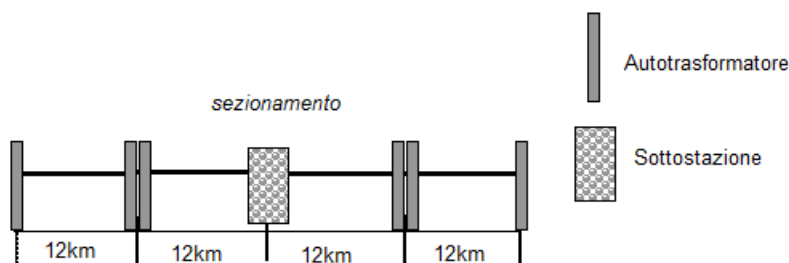
Ciascun posto intermedio di autotrasformazione (passo medio 12 km) è dotato di due autotrasformatori da 15 MVA che sono ambedue in servizio soltanto nel caso in cui il posto svolga oltre che la funzione di parallelo anche quella di sezionamento (cambio coppia di fasi).

Pertanto, fissato il distanziamento tipico di 50 km delle sottostazioni, tra 2 sottostazioni vi sono 3 posti di parallelo.

I posti di parallelo pari/dispari e autotrasformazione sono costituiti da due moduli uguali. Ciascun modulo comprende un autotrasformatore e due interruttori di manovra che collegano l'autotrasformatore alle due linee di contatto e nel contempo realizzano il parallelo tra le medesime.

Lo schema di una tratta elettrica tipo è riportato nella figura seguente: la tratta elettrica è alimentata al centro dalla sottostazione ed è composta da quattro celle con autotrasformatori.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità	CONSORZIO SATURNO	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 10 di 24



Schema di massima della di una tratta elettrica

2.2.4 Linea TE

Per la linea di trazione (TE) sono previsti i seguenti attrezzaggi:

Linea AC 2x25 kVc.a.:	catenaria 270mm ² + feeder
Linea AC 3 kVcc:	catenaria 540mm ²
Interconn. 1x25 kVc.a.:	catenaria 270mm ²
Interconn. 3 kVcc:	catenaria 440mm ² (tradizionale FS)
Linee RFI 3 kVcc:	catenaria 440mm ² (tradizionale FS)

Per la piena linea AC (270 e 540 mm²) allo scoperto i sostegni delle sospensioni sono normalmente costituiti da pali tralicciati a base saldata. In punti particolari della linea (Posti di Servizio, POC, imbocchi gallerie, ecc.), si ricorre all'impiego di sostegni a portale.

Nell'elettificazione 2x25 kVc.a. sulla stessa palificazione della Linea di Contatto sono montati il feeder (-25 kV) ed un conduttore di terra

Le sospensioni per le catenarie 270 e 540 mm² sono del tipo a puntone inclinato; altezza del filo di contatto 5,30m.

Nelle zone 2x25 kVc.a. il circuito di terra che entra a far parte del circuito del ritorno della corrente di trazione è costituito da:

- dispersore lineare interrato in corda di rame da 95 mm² posato a lato di ciascun binario e collegato a tutti i sostegni;
- conduttore di terra aereo 150mm² in alluminio teso tra i sostegni TE dello stesso lato.

Ad intervalli regolari di circa 750 m i due dispersori sono collegati tra loro ed ogni 1500m vengono connessi ai binari tramite connessioni induttive.

Nelle zone 3 kVcc il circuito di terra è separato dal circuito di ritorno della corrente di trazione.

La Norma CEI 103.10 "Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata da linee ferroviarie elettrificate in corrente alternata" indica al par. 3.1.3 "Configurazione della linea di trazione per i calcoli in condizione di funzionamento normale" che il calcolo di interferenza in condizione di funzionamento normale della linea di trazione deve essere svolto nell'ipotesi che ciascun treno assorba una corrente costante, pari a quella di riferimento.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità		CONSORZIO SATURNO		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 11 di 24

Quest'ultima, al paragrafo 1.3.6, è definita pari all'80% del rapporto tra la potenza apparente nominale A_n prelevabile dal treno in regime continuativo e la tensione nominale V_n .

Gli stessi criteri ora esposti sono illustrati anche nella Norma CEI EN 50443 – Effetti delle interferenze elettromagnetiche sulle tubazioni causate da sistemi di trazione elettrica ad alta tensione in corrente alternata e/o da sistemi di alimentazione ad alta tensione in corrente alternata. – dic. 2012

La potenza nominale A_n è espressa dalla seguente formula:

$$A_n = \frac{\frac{P_c}{\eta_p} + P_a}{\cos \varphi} \quad (4)$$

dove :

- P_c è la potenza al cerchione
- η_p è il rendimento al cerchione
- P_a è la potenza per i servizi ausiliari
- $\cos \varphi$ è il fattore di potenza del locomotore

essendo, secondo quanto comunicato da Italferr:

- $P_c = 8800 \text{ kW}$ (4400 kW per motrice)
- $\eta_p = 0,83$
- $P_a = 1000 \text{ kW}$
- $\cos \varphi = 0,95$ si ha: $A_n \approx 12210 \text{ kVA}$

Essendo la tensione nominale V_n pari a 25 kV, la corrente di riferimento I_r vale

$$I_r = 0,8 \frac{A_n}{V_n} = 390,72 \text{ A}$$

Il treno è simulato, nel sistema multiconduttore, (vedi par. 2.4) da un'impedenza inserita in posizione opportuna che sia attraversata dalla corrente di riferimento.

Poiché la tensione ai capi dell'impedenza che simula il treno varia al variare della posizione lungo linea, per mantenere costante il valore della corrente assorbita del treno è necessario variare il valore dell'impedenza che simula il treno.

La simulazione è considerata accettabile se la corrente simulata attraverso il treno I_l vale:

$$0,95 I_r \leq I_l \leq 1,05 I_r$$

Il valore complesso dell'impedenza che simula il treno è scelto in modo tale da generare uno sfasamento tra corrente e tensione corrispondente ad un $\cos \varphi = 0,95$ in ritardo.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 13 di 24

- per ciascuna sottostazione elettrica: tensione di esercizio e valori delle impedenze che simulano la linea di alimentazione a monte della sottostazione;
- posizione degli autotrasformatori lungo linea;
- per ciascun autotrasformatore: valore dell'impedenza.

Tenuto poi conto che il metodo di calcolo impiegato considera la linea di trazione come un insieme di sezioni contigue ciascuna rappresentata elettricamente da un circuito a parametri concentrati, è compito del progettista definire:

- numero di sezioni di calcolo e loro lunghezza;

I dati caratteristici delle linee primarie (aeree o in cavo) utilizzati per il calcolo delle interferenze elettromagnetiche sono i seguenti:

- tracciato planimetrico;
- frequenza della corrente;
- resistività elettrica del terreno;
- resistenza della fune di guardia;
- fattore di schermo delle tratte in cavo;
- corrente di corto circuito monofase a terra in funzione del punto di guasto.

In fase di Progetto Esecutivo verrà prodotto un documento (denominato "Dati descrittivi degli impianti inducenti") contenente la descrizione dettagliata, per l'intera tratta ferroviaria, dei valori utilizzati per ciascuno dei dati qui sopra sinteticamente elencati.

2.3 Descrizione degli impianti indotti

Gli impianti, che possono essere indotti dalla linea di trazione Alta Capacità, dalla linea primaria o da entrambe, appartengono alle seguenti categorie:

- impianti del Sistema Alta Capacità stesso;
- impianti di telecomunicazione pubblici e privati (non FS);
- impianti di telecomunicazione FS;
- impianti di segnalamento FS;
- tubazioni metalliche per il trasporto di acqua, gas, ...;
- strutture metalliche generiche di notevole estensione (recinzioni, ...).

Gli impianti non appartenenti al Sistema Alta Capacità sono considerati potenzialmente oggetto di interferenze elettromagnetiche, e dunque vengono per essi eseguiti calcoli di interferenza, se almeno una parte di essi è compresa all'interno della cosiddetta "fascia di esposizione".

Tale fascia è definita dalla Normativa tecnica come una zona di territorio centrata sulla linea inducente (linea di trazione o linea primaria) e di larghezza opportuna, come riepilogato nella tabella seguente.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 14 di 24

Tipo di linea inducente	Larghezza fascia di esposizione	
	zona aperta	centro abitato
Linea di trazione	6 km	600 m
Linea primaria aerea	6 km	600 m
Linea primaria in cavo interrato	50 m	50 m

Larghezza della fascia di esposizione

La condizione di "centro abitato" si verifica quando o la linea inducente o l'impianto indotto si trovano all'interno di un centro abitato, oppure quando un abitato è interposto tra la linea inducente e l'impianto indotto. In questi casi l'ampiezza della fascia di esposizione si riduce per tenere conto dell'effetto schermante esercitato dalle strutture metalliche presenti in un centro abitato.

In fase di Progetto Esecutivo verrà prodotto un documento (denominato "Dati e metodologia di calcolo") contenente la descrizione dettagliata dei dati necessari, per ciascuna tipologia di impianto indotto, per i calcoli di interferenza elettromagnetica e le modalità di presentazione dei risultati di tali calcoli.

2.4 Metodo di calcolo

Il calcolo dei risultati dell'interferenza elettromagnetica prodotta dal sistema inducente AC su un circuito indotto avviene in due fasi.

Nella prima fase vengono valutate le tensioni e le correnti relative al sistema inducente AC, descritto in forma di un sistema multiconduttore formato da n circuiti tra loro paralleli ciascuno dei quali è a sua volta costituito da un conduttore metallico del sistema e dal terreno come ritorno.

Nella seconda fase le tensioni e le correnti inducenti calcolate nella prima fase sono utilizzate per la valutazione delle tensioni e delle correnti generate sull'impianto indotto.

Questa suddivisione in fasi è accettabile in quanto i sistemi indotti non sono tali da produrre, per accoppiamento elettromagnetico verso la linea di trazione, modifiche della corrente e della tensione di quest'ultima: è allora possibile svolgere una sola volta la prima fase di calcolo e di utilizzarne di volta in volta i risultati per calcolare l'accoppiamento elettromagnetico con i vari impianti indotti.

Tensioni e correnti inducenti a frequenza fondamentale sono calcolate con il metodo multiconduttore che permette di studiare circuiti elettrici accoppiati, costituiti ciascuno da un conduttore con ritorno a terra: i circuiti sono tra loro paralleli e della stessa lunghezza.

Tale metodo è spiegato in dettaglio nel Vol. III delle Direttive ITU-T: le sue applicazioni sono richiamate nel Vol. II, in termini generali, e nel Vol. IV, con riferimento specifico alla simulazione di un sistema di trazione¹.

Ciascun circuito è suddiviso in sezioni di calcolo: gli estremi di ciascuna sezione di calcolo sono chiamati punti di calcolo (in generale un sistema multiconduttore è descritto da M sezioni e M+1 punti).

Il calcolo fornisce come risultati per ciascun conduttore le tensioni in ciascun punto e le correnti in ciascuna sezione.

¹Le Direttive ITU-T sono state redatte in collaborazione con la CIGRE e l'UIC: a dimostrazione di tale collaborazione i rappresentanti delle tre organizzazioni hanno apposto la loro firma in calce alla premessa delle Direttive. Le Direttive rappresentano pertanto un accordo tecnico circa le modalità da utilizzare per lo studio delle interferenze, stipulato a livello internazionale, tra società elettriche, di telecomunicazione e ferroviarie.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 15 di 24

Un sistema multiconduttore relativo a n circuiti elettrici accoppiati è elettricamente descritto da matrici di impedenze e di coefficienti di ammettenza di dimensione $n \times n$: le Direttive ITU-T forniscono le formule per calcolare gli elementi di tali matrici a partire dalla conoscenza delle caratteristiche geometriche ed elettriche dei conduttori e del loro posizionamento reciproco e rispetto al suolo, nonché della resistività elettrica del terreno.

Per il calcolo dei parametri elettrici per unità di lunghezza, ovvero impedenze e coefficienti di potenziale, si fa uso delle formule indicate nel Vol. III, Cap. IV delle Direttive ITU-T. La matrice dei coefficienti di ammettenza per unità di lunghezza è ottenuta mediante inversione della matrice dei coefficienti di potenziale. In base alla posizione dei conduttori (aerei, sulla superficie del terreno o interrati) si utilizzano formule differenti per il calcolo delle impedenze e dei coefficienti di potenziale.

La descrizione del sistema di conduttori è completata dalla indicazione dei carichi elettrici (locomotori) e dei generatori inseriti tra i diversi conduttori del sistema, dei collegamenti tra conduttori diversi e delle interruzioni elettriche dei conduttori.

La stessa metodologia è utilizzata anche per il calcolo della corrente psfometrica, a 800 Hz, circolante sulla linea di trazione, poi utilizzata, nella seconda fase, per calcolare la tensione di disturbo (rumore psfometrico) indotta sui circuiti di trasmissione in banda fonica.

In fase di Progetto Esecutivo, nel già citato documento "Dati e metodologia di calcolo", sono illustrati nel dettaglio, per ciascuna tratta ferroviaria, i valori dei parametri utilizzati per la simulazione della condizione di funzionamento normale e di guasto della linea di trazione e della condizione di guasto delle linee primarie. Nel medesimo documento sono indicate inoltre le modalità per la determinazione della condizione di interferenza peggiore per l'impianto indotto.

2.5 Normative e limiti

Le seguenti normative sono utilizzate come riferimento per i calcoli di interferenza elettromagnetica prodotta dal Sistema Alta Capacità:

- 1) Norma CEI 103.6 - Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto - III ed. dic 1997.
- 2) Norma CEI 103.10 - Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee di trazione elettrificate in corrente alternata - I ed. dic 1998
- 3) Norma CEI EN 50443 – Effetti delle interferenze elettromagnetiche sulle tubazioni causate da sistemi di trazione elettrica ad alta tensione in corrente alternata e/o da sistemi di alimentazione ad alta tensione in corrente alternata. – dic. 2012
- 4) Norma CEI 304.1- Interferenza elettromagnetica prodotta da linee elettriche su tubazioni metalliche- I ed. novembre 2005

In fase di Progetto Esecutivo, nel già citato documento "Dati e metodologia di calcolo", saranno illustrate le ipotesi di volta in volta formulate per gli aspetti non contemplati dalle Norme. Nello stesso documento inoltre sono riportati i limiti indicati dalle Norme stesse.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 16 di 24

2.6 Provvedimenti di protezione

Sono descritti in questo paragrafo i possibili provvedimenti di protezione adottabili, sulle tipologie di impianti indotti oggetto dello studio, al fine di ridurre gli effetti dell'interferenza elettromagnetica.

Quella qui fornita è ovviamente una panoramica, in termini del tutto generali, dei possibili provvedimenti protettivi, a prescindere dalle valutazioni di carattere tecnico o economico che portano nella pratica a scegliere di volta in volta il provvedimento protettivo più efficace per ogni singolo impianto indotto. Ne consegue che alcuni dei provvedimenti elencati nel seguito sono teorici e motivazioni di ordine pratico possono portare ad escludere la loro applicabilità; tuttavia appare utile in questo contesto fornire un quadro generale dell'insieme dei possibili provvedimenti protettivi.

A) Provvedimenti protettivi applicabili agli impianti di telecomunicazione.

- 1) Allontanamento rispetto alla linea di trazione: l'aumento della distanza tra impianto inducente ed impianto indotto, facendo diminuire il valore dell'impedenza mutua, contribuisce a ridurre i risultati dell'interferenza elettromagnetica.
- 2) Sostituzione di impianti aerei con impianti interrati: linee di telecomunicazione aeree in fili nudi o in cavo sprovvisto di schermo metallico sono soggette anche ad accoppiamento di tipo capacitivo: per evitare i disturbi dovuti a questo tipo di accoppiamento le linee possono essere dotate di schermo metallico messo a terra o sostituite da cavi interrati.
- 3) Uso di cavi in fibra ottica: le fibre ottiche, non essendo metalliche, non sono influenzate dalle interferenze elettromagnetiche. Tuttavia i cavi in fibra ottica utilizzano sovente elementi metallici a scopo di barriera antiumidità, antiroditori e per fornire resistenza meccanica al cavo. Gli elementi metallici presenti in un cavo a fibre ottiche sono sedi di tensioni e correnti indotte, e devono pertanto essere presi in considerazione.
- 4) Miglioramento del fattore di schermo di un cavo: nei cavi provvisti di schermo metallico connesso a terra in maniera opportuna, il fattore di schermo esprime numericamente la riduzione degli effetti dell'interferenza elettromagnetica dovuta alla presenza dello schermo rispetto alla situazione in assenza di schermo. Un fattore di schermo è pertanto tanto migliore quanto più piccolo è il suo valore numerico: un fattore di schermo uguale ad 1 corrisponde ad assenza di schermo. Il fattore di schermo è piccolo se la resistenza longitudinale della guaina è piccola. Pertanto guaine realizzate con materiali altamente conduttivi (alluminio, rame) permettono di ottenere buoni fattori di schermo. Un ulteriore miglioramento è ottenibile aggiungendo alla guaina nastri di acciaio (armatura) le cui caratteristiche magnetiche danno luogo ad una diminuzione del fattore di schermo rispetto a quello che avrebbe la medesima guaina senza nastri. In tale caso però il fattore di schermo non è costante bensì, a causa del comportamento non lineare del materiale magnetico rispetto alla corrente, variabile in funzione del livello di interferenza, per cui la scelta dell'armatura atta a risolvere un problema di interferenza richiede una specifica attività di progettazione.
- 5) Miglioramento delle prese di terra: al fine di attivare effettivamente l'azione schermante, guaina e nastri di acciaio devono essere resi continui e connessi opportunamente a terra: un cavo con guaina di alta conducibilità e nastri di acciaio, se mantenuto isolato da terra, presenta un fattore di schermo pari a 1, vanificando così le potenziali capacità schermanti. Un miglioramento dell'azione schermante è ottenibile con l'incremento del numero delle prese di terra e con la riduzione dei valori delle resistenze di terra cui è connessa la guaina.
- 6) Uso di strutture schermanti: si tratta di strutture metalliche disposte parallelamente all'impianto indotto o che lo contengono (per esempio tubi o cassette di ferro) e adeguatamente messe a terra. La corrente che percorre la linea inducente induce tensioni sia sull'impianto indotto che sulle strutture schermanti. Queste ultime, essendo messe a terra, sono percorse da una corrente (corrente di schermo) che a sua volta induce una tensione sull'impianto indotto. Questa tensione ha segno opposto a quello della tensione indotta dall'impianto inducente, riducendo così il valore della tensione indotta risultante.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 17 di 24

- 7) Sezionamento della guaina: la suddivisione della guaina di un cavo in più tratte tra loro elettricamente discontinue raggiunge l'obiettivo di ridurre le forze elettromotrici indotte sulla guaina, essendo queste direttamente proporzionali, a parità di altri parametri, alla lunghezza dei tratti elettricamente continui. Tale provvedimento può però dar luogo ad una riduzione dell'effetto schermante esercitato dalla guaina, per cui deve essere usato con attenzione nel caso di cavi a coppie simmetriche o coassiali, ovvero quei cavi che presentano elementi metallici all'interno della guaina. Per contro questo provvedimento è facilmente applicabile ai cavi in fibra ottica senza conduttori metallici interni. Inoltre questa modalità di installazione aumenta la vulnerabilità alle scariche atmosferiche. Pertanto questo provvedimento può essere adottato solo se contemporaneamente il cavo è protetto contro le scariche atmosferiche da un tondino antifulmine.
- 8) Aumento della rigidità dielettrica di un cavo: l'utilizzo di cavi con rigidità dielettrica incrementata riduce la possibilità di perforazione del dielettrico stesso quando la tensione indotta assume valori elevati. Tale provvedimento è efficace solo nei confronti dell'effetto dell'interferenza elettromagnetica relativo al danno all'impianto.
- 9) Uso di trasformatori di isolamento (traslatori): si tratta di trasformatori con rapporto di trasformazione 1:1 che suddividono la linea di telecomunicazione a coppie simmetriche in sezioni tra loro separate elettricamente. L'uso di traslatori consente, in una linea di telecomunicazione esposta ad alti livelli di induzione, di riportare in ciascuna sezione la tensione indotta al di sotto dei limiti. Occorre peraltro considerare che ogni traslatore introduce un'attenuazione supplementare sulla trasmissione, pertanto il loro numero deve essere ragionevolmente limitato. Tale provvedimento è efficace soltanto per ridurre gli effetti dell'interferenza elettromagnetica relativi al disturbo alla trasmissione nei cavi a coppie simmetriche.
- 10) Miglioramento del bilanciamento dei conduttori del cavo rispetto a terra: il rumore che si presenta su una linea telefonica per effetto dell'induzione elettromagnetica è in parte dovuto allo sbilancio del circuito telefonico. Per ovviare a questo inconveniente è necessario migliorare il bilanciamento delle coppie del cavo. Tale provvedimento è efficace soltanto per ridurre gli effetti dell'interferenza elettromagnetica relativi al disturbo alla trasmissione nei cavi a coppie simmetriche.
- 11) Uso di limitatori di sovratensione: in caso di guasto verso terra dell'impianto inducente possono originarsi sull'impianto indotto tensioni che possono raggiungere ampiezze di alcune centinaia di Volt con durate fino a 1s, a seconda del sistema di eliminazione del guasto utilizzato sull'impianto inducente. Per proteggere le linee di telecomunicazione da questi eventi possono essere usati i limitatori di sovratensione (in genere gli stessi utilizzati per la protezione contro le scariche atmosferiche). Tale provvedimento può essere utilizzato soltanto in condizione di guasto dell'impianto inducente, tenendo presente che l'intervento di questi dispositivi di protezione non permette la trasmissione delle informazioni.

B) Provvedimenti protettivi applicabili alle tubazioni e agli impianti ad esse connessi.

- 1) Allontanamento rispetto alla linea di trazione: l'aumento della distanza tra impianto inducente ed impianto indotto, facendo diminuire il valore dell'impedenza mutua, contribuisce a ridurre i risultati dell'interferenza elettromagnetica.
- 2) Sostituzione di impianti aerei con impianti interrati: le tubazioni aeree isolate da terra sono soggette ad accoppiamento anche di tipo capacitivo: per evitare gli effetti dell'interferenza elettromagnetica dovuti a questo tipo di accoppiamento tali impianti possono essere messi a terra o sostituiti da tubazioni interrate.
- 3) Miglioramento delle prese di terra: nel caso di tubazioni connesse a terra, l'incremento del numero delle prese di terra e la riduzione dei valori delle resistenze di terra contribuisce a ridurre il valore delle tensioni verso terra indotte: per contro può aumentare il valore della corrente longitudinale indotta, pertanto l'uso di tale provvedimento di protezione deve essere opportunamente legato agli effetti dell'interferenza elettromagnetica che si intende ridurre.
- 4) Uso di strutture schermanti: si tratta di strutture metalliche disposte parallelamente all'impianto indotto o che lo contengono e adeguatamente messe a terra. La corrente che percorre la linea inducente induce tensioni sia sull'impianto indotto che sulle strutture schermanti. Queste ultime, essendo messe a terra, sono percorse da corrente (corrente di schermo) che a sua volta induce una tensione sull'impianto indotto. Questa tensione ha segno opposto a quello della tensione indotta dall'impianto inducente, riducendo così il valore della tensione indotta risultante.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 18 di 24

- 5) Sezionamento della tubazione: la suddivisione della tubazione mediante giunti dielettrici in tratte tra loro elettricamente discontinue contribuisce a ridurre gli effetti dell'interferenza elettromagnetica. Nel caso di tubazioni protette catodicamente è però necessario che tale provvedimento sia accompagnato da altri (incremento del numero di alimentatori di protezione catodica) per far sì che l'efficacia della protezione catodica non sia ridotta.
- 6) Uso di limitatori di sovratensione: in caso di guasto verso terra della linea di trazione possono originarsi sulla tubazione indotta tensioni che possono raggiungere un'ampiezza di alcune centinaia di Volt ed avere durata fino a 1s., a seconda del sistema di eliminazione del guasto utilizzato sull'impianto inducente. Per proteggere gli apparati connessi alla tubazione da questi eventi possono essere usati i limitatori di sovratensione. Tale provvedimento può essere utilizzato soltanto in condizione di guasto dell'impianto inducente, sia perché i limitatori di sovratensione sono progettati per operare saltuariamente e non continuativamente, sia perché durante il loro funzionamento alcune funzioni svolte dagli apparati connessi alle tubazioni possono essere interrotte.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 19 di 24

3 INTERFERENZA ELETTROMAGNETICA ALL'INTERNO DEL SISTEMA AC

3.1 Scopo dello studio

Scopo dello studio è quello di verificare, attraverso calcoli di interferenza elettromagnetica, che i cavi di telecomunicazioni posati lungo linea, utilizzati all'interno del Sistema Alta Capacità, abbiano caratteristiche tali da rispettare i limiti prescritti dalle normative tecniche.

La descrizione del metodo di calcolo utilizzato, dei dati caratteristici degli impianti inducenti ed indotti è riportata nel capitolo precedente.

I calcoli di interferenza elettromagnetica e i corrispondenti risultati verranno forniti in fase di Progetto Esecutivo.

Sono qui riportate le modalità generali che caratterizzano tali calcoli.

3.2 Ipotesi di calcolo

Sia in condizione di funzionamento normale che di guasto, l'interferenza elettromagnetica prodotta dalle linee inducenti sui cavi al servizio AC non è costante: varia infatti al variare della posizione spaziale del cavo indotto e della posizione dei treni lungo linea o del punto di guasto.

In alcuni casi la posizione del cavo indotto è ben nota; in altri casi viceversa uno stesso tipo di cavo può trovarsi in posizioni diverse sia in termini di progressiva chilometrica che di distanza dalla linea inducente.

E' dunque necessario formulare alcune ipotesi per l'esecuzione dei calcoli.

Per quanto riguarda i cavi indotti, i calcoli sono eseguiti assumendo come lunghezza la massima prevista per ciascun tipo di cavo, come distanza dall'impianto inducente la minima prevista e come progressiva chilometrica quella che dà luogo ai valori più alti di tensione indotta.

Appare quindi chiaro che i valori dei risultati dell'interferenza elettromagnetica sui cavi al servizio AC sono cautelativi in quanto originati da una combinazione di ipotesi peggiorative che nella realtà ha probabilità di verificarsi assai remota.

3.3 Risultati del calcolo

In fase di Progetto Esecutivo verrà prodotto un documento contenente i risultati completi dei calcoli, per ciascuna tipologia di cavo considerata, ed il confronto con i limiti di Norma.

Nello stesso documento saranno riepilogate anche la metodologia di calcolo, le ipotesi assunte, gli effetti dell'interferenza elettromagnetica presi in considerazione.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 20 di 24

4 INTERFERENZA ELETTROMAGNETICA VERSO IL MONDO ESTERNO

4.1 Scopo dello studio

Scopo dello studio è quello di valutare, attraverso calcoli di interferenza elettromagnetica, se gli impianti (cavi di telecomunicazione e segnalamento, tubazioni, ...) esterni alla linea AC ma ricadenti all'interno della fascia di esposizione all'interferenza elettromagnetica rispettino i limiti prescritti dalle normative tecniche.

Nel caso in cui non rispettino i limiti, verrà fornita una descrizione di massima dei possibili provvedimenti di protezione necessari per ottenere il rispetto dei limiti.

La descrizione del metodo di calcolo utilizzato, dei dati caratteristici degli impianti inducenti ed indotti è riportata nel precedente capitolo 2.

4.2 Modalità di esecuzione dello studio

Per l'esecuzione dei calcoli di interferenza elettromagnetica verso il mondo esterno sono dapprima identificati i proprietari / gestori di strutture metalliche all'interno della fascia di esposizione all'interferenza.

Successivamente, in collaborazione con i proprietari degli impianti, vengono acquisiti, per ciascun singolo impianto indotto, i dati necessari al calcolo.

Al termine di questa fase viene prodotto un documento contenente il riepilogo dei dati acquisiti che viene inviato al proprietario degli impianti per approvazione.

Ottenuta tale approvazione si procede alla fase di calcolo per ciascun impianto indotto e secondo le modalità già indicate.

In sintesi le attività previste sono dunque:

- censimento enti proprietari degli impianti
- raccolta/elaborazioni dei dati necessari all'esecuzione dei calcoli di simulazione
- calcolo degli effetti dell'interferenza elettromagnetica
- se necessari, indicazione di massima dei provvedimenti protettivi (tipologia)

E' comunque esclusa dallo scopo dello studio ogni progettazione ed esecuzione di interventi di mitigazione/bonifica delle situazioni di interferenza.

4.3 Risultati del calcolo

I risultati completi dei calcoli su ogni singolo impianto saranno raggruppati in un documento specifico per ciascun proprietario di impianto. Accanto a questo verrà prodotto, nel caso in cui uno o più impianti presenteranno risultati dell'interferenza superiori ai limiti ammissibili, un documento contenente le valutazioni di massima dei possibili provvedimenti protettivi necessari per riportare i risultati dell'interferenza elettromagnetica al di sotto dei limiti.

4.4 Validità dei dati di base

Lo studio degli effetti dell'interferenza elettromagnetica generata dal sistema AC sugli impianti indotti verrà svolto utilizzando per la simulazione del sistema inducente le specifiche adottate nel Progetto Esecutivo.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consortio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 21 di 24

L'attività di censimento degli enti interferiti e l'analisi dei dati relativi agli impianti indotti ha come data di riferimento la chiusura della Conferenza dei Servizi. In pratica sono censiti gli impianti esistenti od in progetto a tale data.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 22 di 24

5 ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI

5.1 Campo di applicazione

In questo capitolo sono esaminati gli aspetti di sicurezza delle persone in relazione all'esposizione ai campi elettromagnetici generati dal sistema ferroviario AC.

In ambito protezionistico si parla di radiazioni non ionizzanti, riferendosi ai campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenze da 0 Hz a 300 GHz. Usualmente la frequenza di 10 kHz è utilizzata come discriminante tra bassa e alta frequenza.

Le diverse normative esistenti, che fissano i limiti per l'intensità del campo elettromagnetico, garantiscono la sicurezza delle persone dagli effetti a breve termine dell'esposizione ai campi elettromagnetici, effetti che sono associati alla densità di corrente indotta (per campi a bassa frequenza e ad alta frequenza) ed al tasso di assorbimento specifico (per campi ad alta frequenza).

Nel sistema ferroviario AC tratta Milano-Verona, sono state individuati come sorgenti di campi elettrici e magnetici relativamente all'esposizione umana la linea di trazione a 25 kV-50 Hz e gli elettrodotti che alimentano le sottostazioni ferroviarie.

Altre sorgenti di campo elettromagnetico che possono essere individuate in sorgenti intenzionali, quali stazioni radio base, ripetitori ed estensori in cavo in galleria per sistemi cellulari ed in ponti radio di servizio, operanti nella banda VHF (300 kHz-300 MHz) e UHF (300 MHz-3 GHz), non sono comprese nel presente studio.

5.2 Riferimenti normativi

- Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (*legge n° 36 del 22 febb. 2001*)
- D.P.R 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti"
- DPM 29 maggio 2008 "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti"

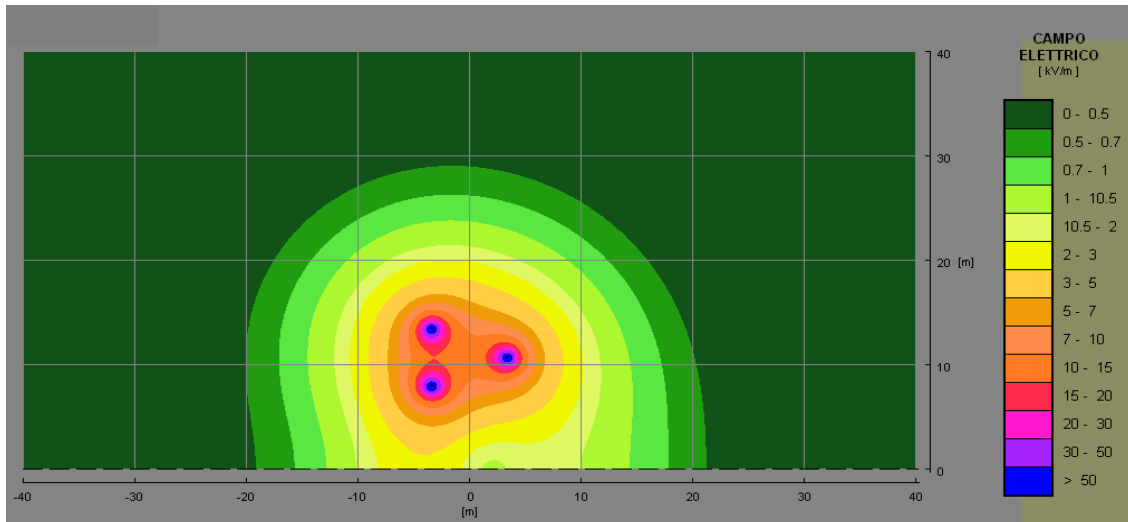
5.3 Valutazione del livello di esposizione

L'intensità dei campi elettrici e magnetici a 50 Hz è valutata attraverso i modelli di calcolo indicati dalla Norma CEI 211-4 (derivata dalla pubblicazione CIGRÉ WG 36.01 "Electric and Magnetic fields produced by transmission systems").

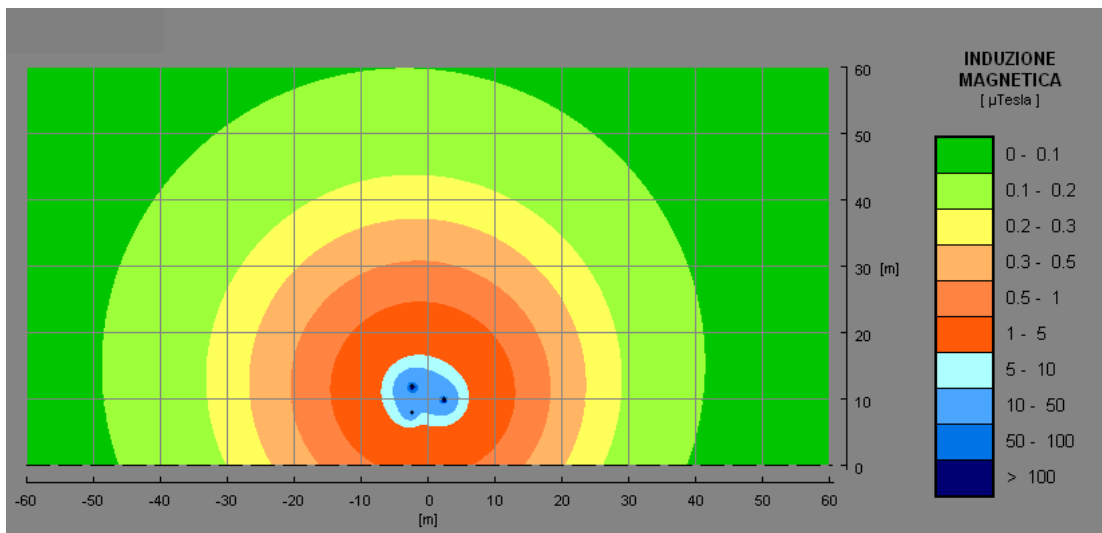
Il calcolo del campo elettrico e magnetico generato da una linea di trasporto di energia (elettrodotto) è effettuato schematizzando la linea come un insieme di conduttori di lunghezza infinita, tra loro paralleli e paralleli al terreno, ipotizzando quest'ultimo essere un piano di estensione infinita, di potenziale zero e permeabilità magnetica relativa pari a 1.

I risultati sono presentati per mezzo di mappe di campo elettrico (espresso in kV/m) e mappe di campo magnetico (espresso in μ T), relative a superfici trasversali rispetto ai conduttori sorgenti di campo. La colorazione della mappa permette un rapida ed intuitiva interpretazione dei risultati

Nelle figure seguenti sono riportati due esempi di mappature di campo elettromagnetico.



Esempio di presentazione di risultati nel caso di mappatura di campo elettrico.



Esempio di presentazione di risultati nel caso di mappatura di campo magnetico.

GENERAL CONTRACTOR Cepav due Consorzio ENI per l'Alta Velocità 	CONSORZIO SATURNO 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
		Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2 RH IT0000 X01	Rev. A	Foglio 24 di 24

5.4 Attività previste

In fase di Progetto Esecutivo verranno emessi due documenti, denominati rispettivamente “Campo elettrico e magnetico prodotto dagli elettrodotti di alimentazione della linea AC” e “Campo elettrico e magnetico prodotto dalla linea di trazione 25 kV- 50 Hz” contenenti la descrizione dei calcoli eseguiti per definire i livelli di campo elettromagnetico generati per le principali configurazioni previste per la linea primaria e dalla linea di trazione.

E' comunque esclusa ogni attività di progettazione ed esecuzione di interventi di mitigazione/bonifica delle situazioni di eventuale superamento dei limiti di esposizione.