

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE


REVISION DE L'AVANT-PROJET DE REFERENCE – REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO
CUP C11J05000030001

EQUIPEMENTS-IMPIANTI

IMPIANTI FISSI DI TRAZINE ELETTRICA / INSTALLATIONS FIXES DE TRACTION ELECTRIQUE
COMPATIBILITA' ELETTRICOMAGNETICA (CEM) / COMPATIBILITÀ ELETTRICOMAGNETICA (CEM)
PIANA DI SUSA / PLAINA DE SUSA

CAVIDOTTO 132 KV VENAUS-SUSA-STUDIO COMPATIBILITA' ELETTRICOMAGNETICA VERSO
IMPIANTI TERZI
LIGNE EN CABLE 132 kV VENAUS-SUSA – ÉTUDE COMPATIBILITÀ ELETTRICOMAGNETIQUE VERS
TIERS

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	09/11/2012	Emission pour vérification C2B et validation C3.0 / Emissione per la verifica C2B e la validazione C3.0	N. CARONES (ITALFERR)	G. BOVA C. OGNIBENE	M. FORESTA M. PANTALEO
A	08/02/2013	Emissione a seguito commenti LTF e CCF	N. CARONES (ITALFERR)	G. BOVA C. OGNIBENE	M. FORESTA M. PANTALEO


**Tecnimont
Civil Construction**
Dott.-Ing. Aldo Mancarella
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R



CODE DOC	P	D	2	C	2	B	T	S	3	0	7	2	1	A
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C2B	//	//	30	15	50	10	02
------------------------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

ECHELLE / SCALA



SOMMAIRE / INDICE

RESUME/RIASSUNTO	3
1. GENERALITA'	4
2. NORME DI RIFERIMENTO.....	6
2.1 CEI 103-6 – LIMITI RELATIVI ALLA SICUREZZA (DELLE PERSONE).....	6
2.2 CEI 103-6 – LIMITI RELATIVI AL DANNO AGLI IMPIANTI	7
2.3 CEI 103-6 – VALORI AMMISSIBILI IN CASI SPECIALI.....	7
2.4 CEI 103-6 – APPLICAZIONE DEI LIMITI.....	8
2.5 CEI 304-1 – PROCEDURA VALUTAZIONE INTERFERENZA CON TUBAZIONI METALLICHE	8
2.6 CEI 304-1 – LIMITI RELATIVI ALLA SICUREZZA (DELLE PERSONE).....	9
2.7 CEI 304-1 – LIMITI CONNESSI AL DANNO PER IL SISTEMA DI TUBAZIONI.....	9
3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	10
4. METODO E RISULTATI DEL CALCOLO	11
4.1 CALCOLO DELLA F.E.M NEI PARALLELISMI CON IMPIANTI DI TELECOMUNICAZIONE.....	12
4.2 CALCOLO DELLA F.E.M NEI PARALLELISMI CON TUBAZIONI METALLICHE.....	15
5. PROVVEDIMENTI PER MITIGARE L'INTERFERENZA.....	19
5.1 PROVVEDIMENTI ATTI A RIDURRE GLI EFFETTI DELL'INDUZIONE ELETTROMAGNETICA SUGLI IMPIANTI DI TELECOMUNICAZIONE	19
5.2 PROVVEDIMENTI ATTI A RIDURRE GLI EFFETTI DELL'INDUZIONE ELETTROMAGNETICA SULLE TUBAZIONI METALLICHE.....	20
6. GESTIONE DELLE INTERFERENZE.....	20

RESUME/RIASSUNTO

Pour la connexion de la nouvelle Sous-Station Electrique (SSE) / Point d'Alimentation (PdA) de Suse au réseau électrique national, sera construite une nouvelle ligne en câble 132 kV.

La liaison sera réalisé en double triade avec conducteurs de 1600 mm² et elle aura une longueur d'environ 7,8 km.

Dans ce document il y a l'individuation des interférences électromagnétiques générés par la nouvelle ligne en câble vers les lignes de télécommunication et vers les tuyaux enterrés.

Per l'allaccio del nuovo impianto di Sottostazione elettrica (SSE) / Posto di Alimentazione (PdA) di Susa alla rete elettrica nazionale verrà realizzato un elettrodotto a doppia terna a 132 kV in cavo interrato, ad isolamento solido, della lunghezza di circa 7800 m tra il suddetto impianto e la sottostazione 380/132 kV di Venaus.

Scopo del presente documento è di quantificare le interferenze elettromagnetiche (tensioni indotte) che il suddetto cavidotto può generare sulle linee di telecomunicazione e sulle tubazioni metalliche.

1. GENERALITA'

Per l'allaccio del nuovo impianto di Sottostazione elettrica (SSE) / Posto di Alimentazione (PdA) di Susa alla rete elettrica nazionale, verrà realizzato un elettrodotto a doppia terna a 132 kV in cavo interrato, ad isolamento solido, della lunghezza di circa 7800 m tra il suddetto impianto e la sottostazione 380/132 kV di Venaus.

Il tracciato si svilupperà prevalentemente lungo la viabilità locale o su aree già asservite per altri servizi (autostrade, ferrovie, ecc.), e parzialmente (nella zona terminale lato PDA Susa) all'interno di aree di proprietà o in concessione ad LTF.

La linea elettrica sarà costituita da due terne di cavi in alluminio con sezione 1600 mm² ad isolamento solido estruso, i quali saranno posati in tratte con lunghezze analoghe, separate da buche giunti in cui sarà effettuato anche il collegamento "cross-bonding" degli schermi.

Scopo del presente documento è di quantificare le interferenze elettromagnetiche (tensioni indotte) che il suddetto cavidotto può generare sulle linee di telecomunicazioni e sulle tubazioni metalliche.

Poiché tuttavia non sono ad oggi disponibili tutti i parametri richiesti dalla normativa in vigore per una valutazione puntuale di ogni sotto-servizio (geometria, tipologia dei cavi o delle tubazioni interferite, eccetera) **nel presente studio viene effettuata una valutazione delle condizioni che possono generare criticità**. Ne consegue che nelle successive fasi progettuali dovranno essere studiate tutte le soluzioni atte a mitigare gli effetti da interferenza su tutti i sotto-servizi che non rispettano le condizioni di sicurezza nel seguito individuate.

1.1 CONCETTI FONDAMENTALI DI INTERFERENZA ELETTRONMAGNETICA

Con interferenza elettromagnetica si intende il fenomeno in base al quale una linea elettrica in corrente alternata genera su conduttori metallici posti nelle sue vicinanze, tensioni e correnti indotte. La linea inducente è costituita da una o più linee di trasporto di energia o da linee di trazione ferroviaria, mentre la linea indotta è costituita da linee di telecomunicazione, tubazioni metalliche, ecc.

I parametri elettrici che caratterizzano la linea inducente ai fini della descrizione di questo fenomeno sono la tensione, che genera interferenza per accoppiamento elettrico, e la corrente, che genera interferenza per accoppiamento magnetico. L'accoppiamento elettrico è presente solo in caso di linee inducenti aeree e manifesta i suoi effetti solo su linee indotte aeree poste nelle immediate vicinanze delle linee inducenti. L'accoppiamento magnetico invece, è presente nel caso di linee inducenti aeree ed interrate e può manifestare i suoi effetti anche a notevoli distanze dalle linee inducenti. Per linee elettriche trifasi, le correnti circolanti nelle tre fasi, sono in genere equilibrate. Ciò si traduce nel fatto che l'interferenza elettromagnetica in condizione di funzionamento normale delle linee inducenti è solitamente trascurabile, e comunque manifesta effetti solo su linee indotte estremamente vicine alle linee inducenti. In condizioni di guasto monofase a terra viceversa, le correnti sono, non solo di valore più elevato, ma totalmente squilibrate. Questa è dunque la situazione fondamentale di interferenza elettromagnetica che deve essere esaminata.

Risulta necessario distinguere chiaramente tra i risultati dell'interferenza e gli effetti dell'interferenza.

Con risultati dell'interferenza si intendono le grandezze elettriche, con i relativi valori numerici, che caratterizzano l'ammontare dell'interferenza sulla linea indotta: si tratta sostanzialmente di tensioni e correnti indotte. I risultati rappresentano un elemento cardine dell'interferenza elettromagnetica perché permettono di individuarla quantitativamente in maniera oggettiva: ciò spiega perché gli accordi tra gli enti proprietari degli impianti inducenti e degli impianti indotti, esplicitati dalle Norme tecniche, definiscono i limiti da applicare ai risultati dell'interferenza che si manifestano sull'impianto indotto.

L'approccio metodologico con cui è trattata l'interferenza elettromagnetica differisce in modo sostanziale dall'approccio con cui è affrontata la compatibilità elettromagnetica (EMC), a cui spesso l'interferenza elettromagnetica è associata. In EMC, l'impianto inducente e quello indotto sono considerati indipendentemente gli uni dagli altri. L'impianto inducente non deve emettere più di un certo limite (limite di emissione); l'impianto indotto deve resistere fino ad un certo limite (limite di immunità): la compatibilità elettromagnetica è assicurata in senso statistico dal fatto che i limiti di emissione sono adeguatamente inferiori ai limiti di immunità.

Nell'interferenza elettromagnetica non esiste un concetto analogo al limite di emissione, ma solo il concetto analogo al limite di immunità dell'impianto indotto: la verifica del rispetto di tale limite deve però essere esaminata caso per caso.

Gli effetti dell'interferenza sono ciò che le tensioni e correnti indotte possono produrre sull'impianto indotto e sulle persone che si trovano a contatto con esso. In funzione del valore assunto dai risultati e di altre condizioni, quali il tipo di servizio svolto dall'impianto indotto e la presenza di persone a contatto con l'impianto indotto, si possono manifestare danni all'impianto, perturbazioni al suo funzionamento (fino all'interruzione del servizio svolto dall'impianto), pericoli per le persone a contatto con l'impianto indotto.

Il concetto chiave associato agli effetti definiti precedentemente ed ai limiti di interferenza stabiliti dalle Norme di interferenza è il seguente: rispetto dei limiti significa che l'interferenza, pur producendo risultati non nulli, non produce effetti, ovvero non produce danni, non produce perturbazioni, non dà luogo a pericoli per le persone. In sintesi, il soddisfacimento dei limiti significa che l'interferenza è accettabile.

2. NORME DI RIFERIMENTO

E' di seguito riepilogato l'elenco delle principali Norme alle quali si rimanda per le informazioni di dettaglio non esplicitamente riportate nella presente relazione:

- **CEI 103-6** – Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto – 1997.
- **CEI 304-1** – Interferenza elettromagnetica prodotta da linee elettriche su tubazioni metalliche, Identificazione dei rischi e limiti di interferenza – 2005.

Di seguito, sono descritti sommariamente i contenuti delle norme CEI 103-6 e CEI 304-1.

2.1 CEI 103-6 – LIMITI RELATIVI ALLA SICUREZZA (DELLE PERSONE)

In condizione di guasto monofase a terra della linea elettrica, i limiti da rispettare per la protezione da shock elettrici di persone che possono entrare in contatto con qualunque elemento metallico dell'impianto di telecomunicazione, sono espressione della combinazione dei valori limite di tensione indotta verso terra e della durata del guasto. Tali valori, estratti dalla Norma CEI 103-6 – punto 2.1.02, sono riportati nella Tab. 1 seguente.

Durata del guasto [s]	Tensioni ammissibile [Veff]
$t \leq 0.1$	2000
$0.1 < t \leq 0.2$	1500
$0.2 < t \leq 0.35$	1000
$0.35 < t \leq 0.5$	650
$0.5 < t \leq 1$	430
$t > 1$	60

Tab. 1 – Limiti relativi alla sicurezza delle persone in contatto con qualunque elemento metallico dell'impianto di telecomunicazione, in condizioni di guasto monofase a terra della linea elettrica.

I limiti sopra indicati si applicano in qualsivoglia posizione.

In condizioni di normale funzionamento del sistema elettrico, il nostro Paese non ha ritenuto necessario dotarsi di una normativa specifica riguardante l'interferenza elettromagnetica tra linee elettriche e linee di telecomunicazioni, riferendosi la Norma CEI 103-6 esplicitamente per la sola situazione di guasto della linea elettrica inducente.

2.2 CEI 103-6 – LIMITI RELATIVI AL DANNO AGLI IMPIANTI

a) In condizioni di guasto della linea elettrica di durata ≤ 1 s, i valori ammissibili sono i seguenti:

- la tensione tra un elemento conduttore dell'impianto di telecomunicazione e la terra di riferimento non deve superare in qualsivoglia posizione il valore di:
 - 1) per impianti in cavo a cp. simmetriche: $650 V_{\text{eff}}$
 - 2) per impianti in cavo a cp. coassiali: $2000 V_{\text{eff}}$
 - 3) per impianti in cavo a fibra ottica: $2000 V_{\text{eff}}$.

In presenza di telealimentazione in corrente continua su alcuni conduttori dell'impianto di telecomunicazione, i valori ammissibili sono adeguatamente diminuiti in modo tale che la somma aritmetica del valore di picco della tensione indotta verso terra ammissibile per quei conduttori e del valore della tensione verso terra dovuta alla telealimentazione, sia inferiore ai valori indicati in 1) e 2) moltiplicati per 1,41.

- La tensione tra due elementi conduttori qualsivoglia dell'impianto di telecomunicazione, in una qualsiasi posizione, non deve superare il valore di tenuta dell'isolante interposto fra gli elementi: il suddetto valore non può comunque essere inferiore a $430 V_{\text{eff}}$.

b) In condizione di guasto della linea elettrica di durata > 1 s, i valori ammissibili sono i seguenti:

- la tensione tra un elemento conduttore dell'impianto di telecomunicazione e la terra di riferimento non deve superare in qualsivoglia posizione il valore di $150 V_{\text{eff}}$;
- la tensione tra due elementi conduttori qualsivoglia dell'impianto di telecomunicazione, in una qualsiasi posizione, non deve superare il valore di $150 V_{\text{eff}}$.

2.3 CEI 103-6 – VALORI AMMISSIBILI IN CASI SPECIALI

I valori ammissibili di cui ai paragrafi 2.1 (§2.1.02 della norma CEI 103-6) e 2.2 (§2.1.03 della norma CEI 103-6) possono essere superati in casi eccezionali quando uno studio approfondito della situazione di interferenza (calcoli, misure) mostri l'impossibilità pratica del loro rispetto.

Nei casi in cui i valori che si decide di accettare siano superiori a quelli indicati al §2.1.02, debbono essere adottate norme di esercizio particolari, tali che il pericolo di danno per le persone non risulti aumentato.

2.4 CEI 103-6 – APPLICAZIONE DEI LIMITI

Circa l'applicazione dei limiti, si sottolineano i seguenti aspetti.

- I limiti di interferenza per la situazione di guasto monofase a terra devono essere confrontati con le tensioni indotte da ciascuna linea presente, in quanto si suppone che la probabilità di guasto contemporaneo delle linee inducenti sia estremamente bassa o, in altri termini, che una sola linea inducente alla volta sia in condizioni di guasto.
- I limiti relativi al pericolo per le persone si applicano a tutti i punti della linea di telecomunicazione con l'ipotesi che codeste persone indossino vestiario comune e non dispongano di dispositivi di protezione individuale contro le tensioni (ad esempio guanti isolanti).
- I limiti relativi al danno alla linea di telecomunicazione si applicano a qualsivoglia posizione lungo la linea.

2.5 CEI 304-1 – PROCEDURA VALUTAZIONE INTERFERENZA CON TUBAZIONI METALLICHE

Per valutare l'accettabilità di una situazione di interferenza prodotta da una linea elettrica in corrente alternata su una tubazione metallica si applica la procedura riportata nel paragrafo 4 della norma CEI 304-1, la quale deve essere svolta due volte, cioè considerando le interferenze di breve durata (dovute alla linea elettrica in condizioni di guasto) e le interferenze di lunga durata (dovute alla linea elettrica in condizioni di esercizio).

Nel caso in esame in cui la linea elettrica risulta realizzata in cavo interrato, i tipi di accoppiamento con la conduttura metallica da considerare sono:

- in condizioni di guasto: induttivo e conduttivo (quest'ultimo deve essere considerato in caso di attraversamento o avvicinamento ad una distanza minore di 20 m)
- in condizione ordinaria di esercizio: induttivo e conduttivo (quest'ultimo deve essere considerato in caso di attraversamento)

2.6 CEI 304-1 – LIMITI RELATIVI ALLA SICUREZZA (DELLE PERSONE)

Il valore efficace della tensione dovuta all'interferenza, non deve eccedere in ogni punto accessibile alle persone, i valori riportati nella Tab. 2 nelle condizioni di guasto, mentre non deve superare il valore di 60 V in condizioni ordinarie di esercizio della linea elettrica.

durata del guasto (s)	tensione (val. eff.) (V)
$t \leq 0,1$	2000
$0,1 < t \leq 0,2$	1500
$0,2 < t \leq 0,35$	1000
$0,35 < t \leq 0,5$	650
$0,5 < t \leq 1$	300
$1 < t \leq 3$	150
$t > 3$	60

Tab. 2 – Limiti relativi alla sicurezza delle persone in contatto con tubazioni metalliche
in condizioni di guasto della linea elettrica.

2.7 CEI 304-1 – LIMITI CONNESSI AL DANNO PER IL SISTEMA DI TUBAZIONI

Condizioni di guasto

Se la durata del guasto è minore o uguale a 1 s:

- La tensione (valore efficace) causata dall'interferenza tra la tubazione metallica e la terra remota in ogni punto del sistema di tubazioni, o la tensione tra qualsiasi elemento dell'apparecchiatura elettrica/elettronica connessa alla tubazione metallica e la terra remota, non deve essere superiore a 2000 V; valori maggiori di 2000 V possono essere accettati se l'impianto è in grado di resistere a tali valori e se esistono accordi in merito.
- La differenza di potenziale (valore efficace) su un giunto di isolamento non deve eccedere 2000 V.

Se la durata del guasto è maggiore di 1 s il limite è di 60 V.

Condizioni ordinarie di esercizio

Nelle condizioni ordinarie di esercizio la tensione (valore efficace) causata dall'interferenza, tra la tubazione metallica e la terra remota, in ogni punto del sistema o la tensione di qualunque elemento dell'apparecchiatura elettrica/elettronica connessa alla tubazione metallica e la terra remota, non deve eccedere 60 V.

3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Costituiscono inoltre parte integrante della presente relazione i documenti di seguito elencati, ai quali si rimanda per tutte le informazioni di dettaglio:

- **PD2-C2B-TS3-0690-0-PA-NOT**
IMPIANTI FISSI DI TRAZIONE ELETTRICA – LINEA PRIMARIA
PIANA DI SUSÀ
RELAZIONE TECNICA FUNZIONALE CAVIDOTTO 132 kV VENAUS-SUSA
- **PD2-C2B-TS3-0694-0-PA-NOT**
IMPIANTI FISSI DI TRAZIONE ELETTRICA – LINEA PRIMARIA
PIANA DI SUSÀ
RACCOLTA INTERFERENZE CAVIDOTTO 132 kV VENAUS-SUSA
- **PD2-C2B-TS3-0720-0-PA-NOT**
IMPIANTI FISSI DI TRAZIONE ELETTRICA – COMPATIBILITA'
ELETTROMAGNETICA (CEM) – PIANA DI SUSÀ
RELAZIONE RELATIVA ALLE SIMULAZIONI CAMPO MAGNETICO
CAVIDOTTO 132 kV VENAUS-SUSA

4. METODO E RISULTATI DEL CALCOLO

Nelle linee di trasmissione dell'energia elettrica, gli accoppiamenti elettromagnetici hanno un notevole effetto sulle grandezze di regime (tensione e corrente) della linea; inoltre possono dar luogo a tensioni e correnti su elementi conduttori che si trovano in prossimità della linea stessa.

Nella valutazione di questi effetti si tiene conto principalmente di tre tipi di accoppiamento:

- 1) Accoppiamento capacitivo, che tiene conto dell'effetto del campo elettrico.
- 2) Accoppiamento induttivo, che tiene conto degli effetti legati al campo magnetico.
- 3) Accoppiamento conduttivo, che tiene conto del campo di conduzione dovuto alle correnti nel terreno.

Questi tre fenomeni possono manifestarsi contemporaneamente anche se nella maggior parte dei casi un tipo di accoppiamento è predominante rispetto agli altri due, permettendo l'adozione di metodi di calcolo semplificati che tengono conto solo di un tipo di accoppiamento.

L'accoppiamento capacitivo è legato all'esistenza di una capacità mutua tra il circuito inducente (costituito dalla linea elettrica con ritorno a terra) ed il circuito indotto. Tale capacità mutua è influente solo nel caso in cui entrambe le opere, inducente e indotta, siano aeree. In questi casi, tramite la capacità mutua, una tensione presente nel circuito inducente tra i conduttori dell'elettrodotto e la terra, produce tensioni e correnti indotte nel circuito indotto costituito dalla linea di telecomunicazione con ritorno a terra.

L'accoppiamento induttivo è legato all'esistenza di una mutua induttanza tra due circuiti elettrici prossimi tra loro: a fronte di un circuito inducente costituito dalla linea elettrica con ritorno a terra, esiste un'induttanza mutua rispetto al circuito indotto, costituito ad esempio da linea di telecomunicazione o tubazione metallica con ritorno a terra. Tale induttanza mutua è presente per tutte le combinazioni possibili di linea elettrica aerea o sotterranea e linea di telecomunicazione / tubazione metallica, siano esse aeree o sotterranee. Tramite tale mutua induttanza, una corrente circolante nel circuito inducente costituito dalla linea elettrica con ritorno a terra (corrente inducente) produce tensioni e correnti indotte nel circuito indotto. Con riferimento a questo tipo di accoppiamento, la situazione più gravosa è, in generale, quella che corrisponde alla condizione di guasto monofase a terra della linea elettrica, in quanto in questa circostanza la corrente inducente, che circola nel circuito elettrodotto-terra, può raggiungere valori molto elevati (dell'ordine di diversi kA, capaci di indurre tensioni massime anche dell'ordine di qualche kV). In condizioni di funzionamento normale della linea elettrica la corrente circolante nel circuito elettrodotto-terra ha invece valori dell'ordine di pochi A (capaci, normalmente, di indurre tensioni massime di pochi V).

L'accoppiamento conduttivo è legato all'esistenza di una conduttanza mutua tra il circuito inducente (costituito dalla linea elettrica con ritorno a terra) ed il circuito indotto: tale conduttanza mutua può esistere esclusivamente nel mezzo conduttivo utilizzato quale ritorno comune dai due circuiti inducente ed indotto, dunque nel terreno. In pratica tale fenomeno può manifestarsi nei casi in cui la linea di telecomunicazione (o la tubazione metallica interrata) transitino in vicinanza di punti in cui vi è circolazione nel terreno di un significativo valore di corrente, tipicamente in vicinanza di un traliccio di una linea elettrica aerea AT o in vicinanza di una sottostazione, in quanto attraverso il dispersore di terra del traliccio o della sottostazione, in condizioni di guasto dissimmetrico, la corrente di guasto fluisce a terra.

4.1 CALCOLO DELLA F.E.M NEI PARALLELISMI CON IMPIANTI DI TELECOMUNICAZIONE

Nel caso in esame, ad oggi non risulta disponibile un censimento completo delle linee di telecomunicazione che rientrano nella zona di influenza del cavidotto (fascia di 30 m dall'asse di posa), quindi nel seguito è stata esposta la procedura semplificata indicata dalla CEI 103-6, per la stima della forza elettromotrice indotta longitudinale e vengono fornite delle lunghezze indicative dei parallelismi Tab. 3, oltre le quali non risultano rispettati i limiti di tensione verso terra esposti nei paragrafi 2.1 e 2.1. In tal caso risulta necessario l'adozione dei provvedimenti di mitigazione come esposti nel paragrafo 5.1.

Per la stima della forza elettromotrice indotta longitudinale e , nei conduttori della linea di telecomunicazione è stata adottata la seguente (CEI 103-6 par. 3.1.05):

$$e = 2\pi f M I J k * 10^{-3} [V]$$

Dove:

f = frequenza corrente di guasto;

M = modulo della mutua induttanza per unità di lunghezza [$\mu\text{H}/\text{km}$], stimata secondo quanto riportato in Appendice A della CEI 103-6;

I = lunghezza del parallelismo [km];

J = corrente di guasto [kA];

k = fattore di riduzione stimato al valore di 0.15, secondo quanto indicato in Appendice B, Tab. 7 della CEI 103-6.

Sulla base del documento **PD2-C2B-TS3-0626-0-PA-NOT** SSE DI SUSA – RELAZIONE DELLA MAGLIA DI TERRA, per quanto attiene alla corrente di guasto a terra I_g ed al tempo d'interruzione si assumono, in sicurezza, i valori dei suddetti parametri forniti alle sbarre della Cabina Primaria di Venaus, da cui proviene l'alimentazione AT:

$$I_g = 16000 \text{ A}; \quad t = 0.45 \text{ s}$$

Nel seguito sono riportati gli andamenti del coefficiente di mutua induzione Fig. 1 e della forza elettromotrice longitudinale indotta Fig. 2, per unità di lunghezza ed in funzione della distanza del parallelismo.

ÉTUDE COMPATIBILITÉ ELECTROMAGNETIQUE VERS TERS / STUDIO COMPATIBILITA' ELETTRONMAGNETICA VERSO IMPIANTI
TERZI CAVIDOTTO 132 KV VENAUS-SUSA

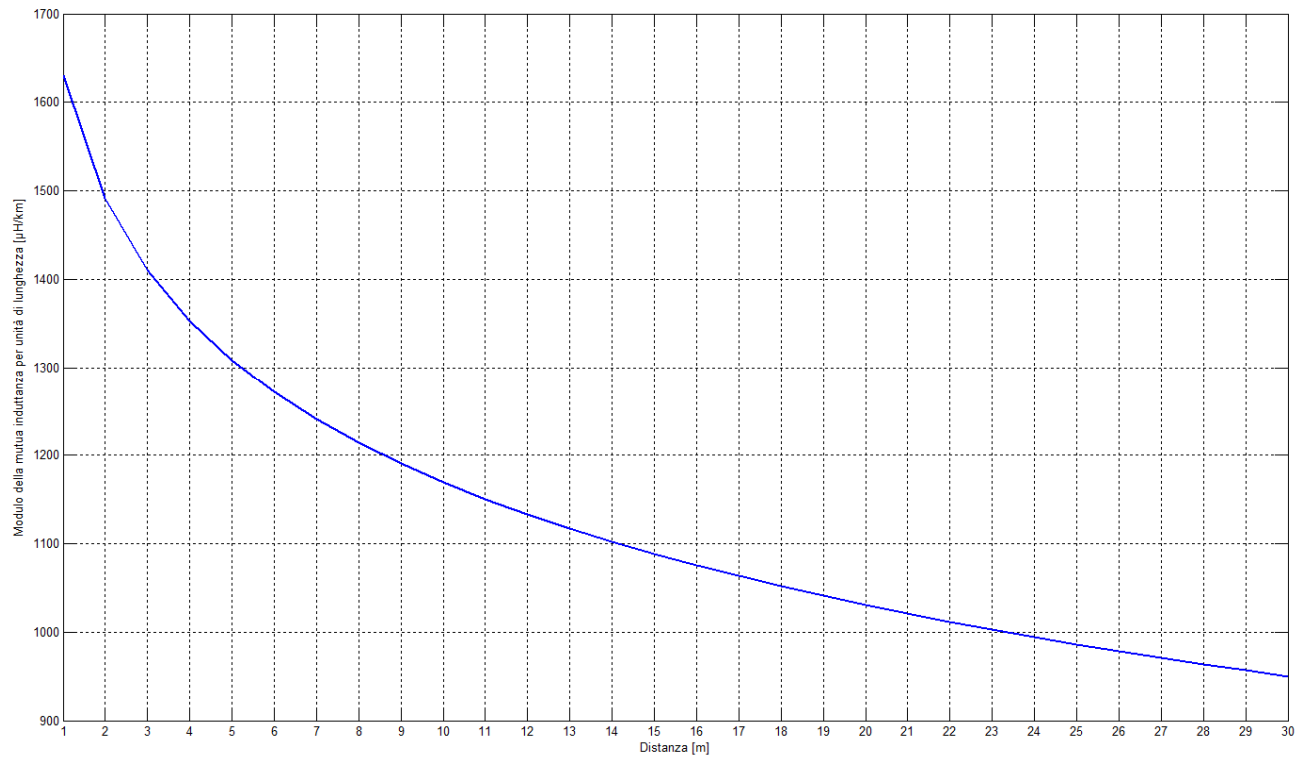


Fig. 1 – Modulo della mutua induzione per unità di lunghezza [$\mu\text{H}/\text{km}$]
in funzione della distanza del parallelismo [m]

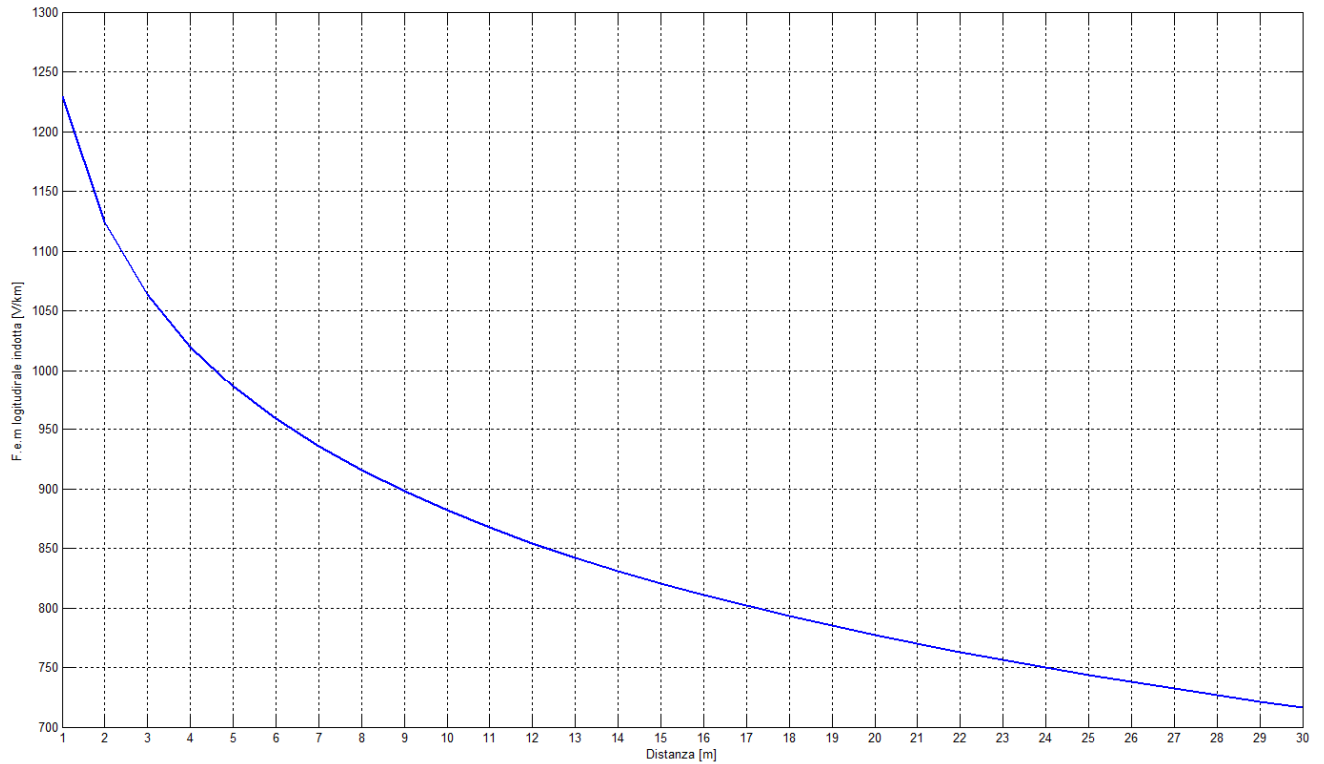


Fig. 2 – F.e.m. longitudinale indotta per unità di lunghezza [V/km]
in funzione della distanza del parallelismo [m]

LUNGHEZZA LIMITE DEL PARALLELISMO [m]						
Distanza [m]	Mutua induzione [μH/km]	F.e.m indotta longitudinale[V/km]	Danno per le persone	DANNO PER IMPIANTI IN CAVO		
				a cp. simmetriche	a cp. coassiali	a fibra ottica
1	1630	1229	529		1627	
2	1491	1124	578		1779	
3	1410	1063	611		1881	
4	1353	1020	637		1961	
5	1308	986	659		2028	
6	1272	959	678		2086	
7	1241	936	695		2138	
8	1214	915	710		2185	
9	1191	898	724		2228	
10	1170	882	737		2268	
11	1150	867	749		2306	
12	1133	854	761		2341	
13	1117	842	772		2375	
14	1102	831	782		2407	
15	1088	821	792		2437	
16	1076	811	802		2466	
17	1063	802	811		2494	
18	1052	793	819		2522	
19	1041	785	828		2548	
20	1031	777	836		2573	
21	1021	770	844		2598	
22	1012	763	852		2622	
23	1003	756	860		2645	
24	994	750	867		2667	
25	986	744	874		2690	
26	978	738	881		2711	
27	971	732	888		2732	
28	964	727	895		2753	
29	957	721	901		2773	
30	950	716	908		2793	

Tab. 3 – Lunghezze limite dei parallelismi [m] oltre le quali risultano necessari interventi per la riduzione della f.e.m. indotta verso terra

Per quanto riguarda la sicurezza delle persone, in questa analisi semplificata, dalla Tab. 3 si riscontra che non risultano pericolosi i parallelismi di lunghezza minore di 500 m.

4.2 CALCOLO DELLA F.E.M NEI PARALLELISMI CON TUBAZIONI METALLICHE

Sulla base delle informazioni contenute nel documento di progetto **PD2-C2B-TS3-0694-0-PA-NOT** – LINEA PRIMARIA – PIANA DI SUSA RACCOLTA INTERFERENZE CAVIDOTTO 132 kV VENAUS-SUSA, ed essendo per gli impianti interferenti, non fornite le principali caratteristiche indicate nell'Allegato A della norma CEI 304-1, ad oggi non risulta possibile effettuare una valutazione esaustiva per ogni impianto interferente.

Come nel caso precedente, è stato comunque effettuato uno studio, per fornire una prima stima della forza elettromotrice indotta in una tubazione metallica, sia nelle condizioni di normale esercizio, che in condizioni di guasto del cavidotto e sono state riportate le lunghezze limite dei parallelismi. I modelli matematici impiegati per la stima del coefficiente di mutua induzione sono le equazioni di Carson-Clem (riportate nel seguito), mentre per il calcolo della f.e.m. è stata impiegata l'equazione riportata nel paragrafo 4.1.

- ✓ Coefficiente di mutua induzione tra 2 maglie conduttore terra (caso di guasto monofase del cavidotto):

$$M_m = k \left[\ln \left(\frac{A}{D} \right) + 0,5 \right] [H/km]$$

dove:

$$k = 2 \cdot 10^{-4};$$

A = Distanza del baricentro delle correnti di ritorno nel terreno, stimata con la seguente

$$A = 400 \sqrt{\frac{\rho}{f}} [m]$$

D = distanza tra conduttura e tubazione;

f = frequenza [Hz].

- ✓ Coefficiente di mutua induzione tra linea monofase e tubazione (caso di esercizio normale del cavidotto):

$$M = k \left[\ln \left(\frac{D_2}{D_1} \right) \right] [H/km]$$

dove:

$$k = 2 \cdot 10^{-4};$$

D₁, D₂ = distanze dei due conduttori del cavidotto interessati dalla corrente, con la tubazione.

Nel seguito sono riportati i risultati.

CONDIZIONE DI GUASTO DEL CAVIDOTTO

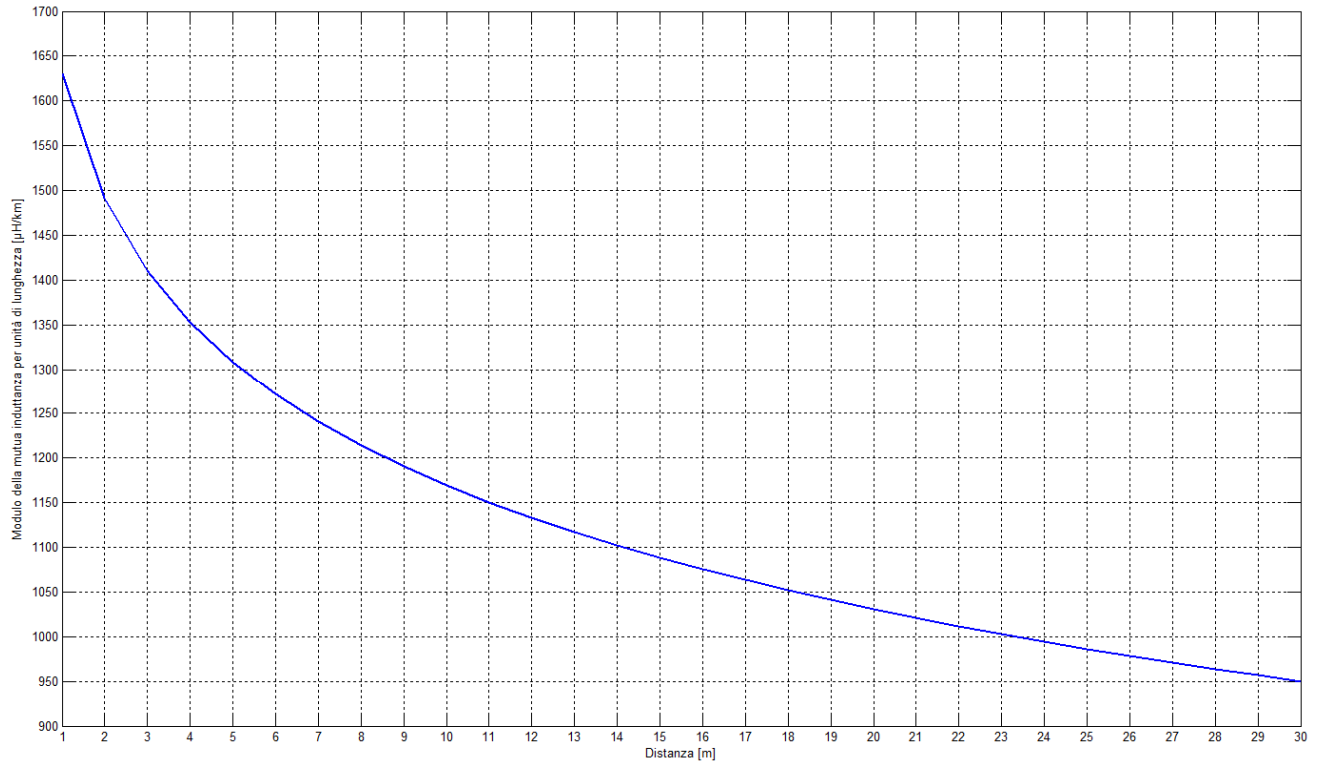


Fig. 3 – Condizione di guasto – Modulo della mutua induzione per unità di lunghezza [$\mu\text{H/km}$] con la tubazione metallica in funzione della distanza del parallelismo[m]

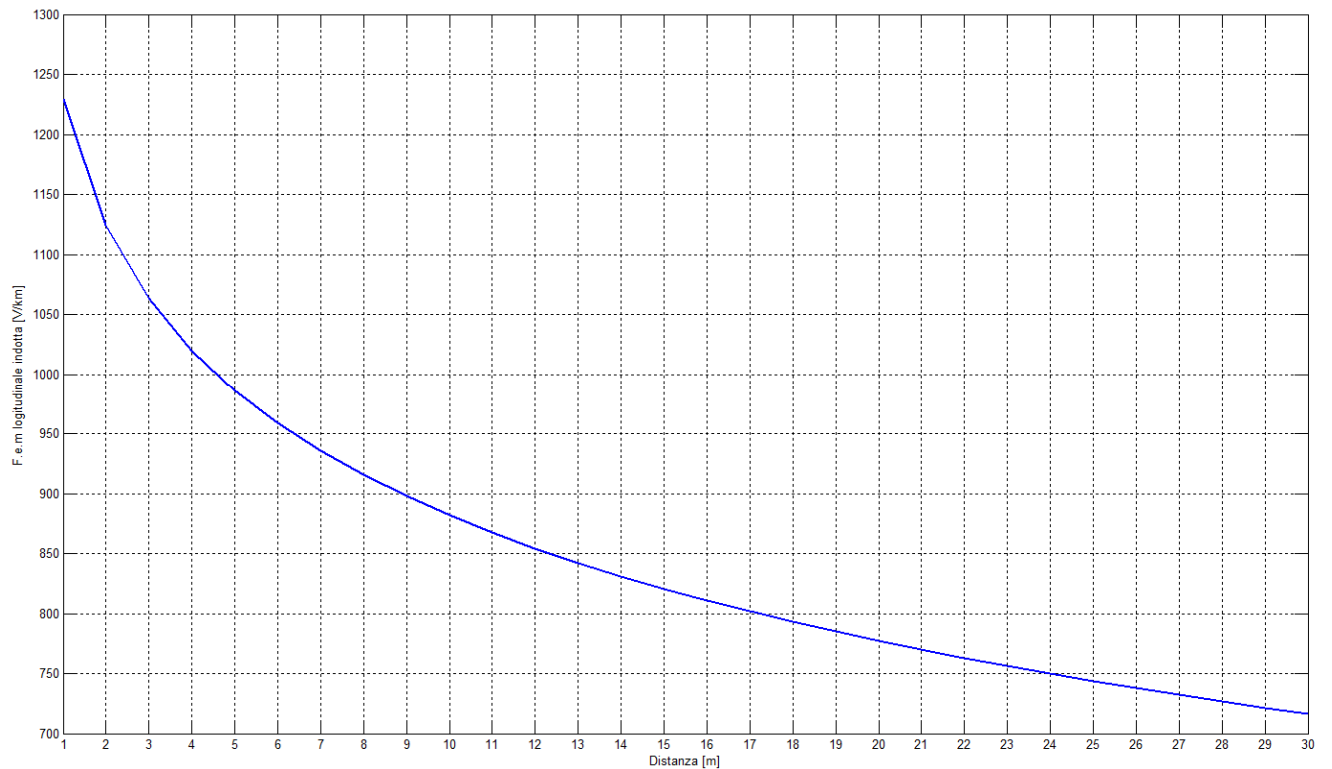


Fig. 4 – Condizione di guasto – F.e.m. longitudinale indotta per unità di lunghezza [V/km] sulla tubazione metallica in funzione della distanza del parallelismo [m]

**LUNGHEZZA LIMITE DEL
 PARALLELISMO [m]**

Distanza [M]	Mutua induzione [μH/km]	F.e.m indotta longitudinale[V/km]	Danno per le persone	Danno per il sistema di tubazione
1	1598	1205	540	1660
2	1459	1100	591	1818
3	1378	1039	626	1925
4	1321	996	653	2009
5	1276	962	676	2079
6	1240	935	696	2140
7	1209	911	713	2195
8	1182	891	729	2244
9	1158	873	744	2290
10	1137	858	758	2332
11	1118	843	771	2372
12	1101	830	783	2410
13	1085	818	795	2445
14	1070	807	806	2479
15	1056	796	816	2511
16	1043	787	826	2542
17	1031	778	836	2572
18	1020	769	845	2601
19	1009	761	854	2629
20	999	753	863	2656
21	989	746	872	2682
22	980	739	880	2708
23	971	732	888	2732
24	962	726	896	2757
25	954	719	904	2780
26	946	713	911	2803
27	939	708	918	2826
28	931	702	926	2848
29	924	697	933	2869
30	918	692	939	2891

Tab. 4 – Condizione di guasto – Lunghezze limite dei parallelismi [m], oltre le quali risultano necessari interventi per la riduzione della f.e.m. indotta verso terra sulla tubazione metallica

Per quanto riguarda la sicurezza delle persone, in questa analisi semplificata, si riscontra che non risultano pericolosi i parallelismi di lunghezza minore di 500 m (Tab. 4).

CONDIZIONE DI NORMALE ESERCIZIO

Per la condizione di normale esercizio, è stato considerato il funzionamento monofase di una terna del cavidotto e alla portata di 1020 A.

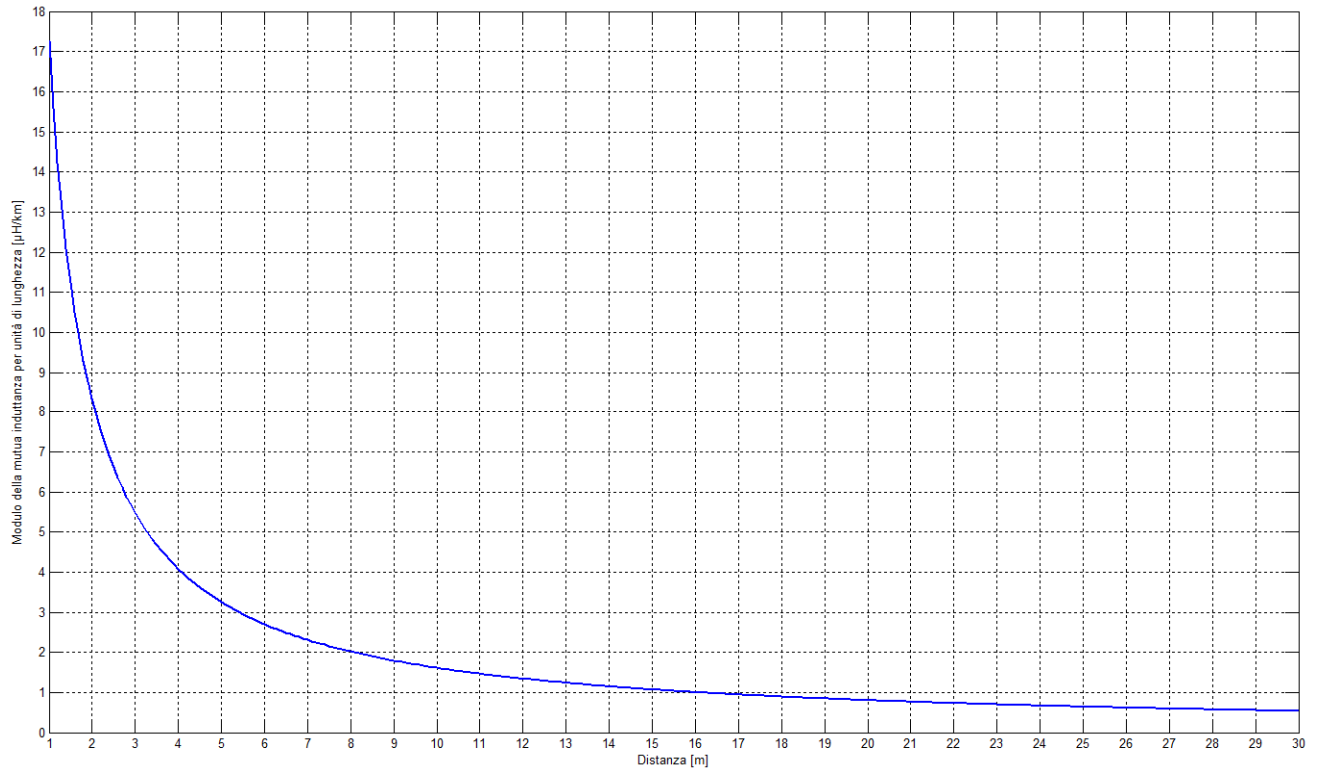


Fig. 5 – Condizione normale di esercizio – Modulo della mutua induzione per unità di lunghezza [$\mu\text{H}/\text{km}$] con la tubazione metallica in funzione della distanza del parallelismo[m]

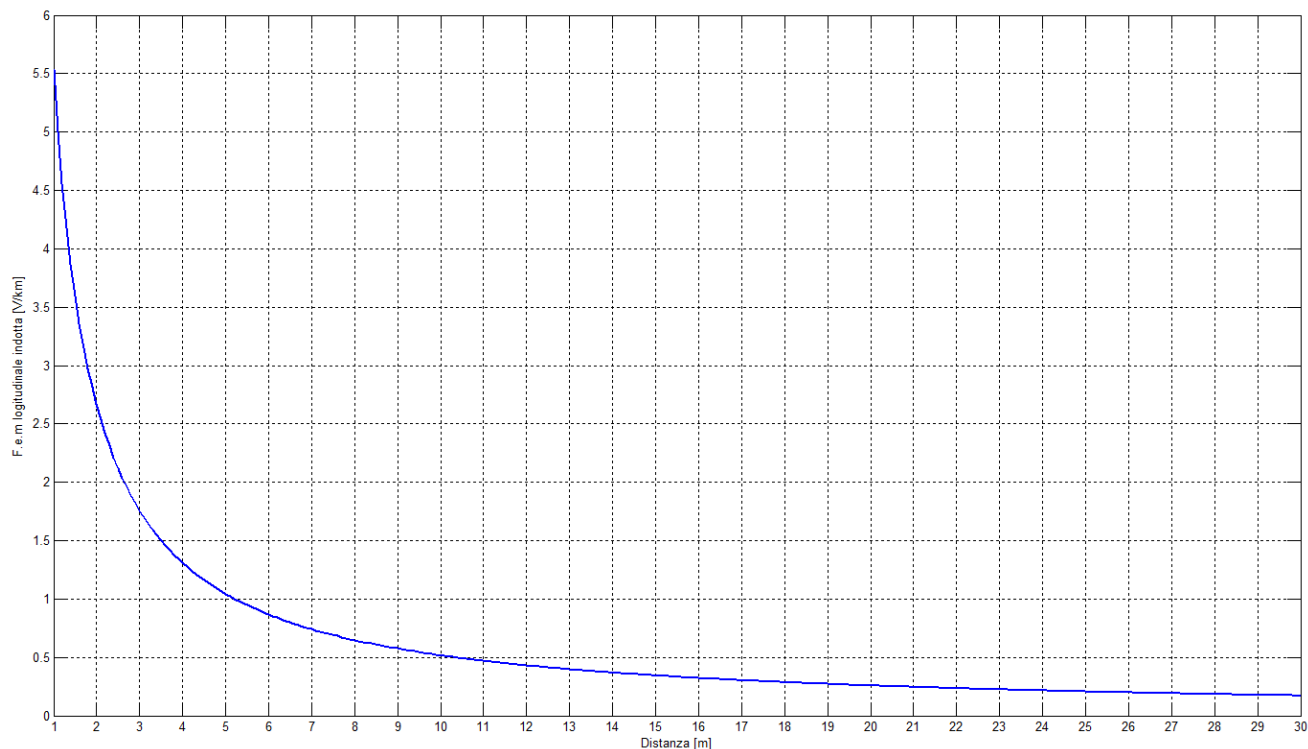


Fig. 6 – Condizione normale di esercizio – F.e.m. longitudinale indotta per unità di lunghezza [V/km] sulla tubazione metallica in funzione della distanza del parallelismo [m]

Visto la ridotta sezione della spira inducente, la Fig. 6 dimostra che nel caso di normale funzionamento del cavidotto, la f.e.m indotta longitudinale risulta molto contenuta e quindi in una prima fase trascurabile.

5. PROVVEDIMENTI PER MITIGARE L'INTERFERENZA

Se il calcolo preventivo mostra che la tensione indotta non è superiore ai valori ammissibili, sia sugli impianti di telecomunicazione, sia nelle tubazioni, non occorre adottare alcun provvedimento. In caso contrario sarà necessario adottare provvedimenti, onde riportare entro i valori ammissibili la tensione indotta.

5.1 PROVVEDIMENTI ATTI A RIDURRE GLI EFFETTI DELL'INDUZIONE ELETTRONMAGNETICA SUGLI IMPIANTI DI TELECOMUNICAZIONE

Per ridurre gli effetti dell'induzione elettromagnetica si possono adottare uno o più dei seguenti provvedimenti, scelti in base a criteri tecnici ed economici:

- adozione di un cavo di telecomunicazione o di un cavo elettrico con fattore di riduzione adeguato;
- uso, sulla linea di telecomunicazione, di limitatori di sovratensione;
- uso, sulla linea di telecomunicazione, per quanto possibile, di trasformatori di separazione (traslatori) intermedi o terminali, o di trasformatori neutralizzatori;

- adozione, per la linea di telecomunicazione, per quanto possibile, di modalità di esercizio che riducano il valore della tensione indotta.

Per quanto concerne l'impianto elettrico, sarà indispensabile procedere quanto più rapidamente possibile all'eliminazione dei guasti.

5.2 PROVVEDIMENTI ATTI A RIDURRE GLI EFFETTI DELL'INDUZIONE ELETTRONMAGNETICA SULLE TUBAZIONI METALLICHE

- Strutture di protezione
Sono utilizzate per accoppiamenti conduttivi; consistono in strutture di rivestimento della tubazione, tali da non permettere alla corrente di ritorno a terra relativa alla linea elettrica di potenza di fluire nella tubazione.
- Limitatori di sovratensioni (SPD)
I limitatori di sovratensioni (SPD) possono essere utilizzati per collegare la tubazione a terra o collegare le parti opposte di un giunto isolante per ridurre il valore di tensione che si presenta in condizioni di guasto o in particolari condizioni di esercizio molto gravose. Deve essere considerato che quando installati tra la tubazione e la terra, per questi dispositivi è richiesto un collegamento a terra avente una bassa impedenza.
- Giunti isolanti
I giunti isolanti possono essere inseriti a intervalli lungo la tubazione per realizzare una discontinuità elettrica riducendo la lunghezza dei tratti di tubazione che possono essere interferiti.
- Connessioni di messa a terra
I collegamenti di terra possono essere utilizzati per ridurre le tensioni indotte in condizioni di guasto e in condizioni ordinarie di esercizio.

6. GESTIONE DELLE INTERFERENZE

Ogni situazione di interferenza è relativa alla sicurezza di persone ed al danno o malfunzionamento degli impianti, quindi problematiche che devono essere gestite con attenzione, per essere sicuri che l'interferenza sia accettabile.

Quindi dato che generalmente una situazione di interferenza coinvolge due impianti (linea elettrica e linea di telecomunicazione o tubazione metallica) di differenti società, è necessario stabilire uno scambio efficiente e affidabile di informazioni tra le parti, onde realizzare un censimento esaustivo degli impianti interferenti.