

CONNESSIONE AT CENTRALE SNAM – IMPIANTO UTENTE 132/15 kV

RELAZIONE DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI


Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido



Storia delle Revisioni

Rev.	Data	Descrizione
Rev. 00	04/08/2021	Prima emissione del documento

Elaborato	Verificato	Approvato
 WE ENGINEERING Green & Green S.r.l.		

INDICE

1	PREMESSA	2
2	INTRODUZIONE	2
3	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
4	COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA	3
4.1	CAMPO ELETTROMAGNETICO	5
4.2	CAMPO ELETTRICO.....	6
4.3	CAMPO MAGNETICO	6
5	FASCIA DI RISPETTO	7
6	CASI SPECIFICI DI INCROCI E PARALLELISMI NELL'IMPIANTO	8
6.1	PREMESSA.....	8
6.2	METODI DI RISOLUZIONE INCROCI	9
6.3	METODI DI RISOLUZIONE PARALLELISMI.....	10
7	LAYOUT DI IMPIANTO	12
7.1	INDIVIDUAZIONE DEGLI ATTRAVERSAMENTI.....	12
7.2	INDIVIDUAZIONE DEI PARALLELISMI	13
8	RISOLUZIONE PARALLELISMI ED INCROCI	14
9	CALCOLO DELLA FORZA ELETTROMOTRICE (F.E.M.) LONGITUDINALE INDOTTA	15
9.1	PREMESSA.....	15
9.2	LIMITI RELATIVI ALLA SICUREZZA DELLE PERSONE	15
9.3	LIMITI CONNESSI AL DANNO PER IL SISTEMA DI TUBAZIONI.....	16
9.4	CALCOLO DELLA F.E.M. NEGLI ATTRAVERSAMENTI	16
9.5	CALCOLO DELLA F.E.M. NEI PARALLELISMI.....	17
9.6	ANALISI ELETTROMAGNETICA NEL CAVIDOTTO MT	30
10	CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI SSE UTENTE 150/20 KV	34
11	PROVVEDIMENTI PER MITIGARE L'INTERFERENZA ELETTROMAGNETICA	36
12	CONCLUSIONI	36

 Terna Energy Solutions	CONNESSIONE AT CENTRALE SNAM – IMPIANTO UTENTE 132/15 kV	PR_STZU_R_00033_00	
	RELAZIONE DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Rev.00 del 04/08/2021	Pag. 2 a 36

1 PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di descrivere i calcoli di campi elettromagnetici relativi alla realizzazione di una stazione elettrica Utente 132/15 kV ed i relativi cavidotti MT per il collegamento tra l'impianto e la stazione Utente.

Nello specifico la Soluzione Tecnica Minima Generale rilasciata con prot. TERNA/202000214-26/05/2020, si riferisce alla connessione in rete (RTN) di un impianto corrispondente a una unità di consumo da 20 MW della società Snam Rete Gas S.p.A., che dovrà essere collegato in antenna a 132 kV ad una nuova stazione elettrica (SE) RTN 132 kV da inserire in entra-esce alla futura linea RTN a 132 kV "Altedo – Ferrara Sud" prevista dal Piano di Sviluppo Terna.

2 INTRODUZIONE


L'analisi che verrà condotta nei capitoli a seguire, riguarda il cavidotto MT di connessione tra l'unità di consumo da 20 MW della società Snam Rete Gas S.p.A e la stazione utente di nuova realizzazione a 132/15 kV. Il collegamento avverrà attraverso terne di cavi unipolari della tipologia ARG7H1RNR.

Nel percorso previsto, sono da segnalare delle criticità che verranno analizzate singolarmente, al fine di trovare la soluzione migliore dal punto di vista tecnico. Il tutto avverrà in accordo con le normative vigenti in materia.

Le principali criticità analizzate saranno le seguenti:

- Attraversamento (di seguito anche incrocio) di metanodotto con linea elettrica in cavo interrata;
- Parallelismo tra metanodotto e linea elettrica in cavo interrata;
- Posa di cavi elettrici interrati dall'unità di consumo fino alla stazione utente, su strada pubblica asfaltata.

Per ognuno dei casi sopra descritti, è stata condotta un'opportuna analisi al fine di valutare la profondità di posa minima necessaria per rispettare le normative, di seguito citate.

 T E R N A G R O U P Terna Energy Solutions	CONNESSIONE AT CENTRALE SNAM – IMPIANTO UTENTE 132/15 kV	PR_STZU_R_00033_00	
	RELAZIONE DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Rev.00 del 04/08/2021	Pag. 3 a 36

3 RIFERIMENTI NORMATIVI

1. D.M. del 29 maggio 2008
2. Norma CEI 106-11 (Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del D.P.C.M. 8 luglio 2003 (art.6))
3. D.P.C.M. del 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”.
4. Legge n.36 del 22 febbraio 2001 – Decreto Interministeriale del 21 marzo 1988 n.449
5. EMC 2014/30/UE
6. Guida non vincolante di buone prassi per l’attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici. Volume 2: Studi di casi, Commissione Europea
7. DL 179/2012
8. D.P.C.M. del 8 luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz”
9. Norma CEI 103-6 (Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell’induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto).
10. D.M. del 24 Novembre 1984 “Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l’accumulo e l’utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8.”.
11. EN 50443 – “Effects of electromagnetic interference on pipelines caused by high voltage AC electric traction system and/or high voltage AC power supply systems”.

4 COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA

Il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fissa i limiti di esposizione e valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all’esercizio degli elettrodotti, in particolare: – All’art.3 comma 1: nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μ T per l’induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci. – All’art.3 comma 2: a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l’esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l’infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per

l'induzione magnetica il valore di attenzione di $10 \mu\text{T}$, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. – Art.4 comma 1. Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. Lo stesso DPCM, all'art 6, fissa i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità ($B=3\mu\text{T}$) di cui all'art. 4 sopra richiamato ed alla portata della corrente in servizio normale. L'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti) definisce quale fascia di rispetto lo spazio circostante l'elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto nella pratica questo determinerebbe una fascia (basata sul limite di esposizione, nonché valore di attenzione pari a 5kV/m) che è sempre inferiore a quella fornita dal calcolo dell'induzione magnetica. Pertanto, obiettivo dei paragrafi successivi sarà quello di calcolare le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento alla normativa vigente ed in particolare al limite di qualità di $3 \mu\text{T}$.

Soglia	Valore limite del campo magnetico
Limite di esposizione	$100 \mu\text{T}$ (da intendersi come valore efficace)
Valore di attenzione (misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere)	$10 \mu\text{T}$ (da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)
Obiettivo di qualità (nella progettazione di nuovi elettrodotti in aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità delle linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio)	$3 \mu\text{T}$ (da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)

Tab. 1. Tabella riassuntiva valori di soglia

 T E R N A G R O U P Terna Energy Solutions	CONNESSIONE AT CENTRALE SNAM – IMPIANTO UTENTE 132/15 kV	PR_STZU_R_00033_00	
	RELAZIONE DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Rev.00 del 04/08/2021	Pag. 5 a 36

4.1 CAMPO ELETTROMAGNETICO

I campi elettromagnetici sono un insieme di grandezze fisiche misurabili, introdotte per caratterizzare un insieme di fenomeni osservabili indotti senza contatto diretto tra sorgente ed oggetto del fenomeno, vale a dire fenomeni in cui è presente un'azione a distanza attraverso lo spazio. Esso è composto in generale da campi vettoriali: il campo elettrico, il campo magnetico. Questo significa che i vettori che caratterizzano il campo elettromagnetico hanno ciascuno un valore definito in ciascun punto del tempo e dello spazio. I vettori che modellizzano le grandezze introdotte nella definizione del modello fisico dei campi elettromagnetici sono quindi: E. Campo elettrico, B. Campo di induzione magnetica, D. spostamento elettrico o induzione dielettrica, H. Campo magnetico.

L'esposizione umana ai campi elettromagnetici è una problematica relativamente recente che assume notevole interesse con l'introduzione massiccia dei sistemi di telecomunicazione e dei sistemi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. In realtà anche in assenza di tali sistemi siamo costantemente immersi nei campi elettromagnetici per tutti quei fenomeni naturali riconducibili alla natura elettromagnetica. Per quanto concerne i fenomeni elettrici si fa riferimento al campo elettrico, il quale può essere definito come una perturbazione di una certa regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di carica elettrica. Per i fenomeni di natura magnetica si fa riferimento ad una caratterizzazione dell'esposizione ai campi magnetici, non in termini del vettore campo magnetico, ma in termini di induzione magnetica, che tiene conto dell'interazione con ambiente ed i mezzi materiali in cui il campo si propaga. Dal punto di vista macroscopico ogni fenomeno elettromagnetismo è descritto dall'insieme delle equazioni di Maxwell. La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente i valori ammissibili di campo elettromagnetico, distinguendo così i "campi elettromagnetici quasi statici" ed i "campi elettromagnetici a radio frequenza". Nel caso dei campi quasi statici, campi generati dell'impianto a 50Hz, ha senso ragionare separatamente sui fenomeni elettrici e magnetici e ha quindi anche senso imporre separatamente dei limiti normativi alle intensità del campo elettrico e dell'induzione magnetica. Il modello quasi statico è applicato per il caso concreto della distribuzione di energia, in relazione alla frequenza di distribuzione dell'energia della rete che è pari a 50Hz. In generale gli elettrodotti dedicati alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono percorsi da correnti elettriche di intensità diversa, ma tutte alla frequenza di 50Hz, e quindi tutti i fenomeni elettromagnetici che li vedono come sorgenti possono essere studiati correttamente con il modello per campi quasi statici. Gli impianti per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz, costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo 30-300 Hz.

A seguire si riporta la tabella di sintesi dello spettro elettromagnetico.

DENOMINAZIONE	SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA	
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE	ELF	0 - 3kHz	> 100Km	
FREQUENZE BASSISSIME	VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km	
RADIOFREQUENZE	FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz	10 - 1Km
	MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz	1Km - 100m
	ALTE FREQUENZE	HF	3 - 30MHz	100 - 10m
	FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz	10 - 1m
MICROONDE	ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm
	ONDE CENTIMETRICHE	SHF	3 - 30GHz	10 - 1cm
	ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz	1cm - 1mm
INFRAROSSO	IR	0,3 - 385THz	1000 - 0,78mm	
LUCE VISIBILE		385 - 750THz	780 - 400nm	
ULTRAVIOLETO	UV	750 - 3000THz	400 - 100nm	
RADIAZIONI IONIZZANTI	X	> 3000THz	< 100nm	

Tab. 2. Tabella di sintesi dello spettro elettromagnetico

4.2 CAMPO ELETTRICO

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. I valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano; l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante. La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno. In generale l'intensità del campo elettrico è inversamente proporzionale dalla sorgente di cariche.

Nell'ambito della media tensione: gli strati di isolamento dei cavi, la disposizione dei cavi e la loro modalità di posa, attenuano considerevolmente il campo elettrico. Inoltre in aggiunta ai punti precedenti, il campo elettrico risulta ulteriormente ridotto per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata.

4.3 CAMPO MAGNETICO

L'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende dall'intensità della corrente circolante nel conduttore, con andamento inversamente proporzionale alla distanza dalla linea.

 T E R N A G R O U P Terna Energy Solutions	CONNESSIONE AT CENTRALE SNAM – IMPIANTO UTENTE 132/15 kV	PR_STZU_R_00033_00	
	RELAZIONE DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Rev.00 del 04/08/2021	Pag. 7 a 36

Il campo magnetico non subisce significative modifiche da parte di materiali diamagnetici e paramagnetici, per cui non c'è alcun effetto schermante nei confronti dei campi magnetici da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea. All'interno di eventuali edifici privi di schermatura magnetica si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno.

Il campo magnetico subisce significative modifiche da parte di materiali ferromagnetici (ferro, nichel, cobalto, alcuni metalli di transizione e loro leghe).

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono principalmente:

- 1) distanza dalle sorgenti (conduttori);
- 2) intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- 3) disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- 4) presenza di sorgenti compensatrici;
- 5) suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

Alcuni metodi con i quali ridurre i valori di intensità di campo elettrico e magnetico per cavidotti possono essere quelli di usare "linee compatte", dove i cavi vengono avvicinati tra di loro con disposizione piana o con disposizione triangolare. In tal caso per effetto della reciproca vicinanza dei cavi, la compensazione delle componenti vettoriali associate alle diverse fasi conduce ad una rapida attenuazione del campo magnetico.

5 FASCIA DI RISPETTO

L'impatto elettromagnetico indotto dall'impianto oggetto di studio può essere determinato da:

- Cavidotti in media tensione (15kV);
- Sottostazione utente 132/15 kV.

 T E R N A G R O U P Terna Energy Solutions	CONNESSIONE AT CENTRALE SNAM – IMPIANTO UTENTE 132/15 kV	PR_STZU_R_00033_00	
	RELAZIONE DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Rev.00 del 04/08/2021	Pag. 8 a 36

6 CASI SPECIFICI DI INCROCI E PARALLELISMI NELL'IMPIANTO

6.1 PREMESSA

Secondo il D.M. 24 Novembre 1984, in cui viene regolata la coesistenza tra cavidotti MT e BT e tubazioni di gas metano, è prevista una classificazione tra le diverse tubazioni, dipendenti dalla pressione del gas. Di seguito la classificazione:

PRESSIONE DI ESERCIZIO	CLASSIFICAZIONE
>5 Bar	Tubazione generalmente utilizzate per il trasporto gas per utenze in periferia. I condotti sono classificati in: <ul style="list-style-type: none"> • 1° specie: Pressione >24 bar. • 2° specie: Pressioni tra 12 e 24 bar • 3° specie: Pressioni tra 5 e 12 bar.
<5 Bar	Tubazione generalmente utilizzate per il trasporto gas nella distribuzione urbana. <ul style="list-style-type: none"> • 4° specie: Pressioni tra 1.5 e 5 bar. • 5° specie: Pressioni tra 0.5 e 1.5 bar. • 6° specie: Pressioni tra 0.04 e 0.5 bar. • 7° specie: Pressioni sotto i 0.04 bar.

Tab. 3. Classificazione delle tubazioni in base alla sua pressione.

Nel caso oggetto di studio, i metanodotti sono sempre soggetti ad una pressione superiore ai 24 bar, quindi, tutte le tubazioni nel nodo di Poggio Renatico verranno classificate come tubazioni di 1° specie. Detto ciò, si procede a mostrare il posizionamento del cavidotto rispetto alle tubazioni del gas nei casi di incroci e parallelismi, per tubi in cui la pressione di esercizio risulta essere maggiore di 5 bar.

6.2 METODI DI RISOLUZIONE INCROCI

Per quanto concerne gli incroci, le possibili soluzioni sono le seguenti:

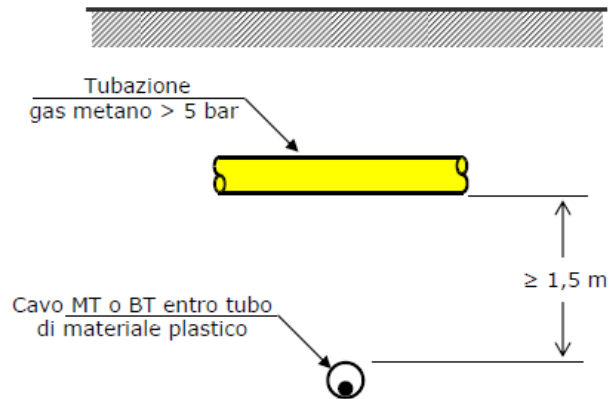


Fig. 1. Sovrappasso della tubazione gas al cavidotto elettrico con pressione superiore a 24 bar.

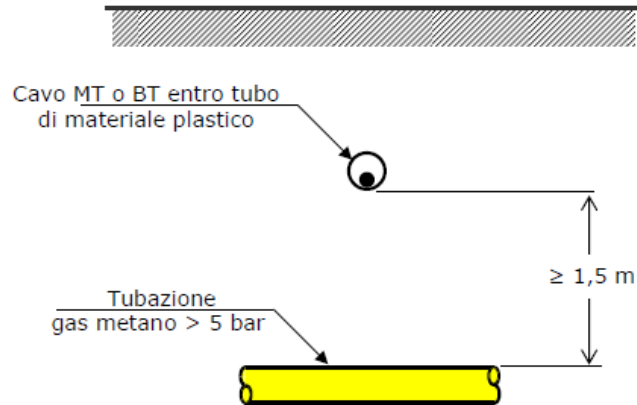


Fig. 2. Sottopasso della tubazione gas al cavidotto elettrico con pressione superiore a 24 bar.

Nell'eventualità che non si possano rispettare le distanze di Fig. 1 e Fig. 2 tra i cavidotti e la tubazione, quest'ultima dovrà essere collocata entro un tubo di protezione. Il tubo di protezione verrà prolungato da una parte e dall'altra dell'incrocio per almeno un 1 m, quando la tubazione sovrappassa la canalizzazione MT-BT e 3 m quando la sottopassa.

Le seguenti figure chiariscono quanto precedentemente menzionato.

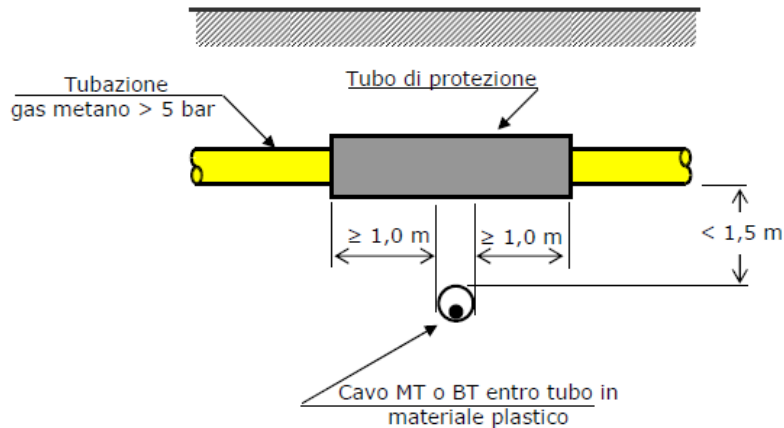


Fig. 3. Sovrappasso della tubazione gas al cavidotto elettrico con pressione superiore a 24 bar, con tubo di protezione nel metanodotto.

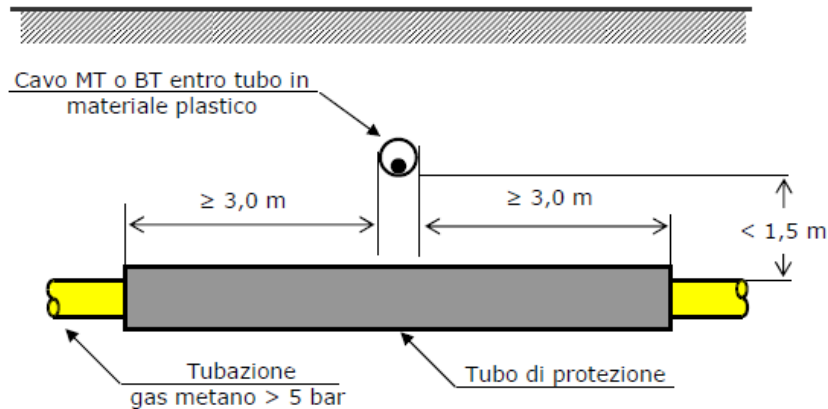


Fig. 4. Sottopasso della tubazione gas al cavidotto elettrico con pressione superiore a 24 bar, con tubo di protezione nel metanodotto.

6.3 METODI DI RISOLUZIONE PARALLELISMI

Per quanto riguarda i parallelismi tra cavidotti MT o BT e tubazioni del gas metano, la distanza minima tra le superfici affacciate non deve essere inferiore alla profondità della condotta del gas, salvo l'impiego di diaframmi continui di separazione.

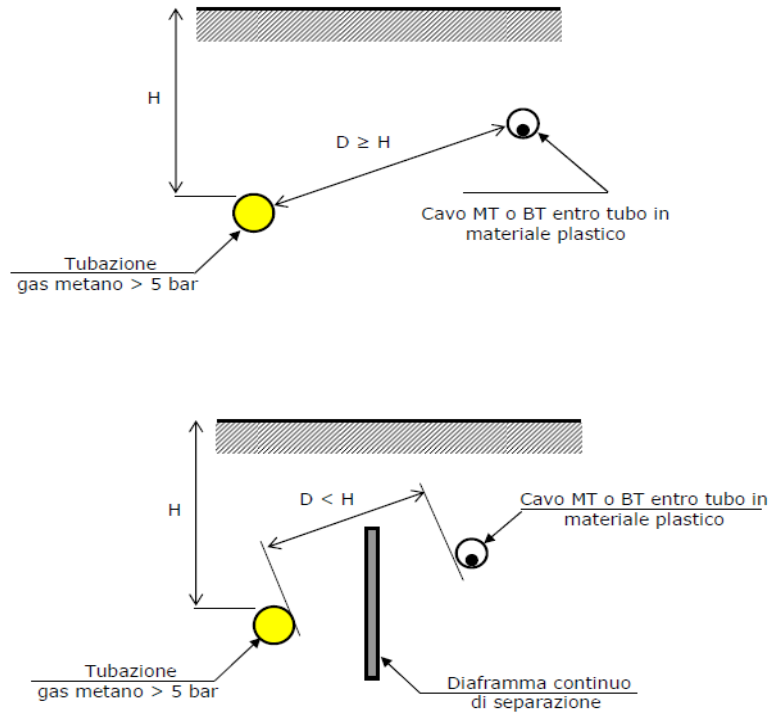


Fig. 5. Parallelismo della tubazione gas al cavidotto elettrico con pressione superiore a 24 bar.

7 LAYOUT DI IMPIANTO

Di seguito, il layout di impianto in cui si evidenziano il cavidotto MT di connessione (in verde) e le tubazioni del gas (in rosso) che attraversano l'area di centrale.



Fig. 6. Layout del cavidotto MT e le tubazioni gas esistenti.

A partire dal layout sopra riportato, è possibile individuare i casi di attraversamento e parallelismo tra il cavidotto in progetto ed i metanodotti esistenti.

7.1 INDIVIDUAZIONE DEGLI ATTRAVERSAMENTI

Si parte dall'individuazione di attraversamenti tra la tubazione del gas ed il cavidotto (nel cerchio nero), dove è indicata la profondità dell'incrocio.



Fig. 7. Incrocio fra il cavidotto MT (in verde) e i metanodotti (in rosso).

7.2 INDIVIDUAZIONE DEI PARALLELISMI

Si riporta di seguito un estratto cartografico in cui si evince il parallelismo tra il cavidotto MT e le tubazioni del gas nell'area di centrale.

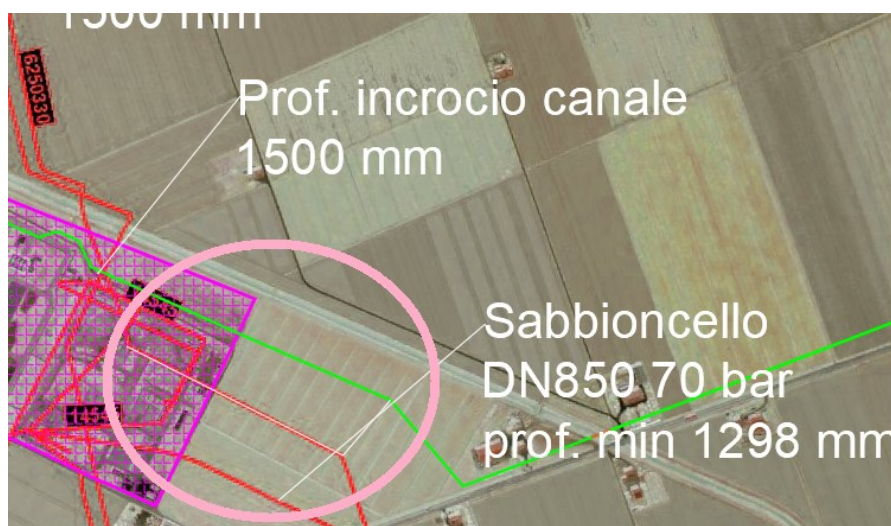


Fig. 8. Parallelismo No.1 fra il cavidotto MT (in verde) e i metanodotti (in rosso).

Questo parallelismo si protrae per 411 m. La distanza minima fra il cavidotto e il metanodotto sarà di 18.8 m.

 T E R N A G R O U P Terna Energy Solutions	CONNESSIONE AT CENTRALE SNAM – IMPIANTO UTENTE 132/15 kV	PR_STZU_R_00033_00	
	RELAZIONE DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Rev.00 del 04/08/2021	Pag. 14 a 36

Inoltre, è possibile identificare un secondo parallelismo, che si protrae per 49 m, individuabile nella immagine successiva, all'interno del cerchio rosa. La distanza minima fra il metanodotto e il cavidotto, questa volta, sarà di 13.95 m.



Fig. 9. Parallelismo No.2 fra il cavidotto MT (in verde) e i metanodotti (in rosso).

8 RISOLUZIONE PARALLELISMI ED INCROCI

Una volta individuate i tratti critici, è possibile trovare la soluzione congeniale per la risoluzione delle interferenze citate nei paragrafi 7.1 e 7.2.

Per quanto riguarda i casi di parallelismo, in entrambe le situazioni, la distanza fra il cavidotto e il metanodotto (D) non sarà mai inferiore alla profondità di posa (H), pertanto, non sarà necessario l'inserimento di un diaframma di protezione, come specificato nella Fig. 5. *In questo caso non sussistono problematiche legate all'interferenza.*

Invece, per quanto riguarda gli incroci, la posa del cavidotto avverrà ad una quota di 1 m dalla quota di campo, pertanto a distanza di 0.5 m dal metanodotto. Tale soluzione ricade in quanto descritto al cap. 5 paragrafo 1 e mostrato in Fig. 5. Quindi, sarà necessario l'inserimento di un tubo di protezione nel metanodotto di lunghezza maggiore o uguale a 3 m per lato, rispetto alla posizione del cavidotto.

Anche in questo caso non sussistono problematiche legate all'interferenza grazie all'inserimento della protezione al metanodotto.

9 CALCOLO DELLA FORZA ELETTROMOTRICE (F.E.M.) LONGITUDINALE INDOTTA

9.1 PREMESSA

Secondo la norma CEI103-6, risulta essere necessario lo studio dell'interferenza elettromagnetica tra il metanodotto e la nuova linea MT, seguendo la seguente procedura.

Innanzitutto, deve essere accertato che la linea elettrica abbia una corrente di guasto non superiore alla corrente di riferimento, informazione ottenibile dall'esercente della linea elettrica. In seguito a tale verifica, utilizzando la sopracitata corrente, si valuta la necessità di calcolare la tensione indotta verso terra. Non ricadendo nei casi di cui al capitolo 3, paragrafo 2 e 3, il calcolo della tensione indotta verso terra risulta necessario. Se il valore di tensione indotta sarà inferiore al massimo valore ammissibile, la condizione di interferenza non è pericolosa. In caso contrario, occorrerà adottare provvedimenti di protezione.

9.2 LIMITI RELATIVI ALLA SICUREZZA DELLE PERSONE

Il valore della tensione dovuta all'interferenza non deve eccedere in ogni punto accessibile alle persone, i valori che vengono mostrati nella seguente tabella.

Durata del guasto t (s)	Tensione dovuta all'interferenza RMS (V)
$t \leq 0.1$	2000
$0.1 \leq t \leq 0.2$	1500
$0.2 \leq t \leq 0.35$	1000
$0.35 \leq t \leq 0.5$	650
$0.5 \leq t \leq 1$	430
$1 \leq t \leq 3$	150
$t > 3$	60

Tab. 4. Limiti relativi alla sicurezza delle persone in condizioni di guasto, per tubazioni metalliche.

Tali valori vengono citati nella norma EN50443 così come nella CEI103-6.

9.3 LIMITI CONNESSI AL DANNO PER IL SISTEMA DI TUBAZIONI

Sempre secondo la norma EN 50443, in condizioni di guasto, la tensione (in valore efficace) causata dall'interferenza tra la tubazione metallica e la terra, in ogni punto del sistema di tubazioni, o la tensione tra qualsiasi elemento dell'apparecchiatura elettrica o elettronica connessa alla tubazione metallica e la terra, non deve essere superiore ai 2000 V.

Valori superiori a 2000 V sono ammessi se l'impianto è in grado di resistere a tali valori o se ci sono accordi in merito.

Per quanto concerne la condizione normale di esercizio, la tensione (in valore efficace) causata dall'interferenza tra la tubazione metallica e la terra, o tra l'apparecchiatura elettrica o elettronica non deve superare i 60 V.

Quindi, risulta necessaria un'analisi accurata delle F.E.M. indotta che verrà presentata nei paragrafi a seguire.

9.4 CALCOLO DELLA F.E.M. NEGLI ATTRAVERSAMENTI

Nella norma CEI 103-6, si definisce *attraversamento* il passaggio della tubazione da una parte all'altra della linea elettrica. Gli attraversamenti con angolo di incidenza α fra le due linee maggiore di 45° possono essere trascurati poiché danno un contributo irrilevante alla F.E.M. indotta. Detto ciò, si procede a mostrare il posizionamento della linea e la tubazione.

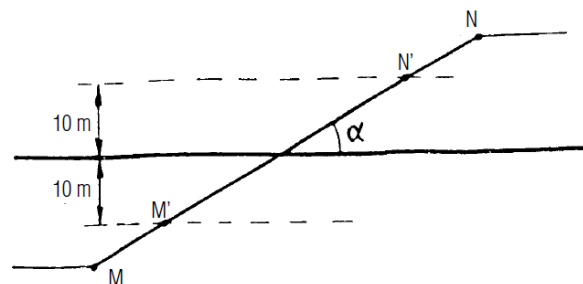


Fig. 10. Attraversamento fra un metanodotto e una linea elettrica.

Visto che nel caso oggetto di studio si hanno attraversamenti con angolo superiore a 45° (nel dettaglio, gli attraversamenti fra i cavidotti e il metanodotto sono a 90°), i calcoli della F.E.M. negli attraversamenti non saranno eseguiti, conformemente con quanto dichiarato nel capitolo 3 paragrafo 1.07 della suddetta norma.

9.5 CALCOLO DELLA F.E.M. NEI PARALLELISMI

Da qui in avanti, si effettuerà uno studio per stimare la F.E.M. indotta in una tubazione metallica, sia nelle condizioni di guasto che nelle condizioni di normale esercizio. I modelli matematici usati per la stima della mutua induzione sono le cosiddette equazioni di Carson-Clem.

Il coefficiente di mutua induzione tra due maglie conduttore e terra (*cioè in condizioni di guasto fase-terra nel cavidotto*) è:

$$M_m = k \left[\ln \left(\frac{A}{D} \right) + 0.5 \right] \left[\frac{H}{km} \right]$$

Dove k è un coefficiente uguale a 2×10^{-4} [H/km] e A è la distanza del baricentro delle correnti di ritorno del terreno, stimata con la seguente formula:

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

dove ρ è la resistività del terreno e f è la frequenza del guasto. Il valore di resistività utilizzato è di 10Ωm per terreni argillosi, e tale dato è stato preso dalla seguente tabella, consultabile nell'appendice A della norma CEI 103-6.

Componente prevalente del terreno	Resistività (Ωm)
Argilla	10
Terreno argilloso-sabbioso	50
Terreno alluvionale sabbioso-ghaioso misto ad argilla	100
Terreno alluvionale sabbioso-ghaioso	250
Marne, arenarie sabbiose-ciottolose	500
Calcari arenacei e arenaceo-argillosi	1000
Calcari compatti e cristallini	1500
Tufi e lave	2000
Gneis	2500
Graniti	3000
Porfidi	5000

Tab. 5. Resistività del terreno

 Terna Energy Solutions	CONNESSIONE AT CENTRALE SNAM – IMPIANTO UTENTE 132/15 kV	PR_STZU_R_00033_00	
	RELAZIONE DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Rev.00 del 04/08/2021	Pag. 18 a 36

Invece, il coefficiente di mutua induzione tra linea monofase e tubazione (*cioè in condizioni di normale funzionamento*) è calcolato secondo le seguenti formule:

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

dove k è un coefficiente pari a 2×10^{-4} [H/km] e D_1 e D_2 sono le distanze dei due conduttori della terna del cavidotto più vicini alla tubazione. Trattandosi di cavi con posa a trifoglio, il rapporto D_2/D_1 risulta praticamente pari ad 1.

Nel seguito è stata esposta la procedura semplificata della CEI 103-6, per la stima della F.E.M. indotta longitudinale,

Si parte dal calcolo della F.E.M. indotta longitudinale e , che verrà data da:

$$e = \frac{2\pi f M L I k}{1000} [V]$$

dove:

- f è la frequenza della corrente di guasto,
- M è il modulo di mutua induttanza per unità di lunghezza [$\mu\text{H}/\text{km}$], calcolato usando le formule precedenti,
- L è la lunghezza del parallelismo,
- I è la corrente (di guasto o nominale, in base al caso in esame)
- e e k è un fattore di riduzione uguale a 0.32, dovuto all'uso di cavi unipolari con isolamento tipo XLPE (come da CEI 103-6 appendice 2 "Fattori di riduzione" con richiamo alla norma EN 50522).

A favore di sicurezza, non è stato considerato l'ulteriore fattore k_2 di riduzione che tiene conto dell'accoppiamento magnetico tra la guaina del cavo e la fase affetta da guasto (sulla guaina del cavo viene indotta una F.E.M. che fa circolare una corrente di schermo)

A seguire sono riportati i calcoli del coefficiente di mutua induzione e della F.E.M. indotta, in funzione della distanza del parallelismo, per i due parallelismi precedentemente riscontrati.

Calcolo della corrente di guasto fase-terra

Considerando che solo la corrente di corto circuito del lato di AT del sistema è nota, è necessario procedere con il calcolo della corrente monofase di guasto a terra del lato di MT. Pertanto, a partire dalla norma CEI 11-25 "Calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti trifasi a corrente alternata" si potrà valutare la corrente di guasto a terra. Prendendo in considerazione quanto riportato in Appendice A della suddetta norma, si può procedere con il calcolo, considerando che la tipologia circuitale dello studio in oggetto risulta simile a quella dell'esempio. La figura successiva rappresenta il sistema usato da esempio. La principale differenza sta nella presenza di due linee AT/MT con altrettanti trasformatori, mentre, nel caso oggetto di studio, la linea AT/MT sarà unica. Pertanto, al fine di eseguire il calcolo in maniera corretta, lo schema di Fig. 12 verrà preso in considerazione per calcolare le impedenze di sequenza positiva, negativa ed omopolare.

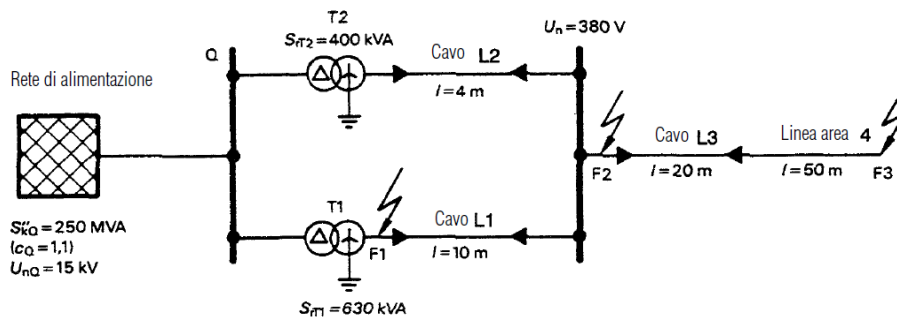


Fig. 11. Schema elettrico usato come esempio per il calcolo della Icc.

Si illustra la figura che fa riferimento al sistema elettrico applicato in questo caso.

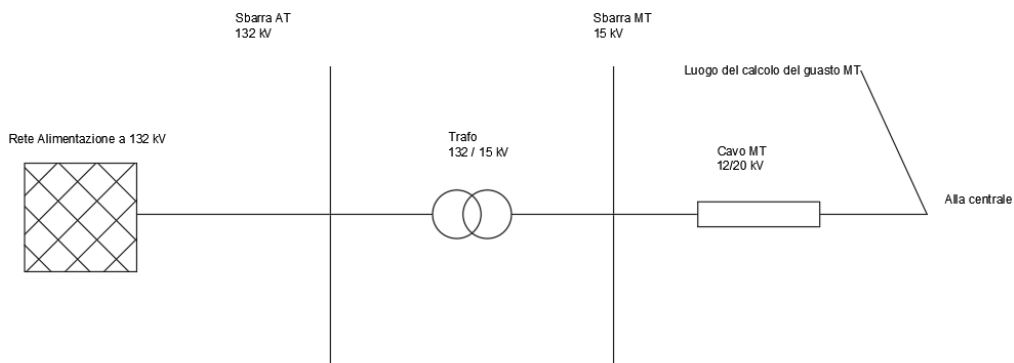


Fig. 12. Schema elettrico rappresentativo del sistema oggetto di studio per il calcolo della Icc

Riproponendo i calcoli eseguiti nell'esempio ed utilizzando il metodo di calcolo delle componenti simmetriche, si ottiene il valore di Icc monofase a terra pari a 9,53 kA.

Parallelismo No. 1 - Condizioni di guasto

Con $K=0.0002$, $\rho=10 \Omega\text{m}$, $f=50 \text{ Hz}$, $A=178.89\text{m}$, $L= 411 \text{ m}$ ed $I = 9,53 \text{ kA}$, di seguito verranno riportati i risultati dei calcoli di mutua induttanza e F.E.M. indotta, tenendo come parametro libero il valore di distanza m tra metanodotto e cavidotto.

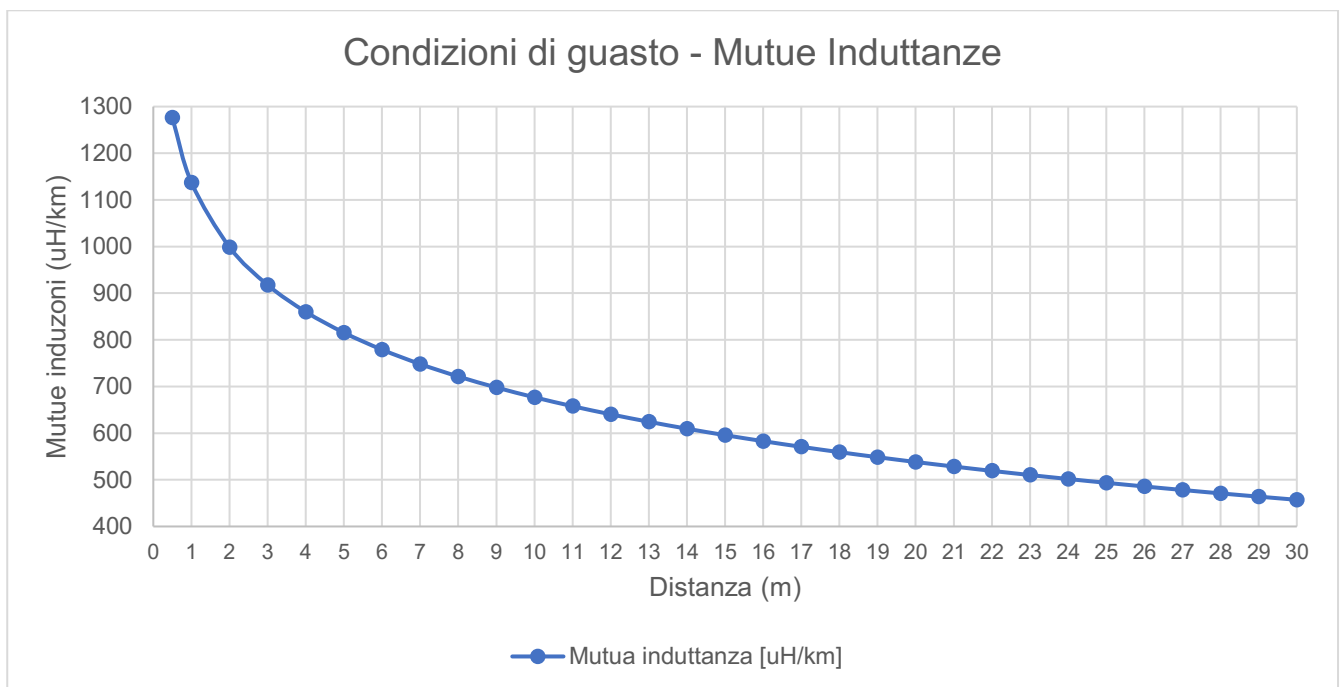


Fig. 13. Mutua induttanza per unità di lunghezza in funzione della distanza del parallelismo No. 1 - Condizione di guasto.

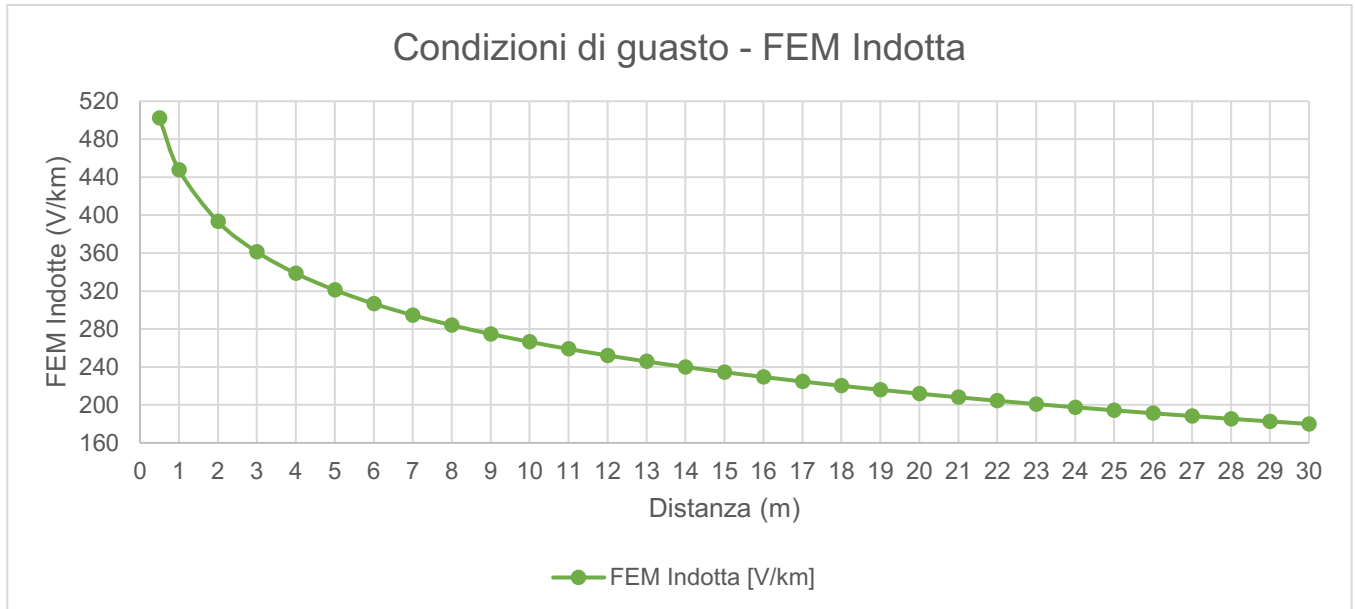


Fig. 14. FEM indotta per unità di lunghezza in funzione della distanza del parallelismo No. 1 – Condizione di guasto.

Condizioni guasto		
Distanza [m]	Mutua induttanza [uH/km]	FEM Indotta [V]
0,5	1276	502
1	1137	448
2	999	393
3	918	361
4	860	339
5	815	321
6	779	307
7	748	295
8	721	284
9	698	275
10	677	266
11	658	259
12	640	252
13	624	246
14	610	240
15	596	235
16	583	229
17	571	225
18	559	220

19	548	216
20	538	212
21	528	208
22	519	204
23	510	201
24	502	198
25	494	194
26	486	191
27	478	188
28	471	185
29	464	183
30	457	180

Tab. 6. Risultati riportati sotto condizioni di guasto.

Tali risultati risultano coerenti con i dati estraibili dalla figura riportata di seguito, che mostra i valori di mutua induttanza. Tale figura è presente nell'Appendice A, fig. 19 della CEI 103-6, e conduce all'estrazione dei valori di M, usando come dati di ingresso la distanza tra i conduttori e la resistività del terreno.

Inoltre, facendo riferimento al capitolo 7.2, la distanza minima fra il cavidotto e il metanodotto è pari a 18.8 m. Dunque, a favore di sicurezza, si sceglie il valore di F.E.M. indotta pari a 18 m nella precedente tabella. Visto che la F.E.M indotta a 18 m è uguale a 220 V, non supera il valore di soglia citato nella Tab. 4, il quale è pari a 2000 V in condizioni di guasto.

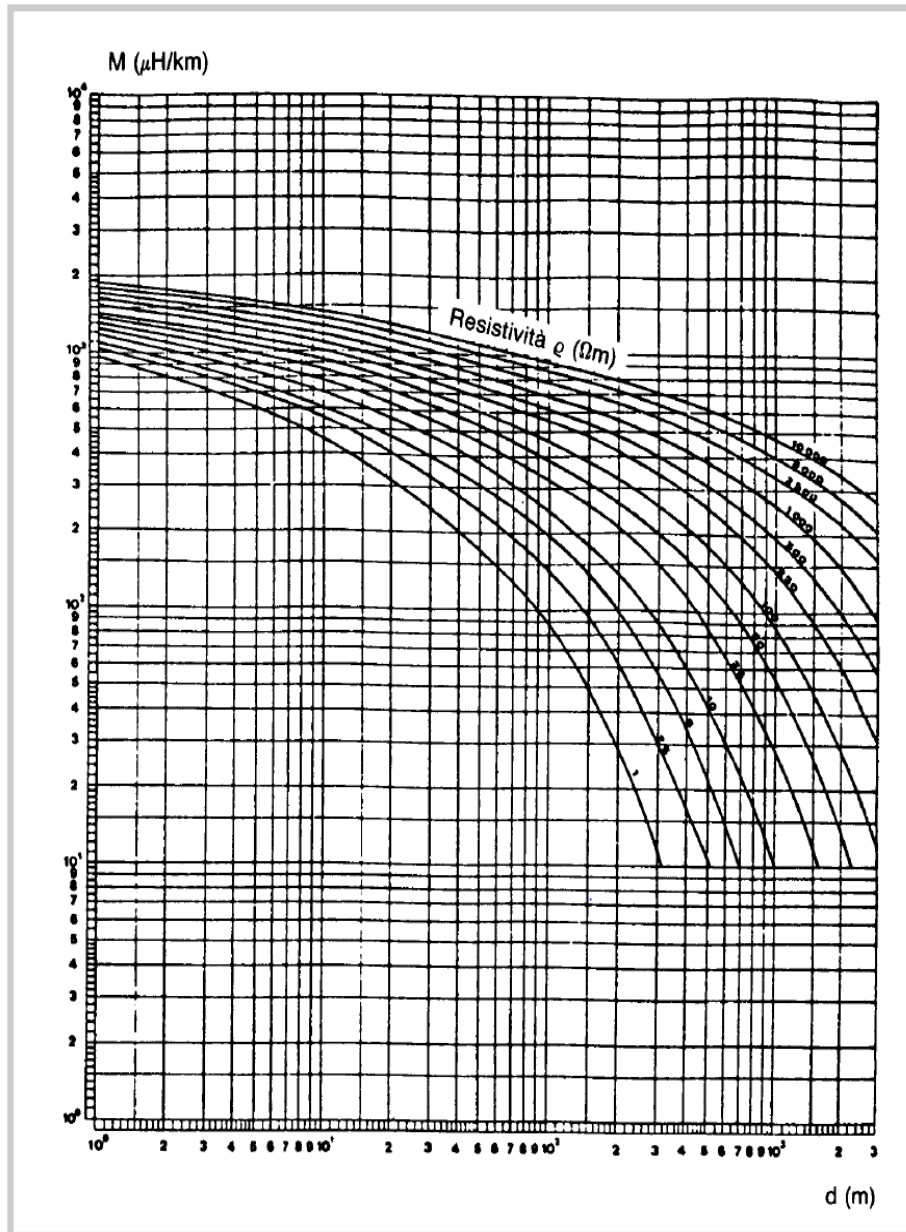


Fig. 15. Modulo M della mutua induttanza per unità di lunghezza ($\mu\text{H}/\text{Km}$) per $f=50$ Hz, in funzione della distanza d (in m) e della resistività ρ (in Ωm).

In Fig. 15, avendo una scala logaritmica, l'individuazione delle F.E.M. per ogni distanza e per il caso di resistività del terreno oggetto di studio, sarebbe stata possibile, ma meno accurata. Pertanto si è deciso di fare affidamento al calcolo "carta e penna", usando il grafico precedente come confronto con i risultati ottenuti.

Parallelismo No. 1 - Condizioni normali

Con $K=0.0002$, $\rho=10 \Omega\text{m}$, $f=50 \text{ Hz}$, $D_1=24.67 \text{ m}$, $D_2=24.8\text{m}$, $L = 411 \text{ m}$ ed $I = 962.25 \text{ A}$.

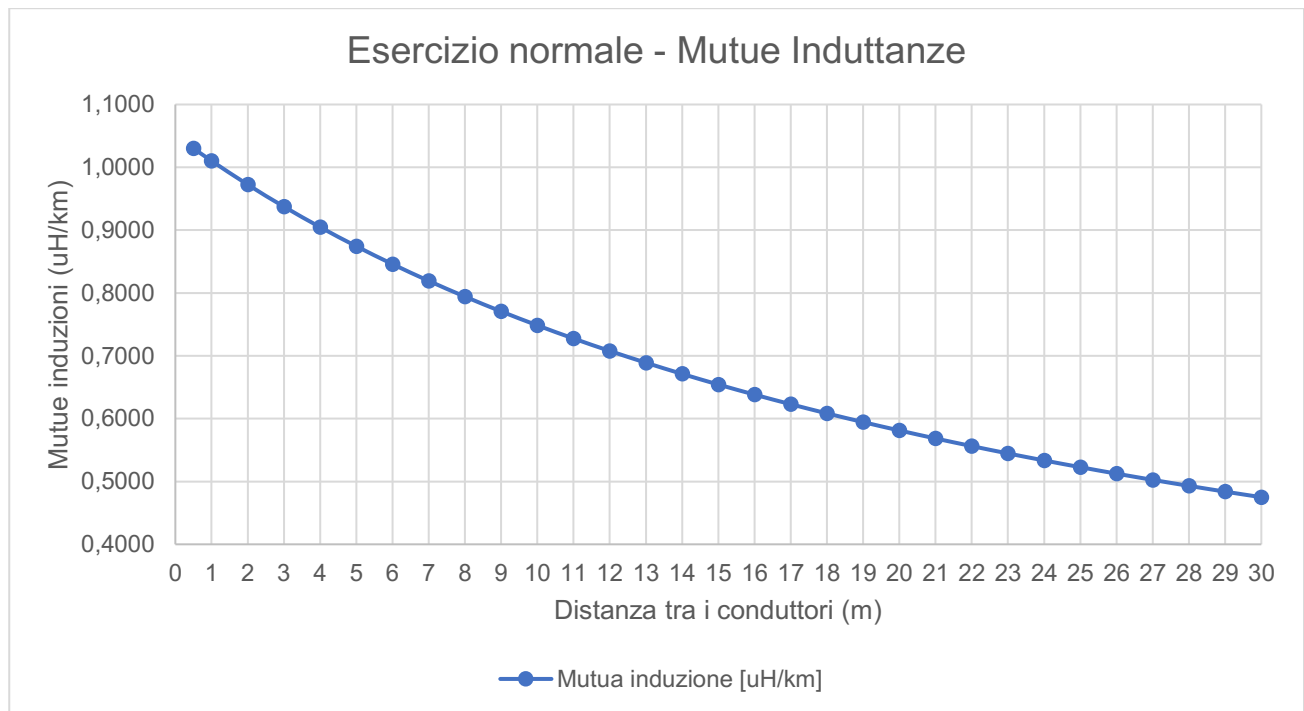
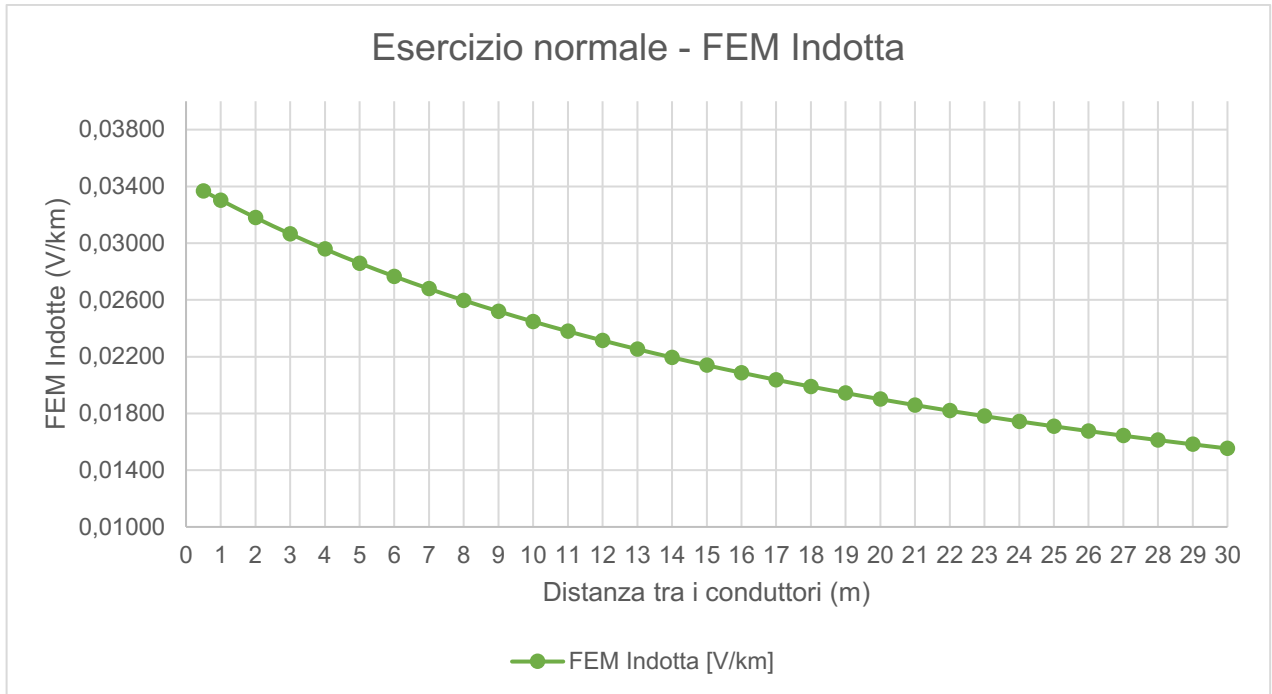


Fig. 16. Mutua induttanza per unità di lunghezza in funzione della distanza di entrambi parallelismi No. 1 - Condizione normale.



**Fig. 17. FEM indotta per unità di lunghezza in funzione della distanza del parallelismo No. 1 –
Condizione normale.**

Esercizio normale		
Distanza tra i conduttori [m]	Mutua induzione [uH/km]	FEM Indotta [V]
0,5	1,0303	0,03369
1	1,0103	0,03303
2	0,9725	0,03180
3	0,9374	0,03065
4	0,9048	0,02958
5	0,8744	0,02859
6	0,8459	0,02766
7	0,8193	0,02679
8	0,7943	0,02597
9	0,7707	0,02520
10	0,7485	0,02447
11	0,7276	0,02379
12	0,7078	0,02314
13	0,6890	0,02253
14	0,6712	0,02195

15	0,6543	0,02139
16	0,6383	0,02087
17	0,6230	0,02037
18	0,6084	0,01989
19	0,5945	0,01944
20	0,5812	0,01900
21	0,5685	0,01859
22	0,5563	0,01819
23	0,5447	0,01781
24	0,5335	0,01744
25	0,5228	0,01709
26	0,5125	0,01676
27	0,5026	0,01643
28	0,4930	0,01612
29	0,4839	0,01582
30	0,4750	0,01553

Tab. 7. Risultati riportati sotto condizioni normali.

Facendo riferimento al capitolo 7.2, la distanza minima fra il cavidotto e il metanodotto è pari a 18.8 m. Dunque, a favore di sicurezza, si sceglie il valore di F.E.M. indotta pari a 18 m nella precedente tabella. Visto che la F.E.M indotta a 18 m è uguale a 0,01989 V, non supera il valore di soglia citato nella Tab. 4, il quale è pari a 60 V in condizioni normali.

Parallelismo 2 – Condizioni di Guasto

Con $K=0.0002$, $\rho=10 \Omega\text{m}$, $f=50 \text{ Hz}$, $A=178.89$, $L = 50 \text{ m}$ ed $I = 9,53 \text{ kA}$.

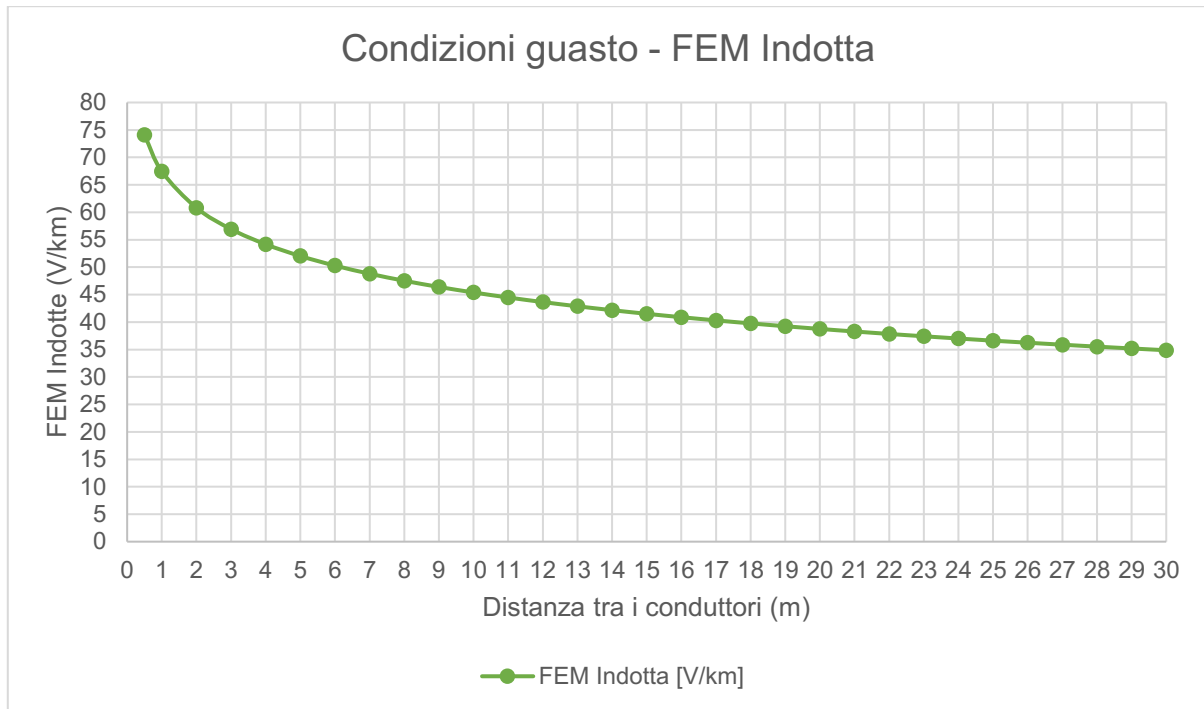


Fig. 18. FEM indotta per unità di lunghezza in funzione della distanza del parallelismo No 2. – Condizione di guasto.

Condizioni guasto		
Distanza tra i conduttori [m]	Mutua induzione [uH/km]	FEM Indotta [V/km]
0,5	1547	74
1	1408	67
2	1270	61
3	1188	57
4	1131	54
5	1086	52
6	1050	50
7	1019	49
8	992	48
9	969	46
10	948	45
11	929	44
12	911	44
13	895	43
14	880	42

15	867	42
16	854	41
17	842	40
18	830	40
19	819	39
20	809	39
21	799	38
22	790	38
23	781	37
24	773	37
25	764	37
26	757	36
27	749	36
28	742	36
29	735	35
30	728	35

Tab. 8. Risultati riportati sotto condizioni di guasto, per il parallelismo No.2. –

Facendo riferimento al capitolo 7.2, la distanza minima fra il cavidotto e il metanodotto è pari a 13.95 m. Dunque, a favore di sicurezza, si sceglie il valore di F.E.M. indotta pari a 14 m nella precedente tabella. Visto che la F.E.M indotta a 14 m è uguale a 42 V, non supera il valore di soglia citato nella Tab. 4, il quale è pari a 2000 V in condizioni di guasto.

Parallelismo 2 – Condizioni Normali

Con $K=0.0002$, $\rho=10 \Omega\text{m}$, $f=50 \text{ Hz}$, $D_1=24.67 \text{ m}$, $D_2=24.8$, $L = 50 \text{ m}$ ed $I = 962.25 \text{ A}$.

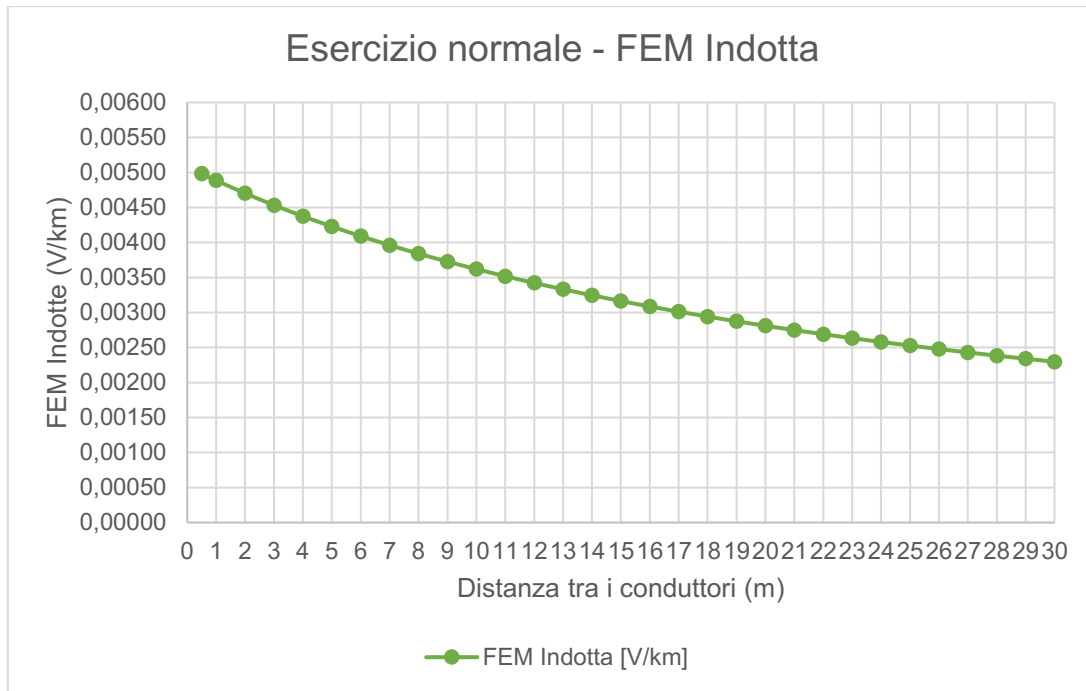


Fig. 19. FEM indotta per unità di lunghezza in funzione della distanza del parallelismo No 2. – Condizione nominale.

Esercizio normale		
Distanza tra i conduttori [m]	Mutua induttanza [$\mu\text{H}/\text{km}$]	FEM Indotta [V/km]
0,5	1,0303	0,04096
1	1,0103	0,04017
2	0,9725	0,03866
3	0,9374	0,03727
4	0,9048	0,03597
5	0,8744	0,03476
6	0,8459	0,03363
7	0,8193	0,03257
8	0,7943	0,03158
9	0,7707	0,03064
10	0,7485	0,02976
11	0,7276	0,02893
12	0,7078	0,02814

13	0,6890	0,02739
14	0,6712	0,02669
15	0,6543	0,02601
16	0,6383	0,02538
17	0,6230	0,02477
18	0,6084	0,02419
19	0,5945	0,02363
20	0,5812	0,02311
21	0,5685	0,02260
22	0,5563	0,02212
23	0,5447	0,02165
24	0,5335	0,02121
25	0,5228	0,02078
26	0,5125	0,02037
27	0,5026	0,01998
28	0,4930	0,01960
29	0,4839	0,01924
30	0,4750	0,01888

Tab. 9. Risultati riportati sotto condizioni normali, per il parallelismo No.2.

Facendo riferimento al capitolo 7.2, la distanza minima fra il cavidotto e il metanodotto è pari a 13.95 m. Dunque, a favore di sicurezza, si sceglie il valore di F.E.M. indotta pari a 14 m nella precedente tabella. Visto che la F.E.M indotta a 14 m è uguale a 0,02669 V, non supera il valore di soglia citato nella Tab. 4, il quale è pari a 60 V in condizioni nominali.

9.6 ANALISI ELETTROMAGNETICA NEL CAVIDOTTO MT

I cavidotti di media tensione tra la centrale SNAM e la SSE utente 132/15kV, prevedono la posa delle terne con profondità di posa pari a 0.8m e distanti tra loro 0,4 m misurati dal centro della terna.

La condizione peggiore, oggetto della seguente analisi è per i cavi del tipo ARG7H1RNR 12/20kV 3x1x630mm² con due terne che corrono in parallelo, interessate da corrente totale di circa 962.25A con modalità di posa a trifoglio e disposizione di fase RST e STR.

Come descritto, di seguito si rappresenta la sezione di cavidotto MT più impattante, oggetto dello studio dell'induzione magnetica B.

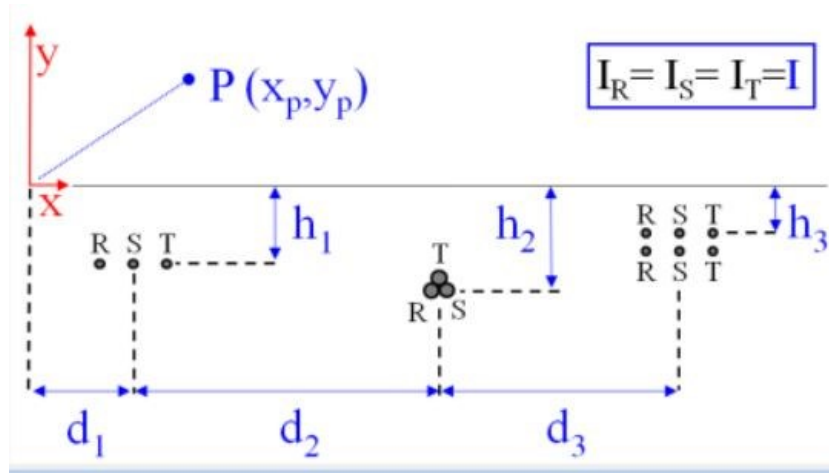


Fig. 20. Sistema di coordinate

Nella figura precedente è possibile vedere i sistemi di riferimento per le coordinate usate per la simulazione. Per i grafici successivi, quindi, fare riferimento al piano XY sopra indicato.

La geometria dei cavi MT, per come disposti nel cavidotto, è la seguente:

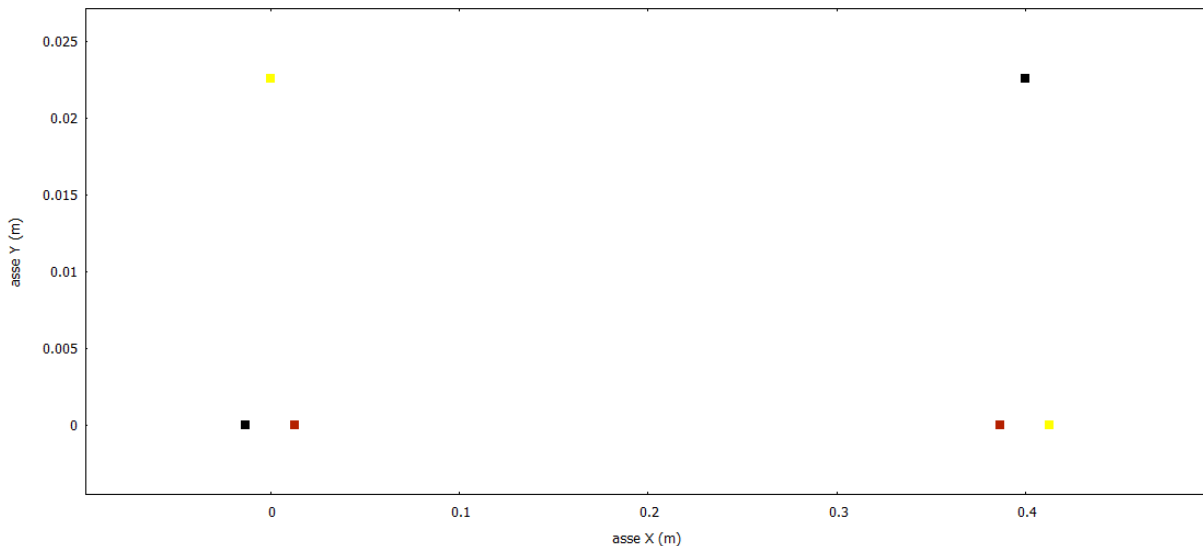


Fig. 21. Disposizione cavi MT

Si analizzano i valori di induzione magnetica B, per il cavo precedentemente descritto, lungo gli assi X e Y. La verticale alla terna di cavi percorsi rispettivamente da 481.125A, a distanza di 0.8 m dalla posa delle terne, ovvero si analizza l'induzione magnetica B fino alla quota del piano stradale.

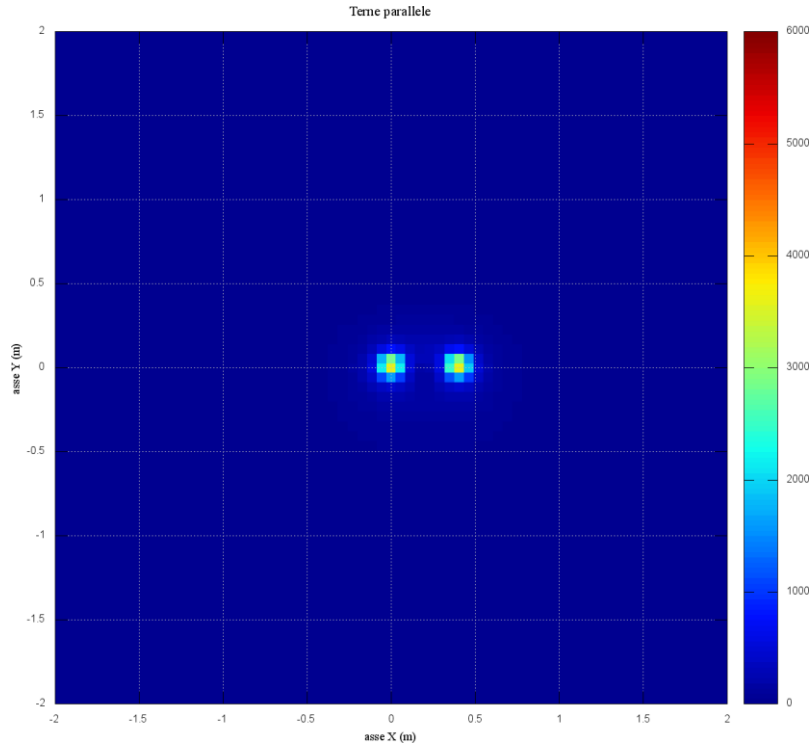


Fig. 22. Andamento induzione magnetica B bidimensionale

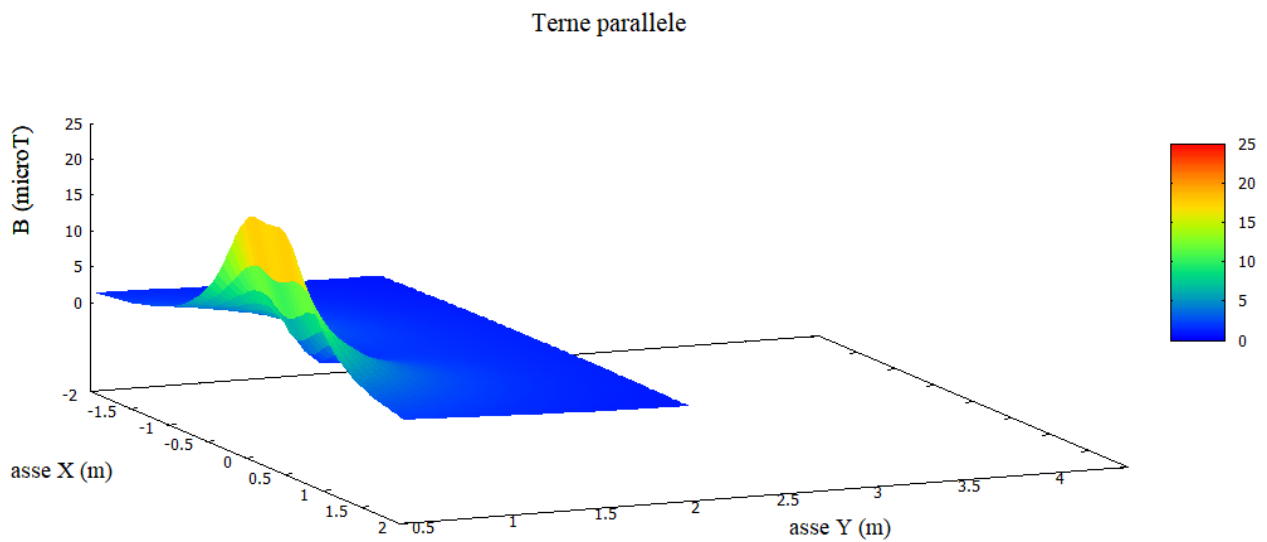


Fig. 23. Andamento induzione magnetica B tridimensionale

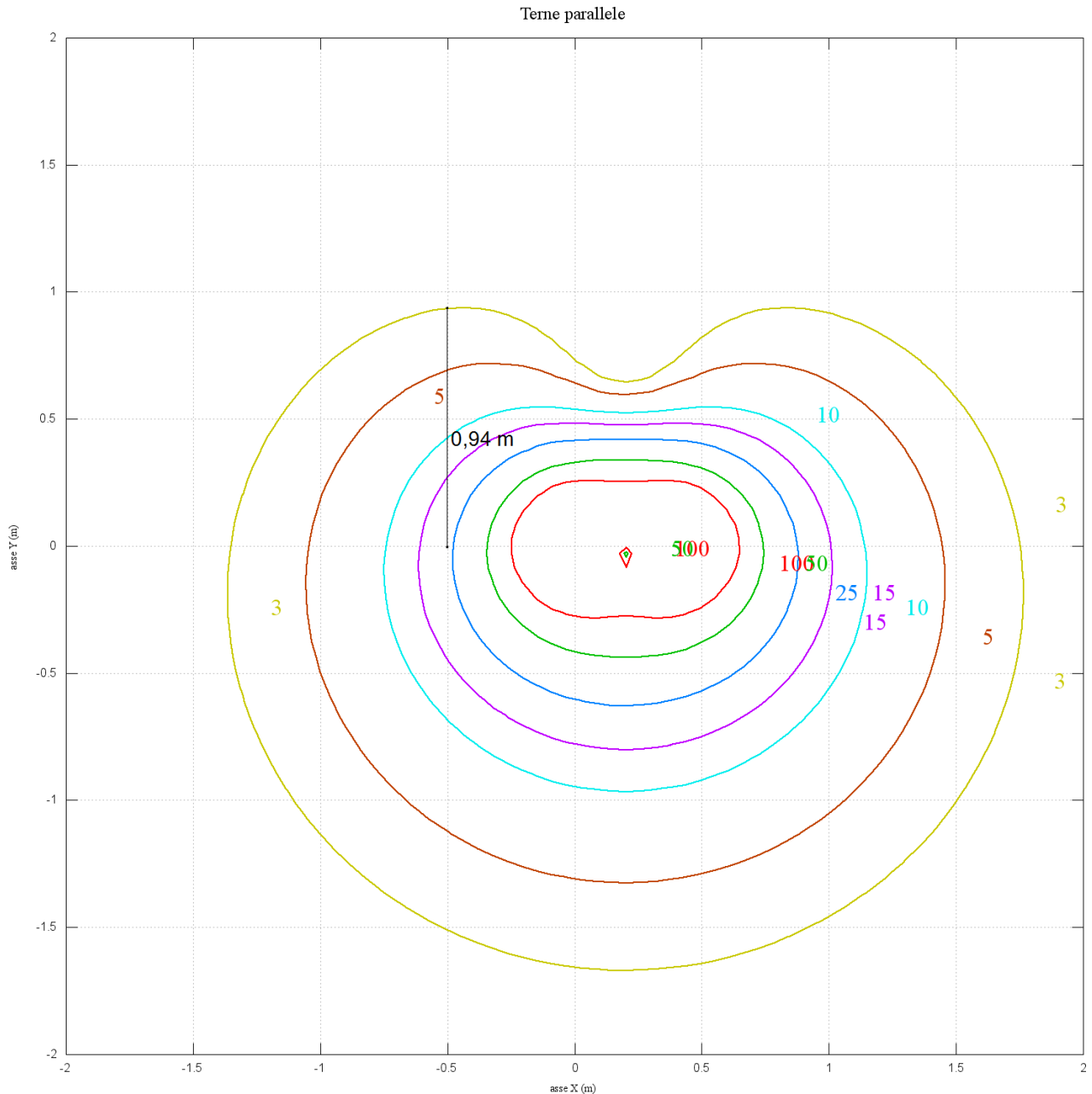


Fig. 24. Curve isolivello andamento induzione magnetica B

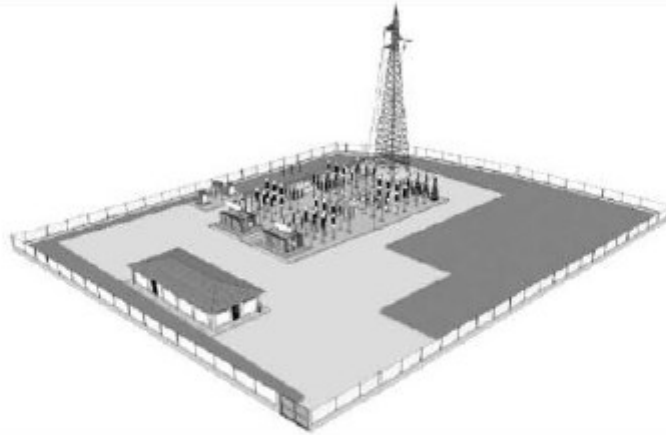
Dal grafico sopra riportato, è possibile evincere che il valore di qualità di 3 μT è qualche centimetro al di sopra del livello stradale. Il valore di qualità si ottiene ai 0.94 m dai cavi. Quindi, il valore di qualità del campo magnetico si otterrà a 14 cm dal livello di strada. Nonostante ciò, citando la Tab. 1, visto che non ci sono né aree di gioco per l'infanzia, né aree abitative, né aree scolastiche, né luoghi adibiti a permanenze per più di quattro ore giornaliere nel posto in esame, si deve tenere in conto il limite di esposizione, ossia 100 μT .

 T E R N A G R O U P Terna Energy Solutions	CONNESSIONE AT CENTRALE SNAM – IMPIANTO UTENTE 132/15 kV	PR_STZU_R_00033_00	
	RELAZIONE DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Rev.00 del 04/08/2021	Pag. 34 a 36

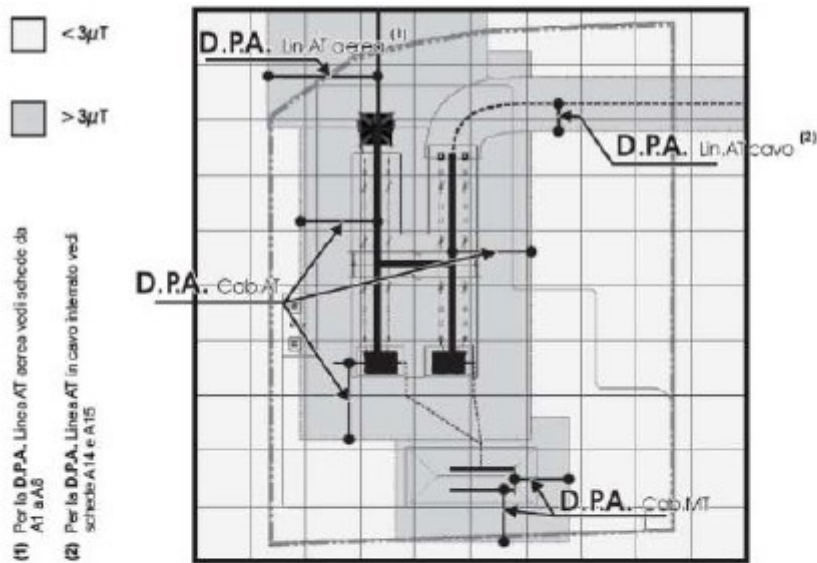
10 CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI SSE UTENTE 150/20 KV

Tutti gli impianti relativi alla progettazione della SSE utente, saranno progettati e costruiti in modo da rispettare i valori di campo elettrico e magnetico, previsti dalla normativa statale vigente (Legge 36/2001 e D.P.C.M. 08/07/2003). Nel caso del progetto unificato ENEL per le cabine primarie, infatti, si dimostra che i valori di induzione magnetica si mantengono sempre al disotto dei limiti fuori dalla recinzione della cabina medesima. Pertanto per la determinazione della DPA, si è utilizzato il documento ENEL “Linee guida per l’applicazione del paragrafo 5.1.3 dell’Allegato al DM 29.5.08 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche “, che si ritiene applicabile per quanto concerne gli aspetti di emissioni elettromagnetiche anche al caso in esame dati i valori delle correnti in gioco. Il valore di DPA per una cabina AT risulta quindi generalmente ricompreso nel perimetro della recinzione della cabina medesima. Nella figura e nella tabella seguenti è mostrata la DPA per una cabina AT ricavata dal documento sopra indicato.

A16 - Cabina primaria isolata in aria (132/150-15/20 kV)



RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.



Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						
	D.P.A. Cab. da centro sbarre AT	Distanze tra le fasi AT	Corrente	D.P.A. Cab. da centro sbarre MT	Distanze tra le fasi MT	Corrente	Riferimenti
	m	m	A	m	m	A	
63	14	2.20	870	7	0.38	2332	A16

Fig. 25. DPA SSE Utente

 T E R N A G R O U P Terna Energy Solutions	CONNESSIONE AT CENTRALE SNAM – IMPIANTO UTENTE 132/15 kV	PR_STZU_R_00033_00	
	RELAZIONE DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Rev.00 del 04/08/2021	Pag. 36 a 36

11 PROVVEDIMENTI PER MITIGARE L'INTERFERENZA ELETTROMAGNETICA

Si riportano di seguito i provvedimenti atti a ridurre gli effetti dell'induzione elettromagnetica sulle tubazioni metalliche:

- Connessioni di messa a terra: Riducono le tensioni indotte in condizioni di guasto e condizioni di normale esercizio.
- Giunti isolanti: Possono essere inseriti a intervalli lungo la tubazione, cosicché ci sia una discontinuità elettrica, riducendo i tratti della tubazione che possono essere interferiti.
- Limitatori di sovratensioni: Possono essere utilizzati per collegare la tubazione a terra oppure le parti opposte di un giunto isolante per ridurre il valore di tensione che si presenta in condizioni di guasto e normale. Il collegamento a terra deve avere una bassa impedenza.
- Strutture di protezione: Con queste si fanno accoppiamenti conduttivi, tramite il rivestimento della tubazione, di modo che non si permetta il flusso della corrente di ritorno alla terra nella tubazione.

12 CONCLUSIONI

La presente relazione, in conclusione, definisce il non superamento del valore di induzione magnetica di riferimento pari all'obiettivo di qualità di 3 μ T, definito dall'art. 4 del DPCM 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", recepiti dalla CEI 106-11, per i tratti di cavidotto interni alla centrale. Inoltre, la disposizione del cavidotto rispetto al metanodotto è tale da rispettare la CEI103-6 e la norma EN50443.

Per quanto riguarda il tratto di cavidotto tra la centrale e la stazione utente, essendo la posa dei cavi MT ad una profondità di 0,8 m, il limite di qualità non viene raggiunto, ma viene abbondantemente rispettato il limite di esposizione di 100 μ T, così come descritto dal DPCM 8 luglio 2003.