

COMMITTENTE:



RETE FERROVIARIA ITALIANA S.p.A
DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI NAPOLI

PROGETTAZIONE:



SOGGETTO TECNICO:

RFI - DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE di NAPOLI
S.O. INGEGNERIA

PROGETTO PRELIMINARE

A.Q. 99/2015 - CONTRATTO APPLICATIVO n° 5
PROGETTAZIONE DELL'ELETTRIFICAZIONE E DELLE SSE PER L'ELETTRIFICAZIONE, LA VELOCIZZAZIONE E AMMODERNAMENTO DELL'INFRASTRUTTURA FERROVIARIA ESISTENTE DELLA LINEA SALERNO-MERCATO SS-AVELLINO-BENEVENTO E DELLA TRATTA MERCATO SS-CODOLA-SARNO

Relazione preliminare di Compatibilità Elettromagnetica

PROGETTO/ANNO	SOTTOPR.	LIVELLO	NOME DOC.	PROGR.OP	FASE FUNZ.	NUMERAZ.
305518	ELE	PP	TTLC	00	00	E007

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Prima Emissione	G.Lucca <i>G. Lucca</i>	18/09/18	L.Zucchelli <i>L. Zucchelli</i>	18/09/18	F.Pecchia <i>F. Pecchia</i>	18/09/18		



POSIZIONE
ARCHIVIO

LINEA	SEDE TECNICA	NOME DOC.	NUMERAZ.
L556	000000	TTLC	E007A

Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data



PROGETTO PRELIMINARE
RELAZIONE PRELIMINARE DI COMPATIBILITA' ELETTRROMAGNETICA

0000000000 Prog 2755-1175	PROGETTO 3055/18	SOTTOPR. ELE	LIVELLO PP	NOME DOC. TTLC	PROGR.OP 00	FASE FUNZ. 00	NUMERAZ. E007	FOGLIO 2 DI 12
---------------------------	---------------------	-----------------	---------------	-------------------	----------------	------------------	------------------	-------------------

Sommario

1. Introduzione	3
2. Limiti	3
3. Valutazione di campo di Induzione magnetica lungo linea	4
3.1 <i>Premessa</i>	4
3.1 <i>Livelli di campo</i>	5
4. VALUTAZIONE DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA PRODOTTO DALLA SOTTOSTAZIONE	6
4.1 <i>Ipotesi di calcolo e utilizzo dei risultati</i>	6
4.2 <i>Campo di induzione magnetica a 50Hz prodotto dai cavi 20kV</i>	7
4.3 <i>Campo di induzione magnetica a 50Hz prodotto dai cavi 2.75kV</i>	8
4.4 <i>Campo di induzione magnetica a 50Hz prodotto da una coppia di trasformatori 20kV/2.75kV</i>	8
4.5 <i>Campo di induzione magnetica a 0Hz prodotto da una coppia di cavi unipolari</i>	9
4.6 <i>Campo di induzione magnetica a 0Hz prodotto dalla bobina di raddrizzamento</i>	10
5. Conclusioni	11
6. Riferimenti bibliografici	12

	PROGETTO PRELIMINARE RELAZIONE PRELIMINARE DI COMPATIBILITA' Elettromagnetica							
	0000000000 Prog 2755-1175	PROGETTO 3055/18	SOTTOPR. ELE	LIVELLO PP	NOME DOC. TTLC	PROGR.OP 00	FASE FUNZ. 00	NUMERAZ. E007

1. Introduzione

L'elettrificazione 3kVcc della esistente linea ferroviaria Salerno-Mercato San Severino-Avellino-Benevento e della tratta Mercato San Severino-Codola (attualmente alimentate a diesel) comporterà, una volta in esercizio, la presenza nell'ambiente, di campi di induzione magnetica rilevabili essenzialmente in prossimità del binario ed in prossimità delle sottostazioni di alimentazione.

Lo scopo di questo documento è quello di fare una stima previsionale di massima dei livelli di campo di induzione magnetica generati nell'ambiente dalla linea una volta che essa sarà elettrificata.

Tale valutazione è finalizzata alla verifica dei limiti stabiliti della normativa vigente (si veda paragrafo seguente) relativa all'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici.

Si può fare una prima distinzione fondamentale tra le sorgenti del campo di induzione magnetica:

- quelle a 0Hz (presenti lungo linea e nei locali delle sottostazioni)
- quelle a 50Hz (presenti solo nei locali delle sottostazioni)

Lungo linea, la sorgente è rappresentata unicamente dai conduttori della linea di trazione ovvero fili di contatto e sostegno unitamente alle rotaie che fungono da ritorno per la corrente di trazione.

Nei locali delle sottostazioni vi sono varie sorgenti di campo; quelle più significative, per le quali faremo una valutazione di massima del campo di induzione magnetica da esse generato, sono:

- cavi 20kV- 50Hz
- cavi 2.75kV a 50Hz
- trasformatore 20kV/2.75kV a 50Hz
- cavi alimentanti la linea di trazione a 0Hz
- raddrizzatore di corrente a 0Hz

Bisogna poi osservare che le apparecchiature nei locali delle sottostazioni sono disposte all'interno di shelter in acciaio le cui pareti svolgono una azione schermante nei confronti del campo di induzione magnetica. Ai fini cautelativi, i risultati mostrati nel seguito non tengono conto di tale riduzione del campo.

2. Limiti

Come già specificato precedentemente, le sorgenti da considerare emettono campi magnetici a 50Hz e a 0Hz; nelle tabelle che seguono sono mostrati i limiti da rispettare per la popolazione.

Un discorso a parte va poi fatto per le persone portatrici di stimolatori cardiaci (pace-maker) o altri dispositivi impiantabili metallici o di protesi metalliche: infatti in presenza di campi magnetici intensi si potrebbero avere problemi di malfunzionamento (pace-maker o altri dispositivi) o potrebbero verificarsi spostamenti di schegge metalliche o parti ferromagnetiche di protesi.

I limiti relativi al campo di induzione magnetica a 50Hz sono mostrati in Tabella I.

	PROGETTO PRELIMINARE RELAZIONE PRELIMINARE DI COMPATIBILITA' ELETTRROMAGNETICA							
	0000000000 Prog 2755-1175	PROGETTO 3055/18	SOTTOPR. ELE	LIVELLO PP	NOME DOC. TTLC	PROGR.OP 00	FASE FUNZ. 00	NUMERAZ. E007

Tabella I: limiti per il campo di induzione magnetica a 50Hz

Frequenza 50Hz	Normativa Europea	Normativa Nazionale
popolazione	100μT (G.U. della Comunità Europea del 30-7-1999)	3μT (D.P.C.M. 8 luglio 2003)
Portatori di dispositivi impiantabili o protesi	100μT (American Conference of Government Industrial Hygienist ACGIH 1999)	/

Dalla Tabella I (prima riga), si vede immediatamente la discrepanza che esiste tra il limite stabilito, per la popolazione, tra la normativa europea e quella nazionale. In effetti, ciò è spiegabile col fatto che i limiti in colonna 2 sono riferiti ai cosiddetti effetti a "breve termine" che sono scientificamente accertati e che si manifestano immediatamente oltre una certa soglia¹. Il limite di colonna 3 è invece riferito a supposti (ma non dimostrati) effetti a "lungo termine" ed è una peculiarità della normativa italiana.

Un'altra importante differenza tra i limiti di colonna 2 e quello di colonna 3 è che i primi devono essere intesi come valori da non superarsi mai, in nessuna circostanza, mentre il secondo deve essere inteso come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. (Si veda D.P.C.M. 8 luglio 2003 art. 4); ciò significa che il superamento di tale limite è ammesso fermo restando il vincolo sulla mediana dei valori. In maniera equivalente, si può affermare che è la mediana che deve essere inferiore a 3 μ T non il valore massimo.

I limiti per il campo di induzione magnetica alla frequenza di 0Hz sono mostrati in Tabella II.

Tabella II: limiti per il campo di induzione magnetica a 0Hz

Frequenza 0Hz	Normativa/Raccomandazioni
popolazione	40'000μT (G.U. della Comunità Europea del 30-7-1999)
Portatori di dispositivi impiantabili o protesi	500μT (Linee Guida ICNIRP 2009)

3. Valutazione di campo di Induzione magnetica lungo linea

3.1 Premessa

In merito alla esposizione umana al campo di induzione magnetica prodotto lungo linea occorre innanzi tutto osservare che si tratta di una linea alimentata 3kVcc ossia 0Hz. Pertanto, ai fini dei limiti di legge da osservare, non si applica il DPCM 8 luglio 2003 che riguarda solo gli elettrodotti alimentati a 50Hz. Riportiamo di seguito l'articolo 1 del suddetto DPCM che evidenzia il campo di applicazione.

¹ In realtà tali limiti tengono conto di fattori di sicurezza e sono quindi cautelativi.

	PROGETTO PRELIMINARE RELAZIONE PRELIMINARE DI COMPATIBILITA' ELETTRICITA' ELETTRICITA'							
	0000000000 Prog 2755-1175	PROGETTO 3055/18	SOTTOPR. ELE	LIVELLO PP	NOME DOC. TTLC	PROGR.OP 00	FASE FUNZ. 00	NUMERAZ. E007

Art. 1.
Campo di applicazione

1. Le disposizioni del presente decreto fissano 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 e all'esercizio degli elettrodotti. Nel medesimo ambito, il presente decreto stabilisce anche un obiettivo di qualità per il campo magnetico, ai fini della progressiva minimizzazione delle esposizioni.

2. I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità di cui al presente decreto non si applicano ai lavoratori esposti per ragioni professionali.

3. A tutela delle esposizioni a campi a frequenze comprese tra 0 Hz e 100 kHz, generati da sorgenti non riconducibili agli elettrodotti, si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999, pubblicata nella G.U.C.E. n. 199 del 30 luglio 1999.

4. Ai sensi dell'art. 1, comma 2, della legge 22 febbraio 2001, n. 36, le regioni a statuto speciale e le province autonome di Trento e Bolzano provvedono alle finalità del presente decreto nell'ambito delle competenze ad esse spettanti ai sensi degli statuti e delle relative norme di attuazione e secondo quanto disposto dai rispettivi ordinamenti.

In particolare, al punto 3 è chiaramente indicato che la normativa applicabile è la raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 luglio 1999. In base a tale raccomandazione, il limite applicabile per il campo di induzione magnetica per la popolazione a 0Hz è 40000 μ T.

3.1 Livelli di campo

Per avere una idea dei livelli di campo di induzione magnetica generato dalla linea di trazione in esame, mostriamo in Fig.1 il valore di tale campo valutato a differenti distanze dall'asse della linea e a differenti altezze dal suolo facendo l'ipotesi di una circolazione di corrente di 2800A sui fili di contatto e di sostegno e con ritorno sulle due rotaie. Tale ipotesi è una condizione particolarmente gravosa che potrebbe verificarsi solo per brevissimo tempo in condizioni di sovraccarico.

Come si vede dalla Fig.1 e facendo riferimento alla Tabella II, si ha che il limite di 40000 μ T per la popolazione non è mai superato, mentre il limite di 500 μ T relativo a portatori di dispositivi impiantabili o protesi è superato solo in stretta prossimità dei conduttori di alimentazione e delle rotaie.

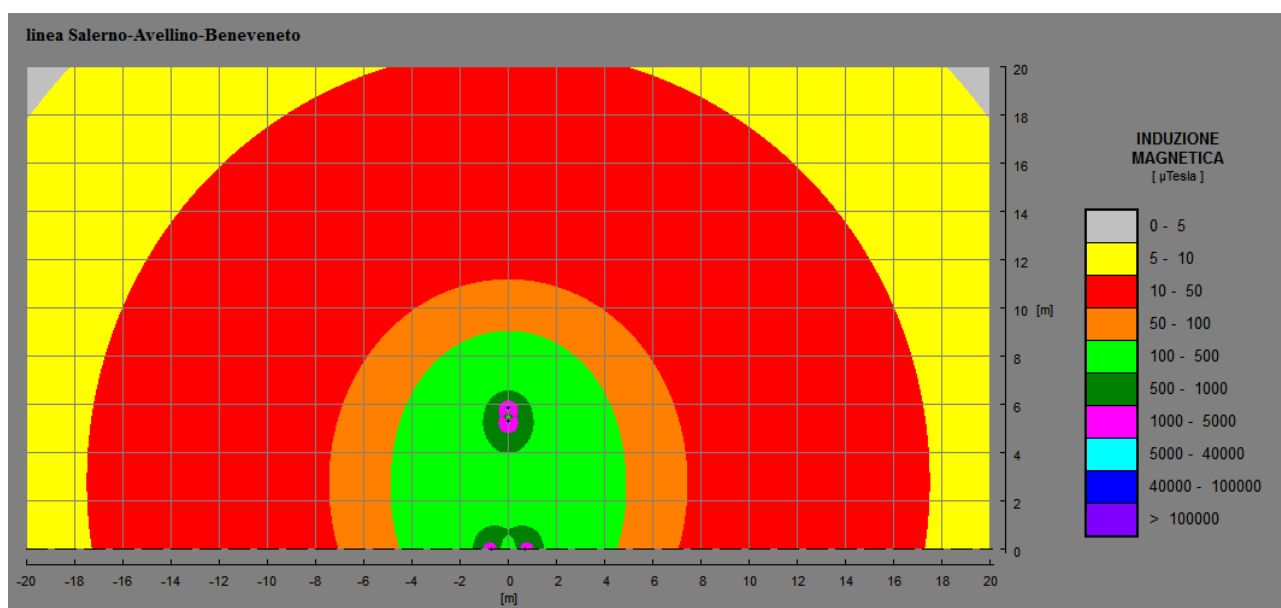


Figura 1: Mappa delle isolinee del campo di induzione magnetica lungo linea

4. VALUTAZIONE DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA PRODOTTO DALLA SOTTOSTAZIONE

4.1 Ipotesi di calcolo e utilizzo dei risultati

Nei calcoli che presentiamo nel seguito, assumiamo, come dato di ingresso, il massimo valore per la potenza nominale S assorbita da ciascuno dei due trasformatori, ossia 3880kVA, alla quale corrispondono massimi valori per le correnti circolanti nei conduttori. In altre parole, questo equivale a dire che, per ogni tipo di sorgente considerata, il campo di induzione magnetica viene valutato in condizioni cautelative.

Questo tipo di approccio ben si presta per una valutazione degli effetti a "breve termine" del campo di induzione magnetica sull'organismo umano e degli effetti su dispositivi impiantabili o protesi (limiti in colonna 2 di Tabella I e Tabella II).

Al contrario, per i supposti effetti a "lungo termine" (limite di $3\mu\text{T}$ in colonna 3 di Tabella I) tale approccio risulta sicuramente cautelativo in quanto, come spiegato al paragrafo precedente, in tale contesto, bisogna fare riferimento alla esposizione media nel tempo (cioè nell'arco delle 24ore) e non alla esposizione massima.

L'esposizione media è infatti in stretta relazione al traffico ferroviario e pertanto solo una campagna di misure ad impianto funzionante ed in normale esercizio può fornire una valutazione realistica del campo di induzione magnetica ai fini della esposizione a "lungo termine".

Quindi, questa doverosa precisazione deve sempre essere tenuta in conto quando si vanno a comparare i risultati delle stime di campo di induzione magnetica con il limite di $3\mu\text{T}$.

	PROGETTO PRELIMINARE RELAZIONE PRELIMINARE DI COMPATIBILITA' ELETTRROMAGNETICA							
	0000000000 Prog 2755-1175	PROGETTO 3055/18	SOTTOPR. ELE	LIVELLO PP	NOME DOC. TTLC	PROGR.OP 00	FASE FUNZ. 00	NUMERAZ. E007

4.2 Campo di induzione magnetica a 50Hz prodotto dai cavi 20kV

Ipotizzando una terna di conduttori co-planari (ovvero disposizione in piano²), con una distanza h tra gli assi conduttori di 10cm e corrente I_{20kV} data da:

$$I_{20kV} = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{3880kVA}{20kV\sqrt{3}} = 112A$$

si ottiene il seguente grafico in funzione della distanza d dall'asse del cavo:

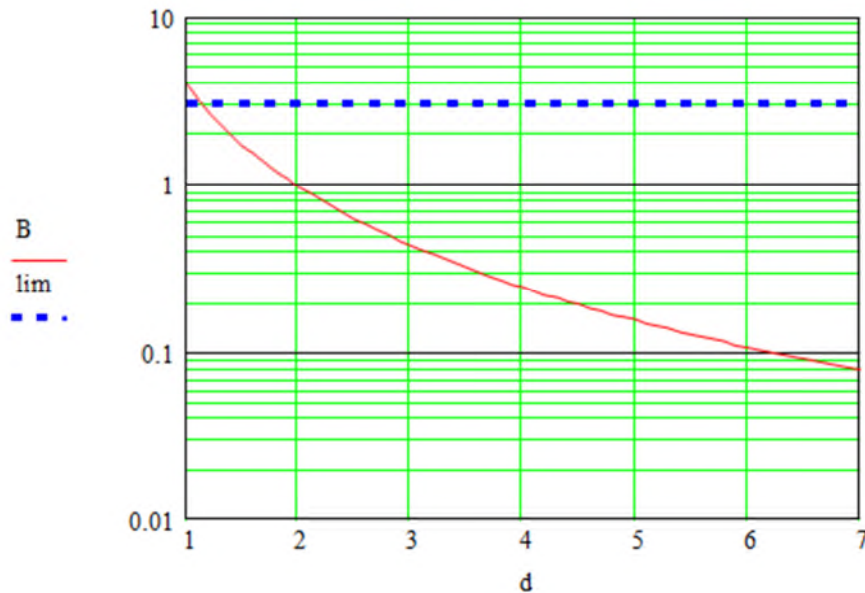


Figura 2: Campo di induzione magnetica (in μT) prodotto da un cavo 20kV in funzione della distanza dall'asse del cavo stesso

Il grafico di Fig.2 è stato ottenuto applicando la formula approssimata [1]:

$$B(d) = 0.2\sqrt{3} \frac{hI_{20kV}}{d^2} \quad [\mu T] \quad (1)$$

Come si vede dalla Fig.2, già a poco più di 1m di distanza dall'asse, il campo scende sotto il limite di $3\mu T$.

² Dal punto di vista del campo magnetico, una terna trifase in configurazione planare, a parità di altre condizioni, genera campi più intensi rispetto alla configurazione a trifoglio; pertanto tale assunzione è cautelativa.

	PROGETTO PRELIMINARE RELAZIONE PRELIMINARE DI COMPATIBILITA' ELETTRROMAGNETICA							
	0000000000 Prog 2755-1175	PROGETTO 3055/18	SOTTOPR. ELE	LIVELLO PP	NOME DOC. TTLC	PROGR.OP 00	FASE FUNZ. 00	NUMERAZ. E007

4.3 Campo di induzione magnetica a 50Hz prodotto dai cavi 2.75kV

Ipotizzando anche in tal caso una terna di conduttori co-planari con una distanza h tra gli assi dei conduttori di 10cm e corrente $I_{2.75kV}$ data da:

$$I_{2.75kV} = \frac{A}{\sqrt{3}V} = \frac{3880kVA}{2.75kV\sqrt{3}} = 814.6A$$

si ottiene il seguente grafico in funzione della distanza d dall'asse del cavo:

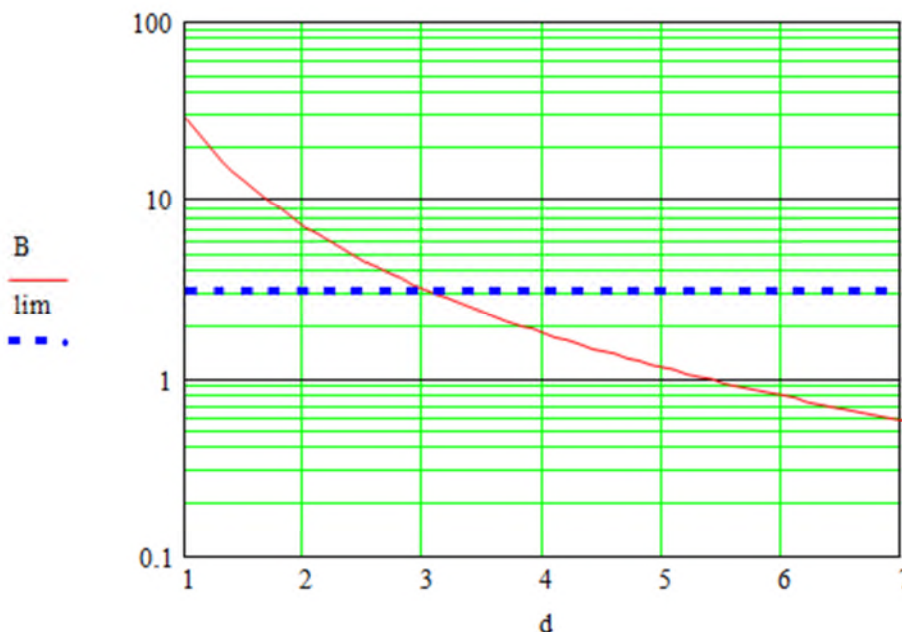


Figura 3: Campo di induzione magnetica (in μT) prodotto da un cavo 2.75kV in funzione della distanza dall'asse del cavo stesso

Come si vede dalla Fig.3, a circa 3m di distanza dall'asse del cavo, il campo scende sotto il limite di $3\mu T$.

Anche in questo caso, è stata applicata la formula (1) con $I_{2.75kV}$ al posto di I_{20kV} .

4.4 Campo di induzione magnetica a 50Hz prodotto da una coppia di trasformatori 20kV/2.75kV

Consideriamo una coppia di trasformatori a secco aventi ciascuno una potenza nominale di 3880kVA e tensione di corto circuito percentuale pari a 7% i cui centri sono posti ad una altezza di 1.5m e a distanza di 6m l'uno dall'altro. La isolina a $3\mu T$ del campo di induzione magnetica (valutata ad 1m di altezza dal suolo) è mostrata in Fig.4.

0000000000 Prog 2755-1175	PROGETTO 3055/18	SOTTOPR. ELE	LIVELLO PP	NOME DOC. TTLC	PROGR.OP 00	FASE FUNZ. 00	NUMERAZ. E007	FOGLIO 9 DI 12
---------------------------	---------------------	-----------------	---------------	-------------------	----------------	------------------	------------------	-------------------

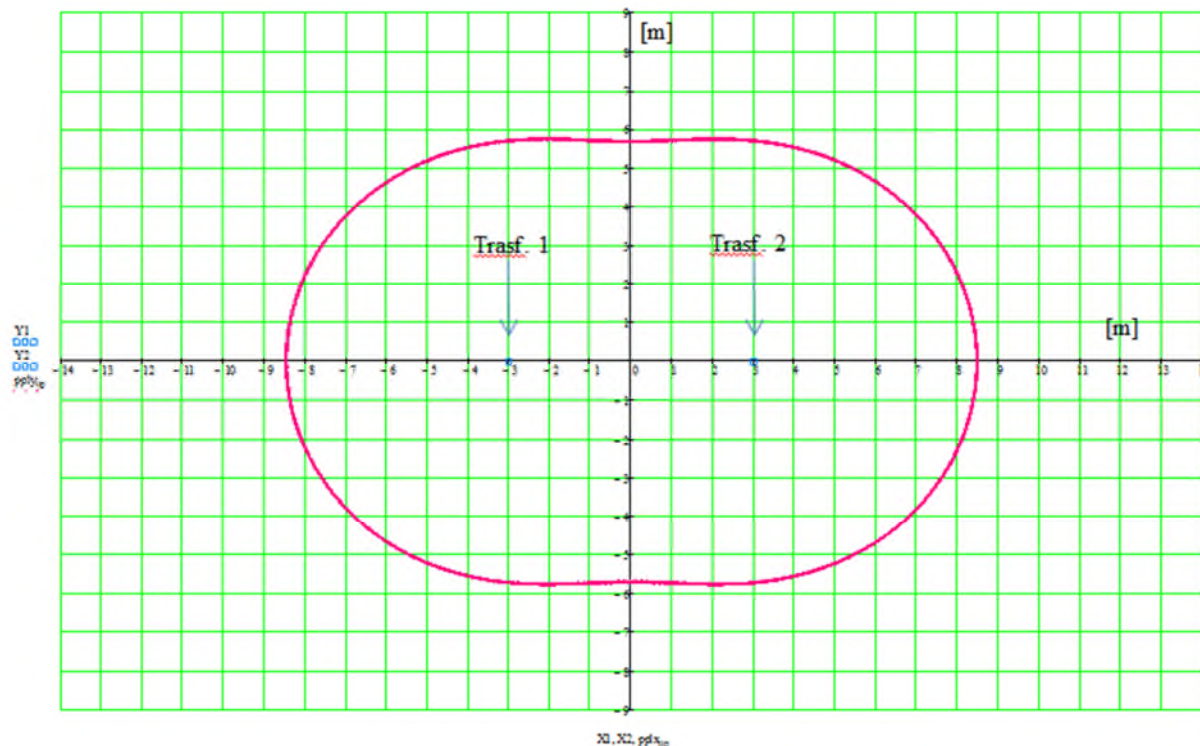


Figura 4: Isolinea ad 1m di altezza, del campo di induzione magnetica a 3μT prodotto da una coppia di trasformatori 20kV/2.75kV

La Fig.4 è stata ottenuta applicando la seguente formula approssimata (valida per distanze superiori ad 1m dal centro del trasformatore) riportata in [2], [3] e opportunamente generalizzata al caso di due trasformatori:

$$B(d) = B_0 \frac{u_{cc\%}}{6} \sqrt{\frac{S}{630}} \left(\frac{3}{d}\right)^{2.8} \quad [\mu T] \quad (2)$$

In (2), B_0 vale 5μT (per i trasformatori a secco), $u_{cc\%}$ è la tensione di corto circuito percentuale del trasformatore (nel nostro caso $u_{cc\%}=7$) e S è la potenza nominale in kVA.

4.5 Campo di induzione magnetica a 0Hz prodotto da una coppia di cavi unipolari

La coppia di cavi unipolari che esce dalla bobina di raddrizzamento e che va direttamente alla linea di trazione è ipotizzata essere disposta in piano ad una distanza h di 1m tra gli assi dei singoli cavi. Si ipotizza poi che durante una situazione di sovraccarico, la corrente trasportata sia di 2800A. I risultati sono mostrati in Fig.5.

	PROGETTO PRELIMINARE RELAZIONE PRELIMINARE DI COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA							
	0000000000 Prog 2755-1175	PROGETTO 3055/18	SOTTOPR. ELE	LIVELLO PP	NOME DOC. TTLC	PROGR.OP 00	FASE FUNZ. 00	NUMERAZ. E007

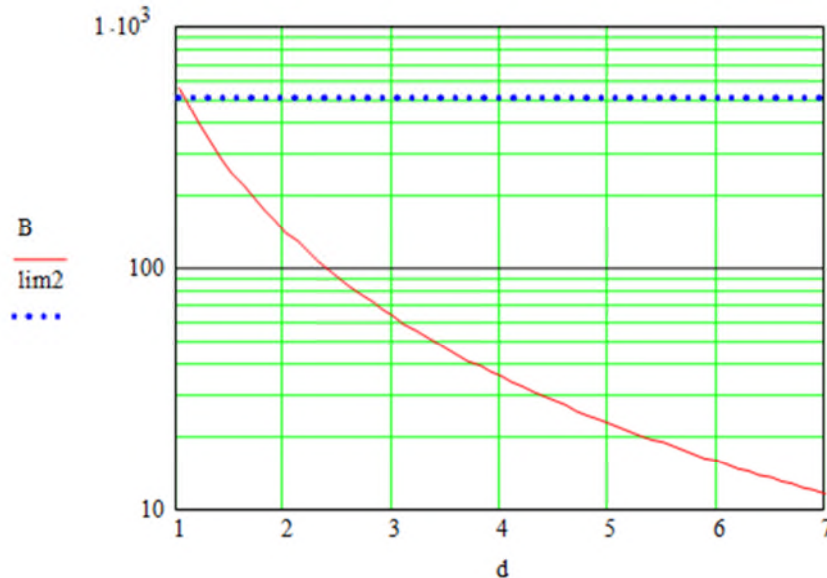


Figura 5: Campo a 0Hz (in μT) prodotto da una coppia di cavi unipolari; distanza inter-assiale 1m

Come si vede da Fig.5, già a distanze appena superiori ad 1m, il campo è inferiore al limite di $500\mu T$. Il grafico di Fig.6 è stato ottenuto mediante la seguente formula approssimata, valida per una linea bifilare e riportata in [1]:

$$B(d) = 0.2 \frac{hI}{d^2} \quad [\mu T] \quad (3)$$

4.6 Campo di induzione magnetica a 0Hz prodotto dalla bobina di raddrizzamento

Ipotizziamo che la bobina di raddrizzamento della corrente, assimilata ad un solenoide, abbia raggio 0.9m, lunghezza 1.5m ed un numero di spire³ pari a 65 e sia posizionato verticalmente (abbia cioè una base poggiante sul pavimento). Anche in questo caso, abbiamo calcolato il campo in condizioni di sovraccarico con una corrente pari a 2800A.

Inoltre abbiamo supposto che le due bobine presenti nella sottostazione siano poste ad una distanza di una decina di metri l'una dall'altra in modo tale che, in prossimità di una bobina, sia trascurabile il campo prodotto dall'altra e viceversa.

In figura 6 è mostrato il campo di induzione magnetica calcolato in funzione della distanza dall'asse del solenoide ad una altezza di 1m da terra.

Dalla Figura si vede che a una distanza di 4.5m circa dall'asse della bobina, il campo è inferiore al limite di $500\mu T$.

³ Sapendo che l'induttanza del solenoide è 6mH circa, abbiamo ricavato questo parametro dai dati geometrici del solenoide e dalla nota formula che esprime l'induttanza di un generico solenoide.

	PROGETTO PRELIMINARE RELAZIONE PRELIMINARE DI COMPATIBILITA' ELETTRROMAGNETICA							
	0000000000 Prog 2755-1175	PROGETTO 3055/18	SOTTOPR. ELE	LIVELLO PP	NOME DOC. TTLC	PROGR.OP 00	FASE FUNZ. 00	NUMERAZ. E007

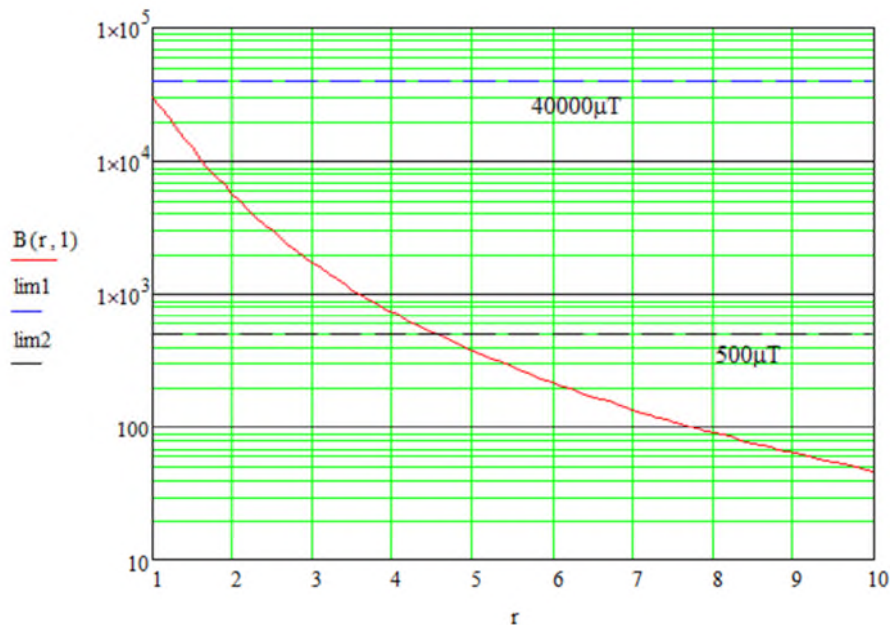


Figura 6: Campo di induzione magnetica a 0Hz in funzione della distanza dall'asse della bobina valutato ad 1m di altezza.

Per la valutazione del campo di induzione magnetica sono state applicate le formule valide per un solenoide reperibili in letteratura tecnica. Si veda ad esempio [4].

5. Conclusioni

Le conclusioni si possono sintetizzare nei seguenti punti:

1. Per quanto riguarda il campo a 50Hz, i livelli di campo superiori al limite di $3\mu\text{T}$ si trovano essenzialmente nell'area interna alla sottostazione dove la popolazione non ha accesso.
2. Per quanto riguarda il campo a 0Hz il limite di $40000\mu\text{T}$ è superato solo a piccolissime distanze dalle sorgenti dove la popolazione non ha accesso. Invece, il limite di $500\mu\text{T}$ per i portatori di pace-maker, dispositivi impiantabili o protesi potrebbe essere superato in particolari condizioni di sovraccarico della linea in vicinanza delle sorgenti di campo ossia:

- ad una distanza inferiore ad 1.5m dall'asse del binario e a pochi centimetri dal filo di contatto (vedi Fig.1)
- ad una distanza inferiore ad 1m dai cavi unipolari (vedi Fig. 5)
- ad una distanza inferiore a 4.5m dalla bobina di raddrizzamento (vedi Fig.6)

	PROGETTO PRELIMINARE RELAZIONE PRELIMINARE DI COMPATIBILITA' ELETTRROMAGNETICA							
	0000000000 Prog 2755-1175	PROGETTO 3055/18	SOTTOPR. ELE	LIVELLO PP	NOME DOC. TTLC	PROGR.OP 00	FASE FUNZ. 00	NUMERAZ. E007

Ribadiamo comunque che le ipotesi fatte e le correnti utilizzate per i calcoli sono estremamente cautelative.

6. Riferimenti bibliografici

- [1] G. Grandi, A. Santi: "Campi magnetici a bassa frequenza (50Hz) in ambiente lavorativo. Gli uffici: individuazione, principali sorgenti e contromisure", Le giornate di Corvara, 7° Convegno di Igiene Industriale, Corvara (Bolzano) 21-23 marzo 2001.
- [2] Tuttonormel: "La protezione dai campi magnetici", edizioni TNE, Torino 2003 pag.29
- [3] B. Hofmann: "Distribution Transformers and EMC", Siemens publication 2009.
- [4] A. Canova, L. Giaccone, M. Manca, R. Turri, P. Casagrande: "Simplified power transformer models for environmental magnetic impact analysis", 2nd International Conf. on EMF-ELF, Paris, March 24-25, 2011.