

The logo consists of the letters 'HEA' in a bold, teal, sans-serif font, centered within a solid yellow square.

Piattaforma polifunzionale Ponticelle

Valutazione di Impatto Ambientale

D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i. - L.R. 20 aprile 2018, n. 4 e s.m.i.

PROGETTO DEFINITIVO

Piattaforma polifunzionale Ponticelle

ELABORATO 172

Relazione di calcolo delle distanze di prima approssimazione

Approvato HA	R. Boschi E. Zamagni		Approvato ER	G. Romano F. Lia		 GOLDER
Controllato HA	M. Facchini L. Pernetta		Controllato ER	E. Lagrotta G. Crimi		
Redatto Golder		F. De Giorgi C.Zaffaroni E. Meggiolaro				
Cod. Doc. HA	CO 05 RA VA 01 I4 ST 171.00		Cod. Doc. ER	160053-ENG-R-RD-2475		
Rev.	00	Data	30/08/2022	Pagine	1 di 10	

SOMMARIO

A	SCOPO DEL DOCUMENTO.....	3
B	RIFERIMENTI AD ALTRI DOCUMENTI	4
C	DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI OGGETTO DI STUDIO	5
D	NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	6
E	METODOLOGIA DI CALCOLO	8
F	CONCLUSIONI DELLA RELAZIONE DI CALCOLO SPECIALISTICA	9
G	ALLEGATI	10

INDICE DELLE TABELLE NEL TESTO

Tabella 1 – Leggi	6
Tabella 2 – Norme tecniche	6

CO 05 RA VA 01 I4 ST 171.00	Specifica Quadri Elettrici	00	30/08/2022	2 di 10
Cod. HA	Descrizione	Rev.	Data	

A SCOPO DEL DOCUMENTO

Al presente documento è allegata la relazione di calcolo relativa al calcolo delle distanze di prima approssimazione (nel seguito, più brevemente, DPA) per gli impianti in Media Tensione a servizio della nuova piattaforma polifunzionale "Ponticelle", prevista in area Ponticelle Ravenna (RA).

Il livello di progettazione è FEED: il progetto non è idoneo per costruzione.

CO 05 RA VA 01 I4 ST 171.00	Specifica Quadri Elettrici	00	30/08/2022	3 di 10
Cod. HA	Descrizione	Rev.	Data	

B RIFERIMENTI AD ALTRI DOCUMENTI

La relazione si basa sui dati e sulle informazioni reperibili, in particolare, nei seguenti elaborati di progetto:

- El.161.00_CO 05 RA VA 01 D1 SB 161.00 "Schema a blocchi della distribuzione elettrica"
- El.163.01_CO 05 RA VA 01 D1 SL 163.01 "Quadri Elettrici"
- El.167.00_CO 05 RA VA 01 D1 PL 167.00 "Planimetria impianti"
- El.171.03_CO 05 RA VA 01 D1 RE 171.03 "Relazione e tabelle calcolo cavi elettrici"
- El.191.00_CO 05 RA VA 01 D1 PL 191.00 "Planimetria percorso cavi con attraversamento stradale con relative sezioni"

CO 05 RA VA 01 I4 ST 171.00	Specifica Quadri Elettrici	00	30/08/2022	4 di 10
Cod. HA	Descrizione	Rev.	Data	

C DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI OGGETTO DI STUDIO

L'impianto in media tensione sarà alimentato da un quadro MT esistente nella "Cabina elettrica F3" dell'adiacente stabilimento Herambiente di Ravenna: tale quadro (e la relativa cabina) sono esclusi dal calcolo della DPA.

Da detta cabina, tramite linea in cavo (una terna di cavi) si alimenta un quadro di media tensione installato nell'unica cabina di impianto ("Cabina elettrica ovest") la quale a sua volta alimenta due trasformatori MT/BT (da 1600 kVA, in resina). Al piano superiore dell'edificio sono installati i power center di bassa tensione.

Nel documento EI.161.00_CO 05 RA VA 01 D1 SB 161.00 "*Schema a blocchi della distribuzione elettrica*" è indicato il collegamento tra le due cabine di cui sopra. Sono rappresentati anche una ipotetica futura cabina ("Cabina elettrica est") ed i relativi collegamenti: sia la cabina sia i collegamenti sono esclusi dalla presente relazione, qualora, in futuro si dovesse decidere di ampliare l'impianto, occorrerà aggiornare la relazione di calcolo della DPA sulla base di quanto verrà previsto dal punto di vista impiantistico.

Le cabine ed il percorso della terna di cavi dalla "Cabina elettrica F3" alla "Cabina elettrica ovest" è visibile nel foglio 1 del documento EI.191.00_CO 05 RA VA 01 D1 PL 191.00 "*Planimetria percorso cavi con attraversamento stradale con relative sezioni*".

Nel foglio 5 del documento EI.167.00_CO 05 RA VA 01 D1 PL 167.00 "*Planimetria impianti*" è rappresentato il layout delle principali apparecchiature nella "Cabina elettrica ovest".

Nel documento EI.163.01_CO 05 RA VA 01 D1 SL 163.01 "*Quadri Elettrici*" è rappresentato lo schema unifilare del quadro di media tensione nella "Cabina elettrica ovest".

Le caratteristiche ed il carico del cavo di media tensione di interconnessione tra le due cabine sono nel documento EI.171.03_CO 05 RA VA 01 D1 RE 171.03 "*Relazione e tabelle calcolo cavi elettrici*".

CO 05 RA VA 01 I4 ST 171.00	Specifica Quadri Elettrici	00	30/08/2022	5 di 10
Cod. HA	Descrizione	Rev.	Data	

D NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Per il calcolo delle Distanze di Prima Approssimazione si è tenuto conto delle seguenti leggi e norme.

Tabella 1 – Leggi

Legge n° 36 del 22/2/2001	Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici
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 (50Hz) generati da elettrodotti
DM 29 Maggio 2008	Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti
Supplemento ordinario n.160 alla Gazzetta ufficiale 5 luglio 2008 n. 156	Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti (allegato APAT)
D.Lgs n. 81 del 9 aprile 2008	Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro
Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea 1999/519/CE, 12 luglio 2009	Limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz
D.Lgs n. 159 del 01 agosto 2016	Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE

Tabella 2 – Norme tecniche

CEI 14-35:2008	Valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza
CEI 106-11:2006	Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) – Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo
CEI 106-12:2006	Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT
CEI 110-15:2013	Compatibilità elettromagnetica (EMC)
CEI 106-27:2012	Livelli di campo elettrico e magnetico generati da sistemi di potenza in c.a.: Procedure di misura con riferimento all'esposizione umana
CEI 106-45:2021	Guida CEM – Guida alla valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza derivante dall'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) fra 0 Hz e 300 GHz nei luoghi di lavoro

CO 05 RA VA 01 I4 ST 171.00	Specifica Quadri Elettrici	00	30/08/2022	6 di 10
Cod. HA	Descrizione	Rev.	Data	

CEI 211-4:2008	Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche
CEI 211-6:2001	Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana

CO 05 RA VA 01 I4 ST 171.00	Specifica Quadri Elettrici	00	30/08/2022	7 di 10
Cod. HA	Descrizione	Rev.	Data	

E METODOLOGIA DI CALCOLO

Il calcolo delle DPA è stato sviluppato sulla base delle caratteristiche degli impianti (riassunte sommariamente al par. C precedente) utilizzando le leggi e le norme applicabili. Poiché alcune configurazioni non risultano pienamente previste dagli algoritmi di calcolo normativi, per una migliore valutazione si è utilizzato il software MAGIC® (vedere l'allegato 2 per informazioni di dettaglio sugli algoritmi di calcolo e sulle modalità con cui è stato validato).

CO 05 RA VA 01 I4 ST 171.00	Specifica Quadri Elettrici	00	30/08/2022	8 di 10
Cod. HA	Descrizione	Rev.	Data	

F CONCLUSIONI DELLA RELAZIONE DI CALCOLO SPECIALISTICA

Per comodità, di seguito, si riportano le conclusioni della relazione di calcolo (par. 6 dell'allegato 1).

Sulla base dei risultati delle simulazioni di campo magnetico delle cabine, è possibile osservare che:

- In prossimità della cabina ("Cabina elettrica ovest"), sul piano terra e al piano di calpestio del ballatoio al piano primo di accesso ai locali quadri BT, vi sono dei livelli di induzione magnetica inferiori ai 100 μ T che invadono le aree di passaggio in direzione Sud. Non risulta quindi necessario prevedere opere di mitigazione in tali direzioni;
- La DPA della Cabina MT/BT utente e dei locali QGBT ("Cabina elettrica ovest") è pari a 3,0m (2,86m arrotondato al metro successivo);
- La DPA della linea MT in ingresso alla Cabina MT/BT è pari a 1,0m (0,60m arrotondato al metro successivo). La curva isolivello dei 100 μ T della linea MT è interamente contenuta al di sotto del piano di calpestio, pertanto tale limite risulta rispettato al suolo.

Allo stato di progetto, NON è prevista presenza continuativa di persone a distanza inferiore alle DPA.

CO 05 RA VA 01 I4 ST 171.00	Specifica Quadri Elettrici	00	30/08/2022	9 di 10
Cod. HA	Descrizione	Rev.	Data	

G ALLEGATI

Allegato 1: Relazione di calcolo specialistica

Allegato 2: Documento di validazione del software

CO 05 RA VA 01 I4 ST 171.00	Specifica Quadri Elettrici	00	30/08/2022	10 di 10
Cod. HA	Descrizione	Rev.	Data	

The logo consists of the letters "HEA" in a bold, teal, sans-serif font, centered within a solid yellow square.

Piattaforma polifunzionale Ponticelle

Valutazione di Impatto Ambientale

D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i. - L.R. 20 aprile 2018, n. 4 e s.m.i.

PROGETTO DEFINITIVO Piattaforma polifunzionale Ponticelle

ELABORATO 172

Relazione di calcolo delle distanze di prima approssimazione – ALLEGATO 1

Approvato HA	R. Boschi E. Zamagni		Approvato ER	G. Romano F. Lia	
Controllato HA	M. Facchini L. Pernetta		Controllato ER	E. Lagrotta G. Crimi	
Redatto Golder		F. De Giorgi C.Zaffaroni E. Meggiolaro			
Cod. Doc. HA	CO 05 RA VA 01 I4 ST 171.01		Cod. Doc. ER	160053-ENG-R-RD-2475	
Rev.	00	Data	30/08/2022	Pagine	14


GOLDER



Analisi di Impatto Ambientale della Cabina MT/BT Utente presso località Ca' Ponticelle – Ravenna (RA)

Rifer.: 20210326 Ca' Ponticelle - Ravenna

N° di pagine totali: 12

Protocollo: SPT/22/146

Del: 30/08/2022

Sommario

1. Premessa.....	1
2. Layout architettonico.....	3
3. Definizione dei limiti di esposizione nei locali circostanti la cabina elettrica.....	5
4. Modello MAGIC.....	6
5. Analisi DPA linea MT	11
6. Conclusioni	12

1. Premessa

La presente relazione riporta lo studio di induzione magnetica, generata dall'insieme di infrastrutture elettriche presenti all'interno della cabina elettrica MT/BT Utente presso la località Ca' Ponticelle a Ravenna (RA).

Lo scopo del seguente è di verificare il rispetto delle specifiche contenute nel quadro normativo di riferimento:

- **Legge n° 36 del 22/2/2001**, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" (Legge che rimanda l'applicazione ai decreti applicativi: DPCM 8 luglio 2003);
- **Guida CEI 211-6 (2001)**, "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana";
- **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 (50Hz) generati da elettrodotti";
- **Guida CEI 106-11: (2006)**, "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) – Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo";
- **Guida CEI 106-12 (2006)**, "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT";
- **CEI 14-35 (2008)**, in merito alla valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza aventi una gamma di potenza compresa fra 5 kVA e 1000 kVA;
- **DM 29 Maggio 2008**, "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti";
- **Supplemento ordinario n.160 alla Gazzetta ufficiale 5 luglio 2008 n. 156**, Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti (allegato APAT);
- **Guida CEI 211-4 (2008)**, "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche";
- **D.Lgs n. 81 del 9 aprile 2008**, "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro", nello specifico: Titolo VIII Capo IV;
- **Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea 1999/519/CE**, 12 luglio 2009, relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz;
- **Norma CEI EN 61000-4-8:2010**, Compatibilità elettromagnetica (EMC);
- **Norma CEI EN 62110: 2012-11 (CEI 106-27)**, Livelli di campo elettrico e magnetico generati da sistemi di potenza in c.a.: Procedure di misura con riferimento all'esposizione umana;
- **D.Lgs n. 159 del 01 agosto 2016**, "Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.";
- **DM 11 Ottobre 2017** "Inquinamento elettromagnetico indoor", per dimostrare la conformità al criterio **2.3.5.4** è necessario presentare una relazione tecnica, con relativi elaborati grafici, stato ante operam, interventi previsti, risultati raggiungibili e stato post operam;
- **Guida CEI 106-45 (gennaio 2021)**, Guida CEM – Guida alla valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza derivante dall'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) fra 0 Hz e 300 GHz nei luoghi di lavoro.

In particolare, i valori limite massimi in materia di esposizione a campi magnetici prodotti da sorgenti elettriche di bassa frequenza previsti dalla normativa citata sono fissati a:

- **100 μ T** esposizione **istantanea**, valore imposto dal DPCM 8 Luglio 2003 – Art. 3;
- **3,78 μ T** per locali con presenza di **apparecchiature elettroniche sensibili**, valore indicato dalla norma tecnica CEI EN 61000-4:8;
- **3 μ T**, obiettivo di qualità negli ambienti ad esposizione prolungata di persone (superiore alle quattro ore giornaliere), valore imposto dal DPCM 8 Luglio 2003 – Art. 4.

In presenza di ambienti particolarmente sensibili, potrebbe essere esplicitamente richiesto dalla committenza una ulteriore riduzione del valore limite imposto dall'obiettivo di qualità per scopi cautelativi.

Lo studio inizia da una descrizione generale del problema con individuazione delle aree sensibili e delle sorgenti principali di campo magnetico, per le quali è necessario effettuare una valutazione dell'induzione magnetica, secondo gli obiettivi di qualità sopra citati (**2 Layout architettonico**) + (**3 Definizione dei limiti di esposizione nei locali circostanti la cabina elettrica**).

Lo studio prosegue con la modellizzazione dei dispositivi elettrici mediante software MAGIC® per la valutazione dell'induzione magnetica generata dagli stessi (**4 Modello MAGIC**), (**5 Analisi DPA linea MT**) corredate da commenti conclusivi sui valori di campo magnetico dedotti dalle simulazioni (**6 Conclusioni**).

2. Layout architettonico

Nelle Figure 1 e 2 si riportano le piante del locale Cabina MT/BT al piano terra e dei locali QGBT al piano primo direttamente soprastanti, con indicazione della disposizione dei componenti elettrici presenti all'interno degli stessi.

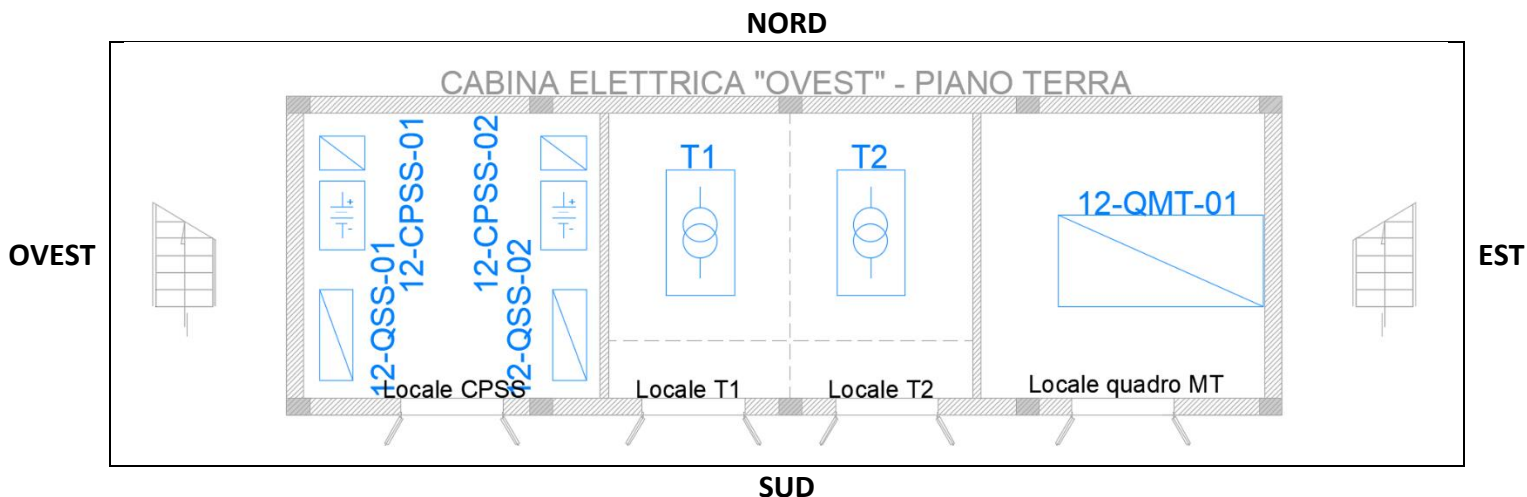


Figura 1 Pianta del locale Cabina MT/BT al piano terra

La cabina MT/BT Utente è situata al piano terra in locale dedicato.

Le apparecchiature elettriche presenti nella medesima, caratterizzate da valori di corrente non trascurabili ai fini delle valutazioni del campo magnetico, sono:

- n.2 trasformatore MT/BT da 1600 kVA isolato in resina;
- n.1 quadro generale di media tensione;
- n.2 quadro BT power center;
- n.3 linee MT di cui due di collegamento tra quadro di media tensione e trasformatori, una linea di collegamento tra QMT Utente e quadro media tensione di altra cabina (tale linea verrà analizzata in paragrafo dedicato);
- n.4 linee BT di cui due di collegamento tra trasformatori e quadro BT QPC01 al piano primo soprastante e due di collegamento tra quadro BT QSA01 al primo piano e quadri BT QSS01/02 al piano terra.

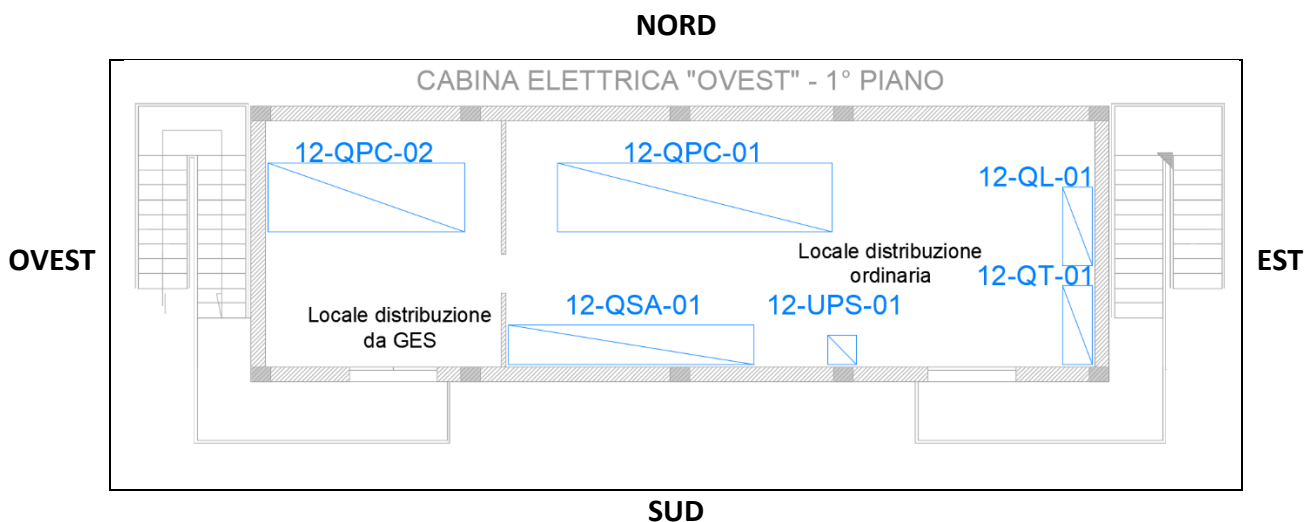


Figura 2 Pianta dei locali QGBT al piano primo

Il locale quadri BT è situato al piano primo.

Le apparecchiature elettriche presenti nel medesimo, caratterizzate da valori di corrente non trascurabili ai fini delle valutazioni del campo magnetico, sono:

- n.5 quadri BT power center;
- n.4 linee BT, una di collegamento tra quadro BT QPC01 e QPC02, una linea BT di collegamento tra quadro BT QPC01 e QT01, una linea BT di collegamento tra quadro BT QPC01 e QSA01, una linea BT di collegamento tra quadro BT QSA01 e QL01.

3. Definizione dei limiti di esposizione nei locali circostanti la cabina elettrica

Seguendo le informazioni contenute nella documentazione fornita dal committente, si evidenzia che i locali confinanti con la medesima rappresentano:

- **Piano della cabina di trasformazione (piano terra):**

Non esistono locali caratterizzati dalla presenza continuativa di persone (area esterna di passaggio), pertanto dovranno essere garantiti valori di induzione magnetica al di sotto del limite di 100 μ T all'esterno della cabina;

- **Piano della cabina locale quadri BT (primo piano):**

Non esistono locali caratterizzati dalla presenza continuativa di persone (ballatoio), pertanto dovranno essere garantiti valori di induzione magnetica al di sotto del limite di 100 μ T all'esterno della cabina;

- **Piano soprastante la cabina (piano copertura):**

Non esistono locali soprastanti la cabina;

- **Piano sottostante la cabina (piano interrato):**

Non risultano locali sottostanti la cabina (terrapieno).

Lo scopo della presente valutazione è il calcolo numerico dell'espressione della DPA (massima estroflessione della curva isolivello dei 3 μ T (obiettivo di qualità, secondo il DPCM 8 luglio 2003 – Art. 4) all'esterno della Cabina).

NOTA: Nel caso in cui siano previsti Locali o Aree con presenza continuativa di persone poste a una distanza inferiore alla DPA delle Cabine/Sorgenti elettriche, dovranno essere adottate opportune opere di mitigazione del campo magnetico indotto.

4. Modello MAGIC

Nelle Figure 3, 4 e 5 viene presentato il layout della cabina elettrica mediante il software di calcolo tridimensionale MAGIC®, utilizzato per valutare l'induzione magnetica generata dai componenti elettrici, presenti nel locale oggetto di analisi. Il software permette di effettuare delle simulazioni considerando la tridimensionalità dei singoli dispositivi elettrici ed una sovrapposizione dei loro effetti in termini di induzione magnetica. In allegato alla presente relazione si fornisce il documento di validazione del software attraverso un confronto con software già esistenti e con rilievi sperimentali.

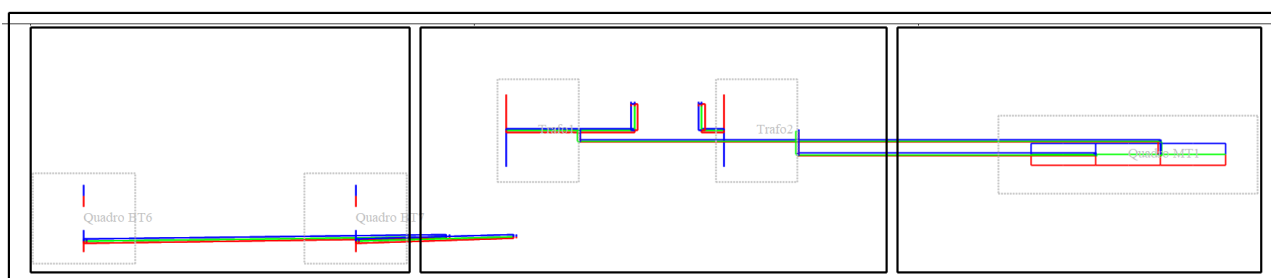


Figura 3 Layout del locale Cabina MT/BT piano terra – vista in pianta

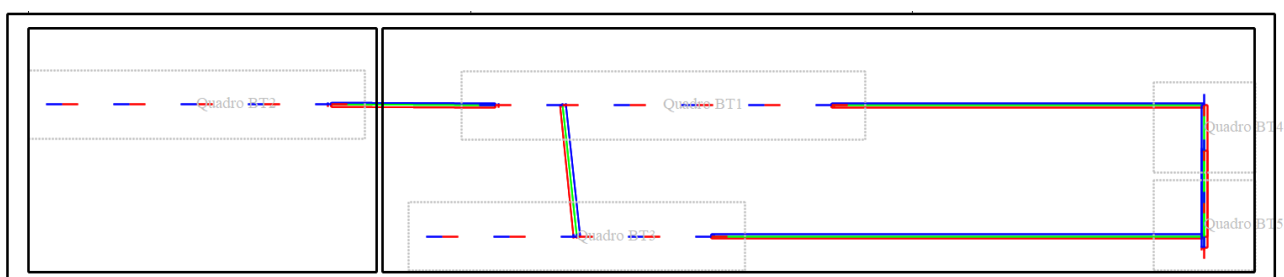


Figura 4 Layout dei locali QGBT piano primo – vista in pianta

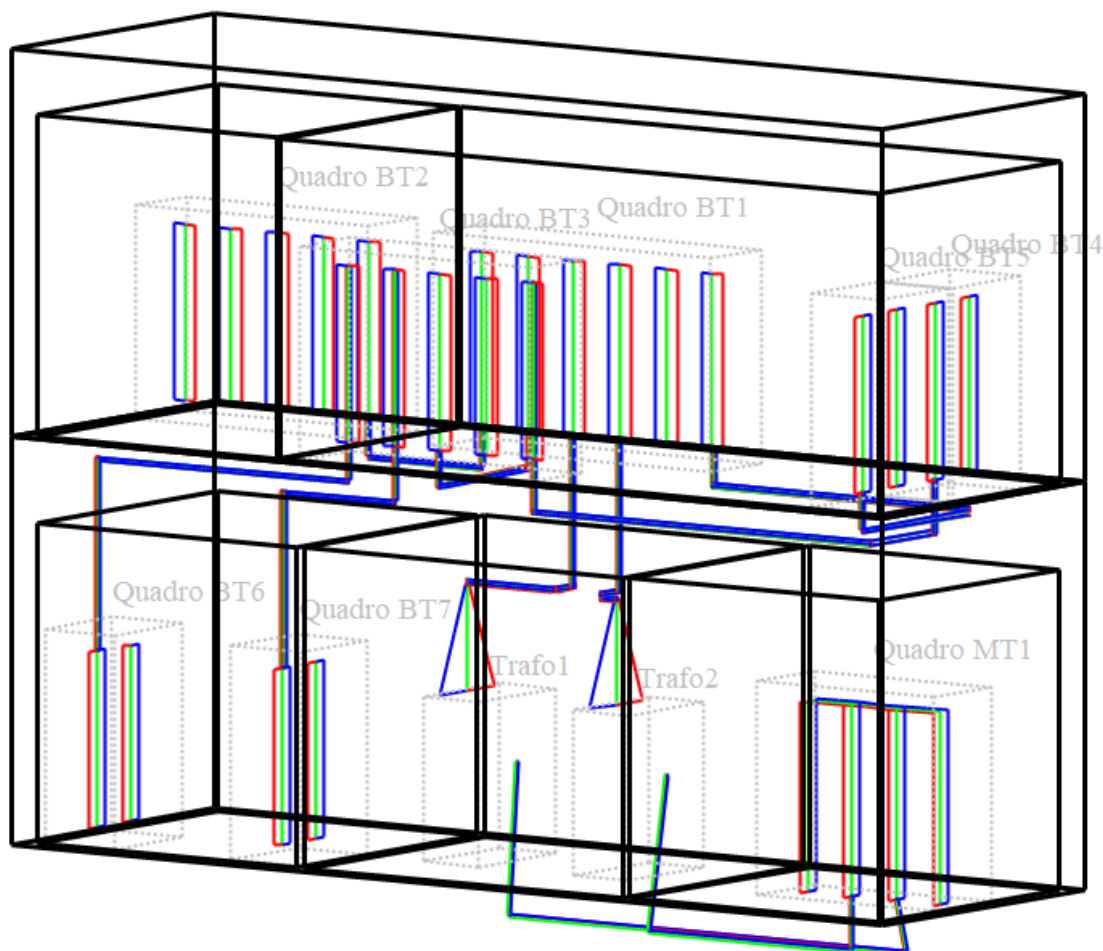


Figura 5 Layout del locale Cabina MT/BT + locali QGBT – vista 3D

Di seguito vengono analizzati i valori di induzione magnetica generati dalla cabina elettrica, in assenza di schermatura, nei locali attigui la stessa.

Nelle successive Figure vengono presentate le curve isolivello che riportano i valori di induzione magnetica, in μT , calcolati su diversi piani XY (paralleli al pavimento del locale Cabina MT/BT) per le seguenti quote:

- $z = 0,5$ corrispondente ad una quota di 0,5 metri a partire dal pavimento della cabina al piano terra (Figura 6);
- $z = 1,0$ corrispondente ad una quota di 1,0 metri a partire dal pavimento della cabina al piano terra (Figura 7);
- $z = 1,5$ corrispondente ad una quota di 1,5 metri a partire dal pavimento della cabina al piano terra (Figura 8);
- $z = 4,31$ corrispondente ad una quota di 0,5 metri a partire dal pavimento dei locali al piano primo (Figura 9);
- $z = 4,81$ corrispondente ad una quota di 1,0 metri a partire dal pavimento dei locali al piano primo (Figura 10);
- $z = 5,31$ corrispondente ad una quota di 1,5 metri a partire dal pavimento dei locali al piano primo (Figura 11);

Cabina - calcolo su piano xy - quote Z=0,5 m

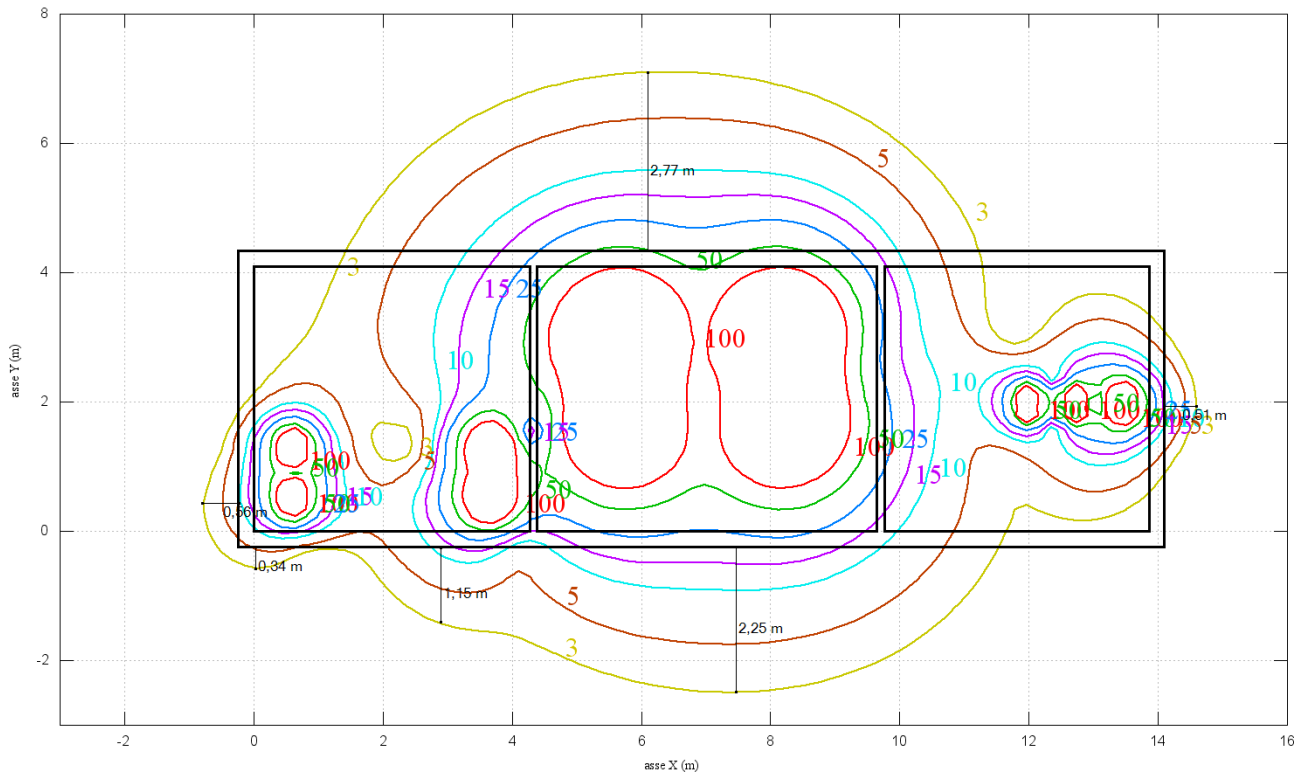


Figura 6 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per z = 0,5 m

Cabina - calcolo su piano xy - quote Z=1 m

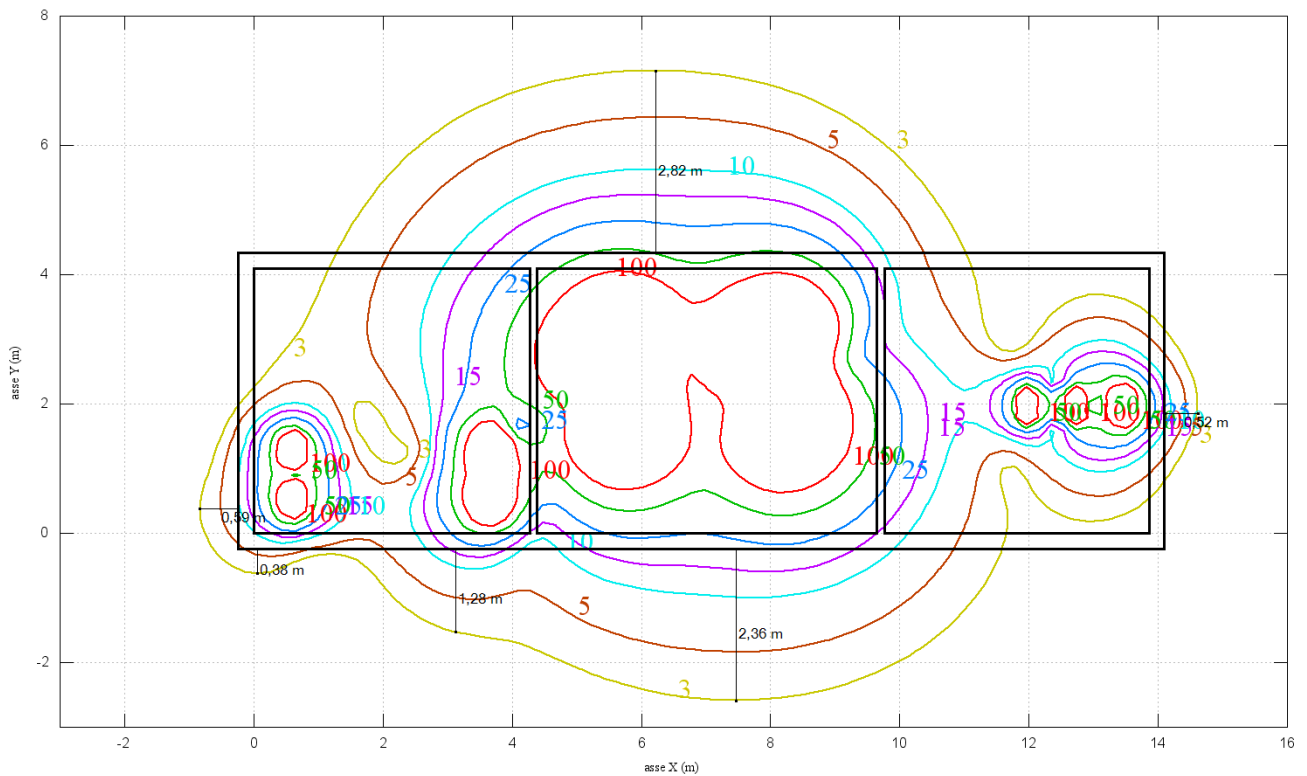


Figura 7 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per z = 1,0 m

Cabina - calcolo su piano xy - quote Z=1,5 m

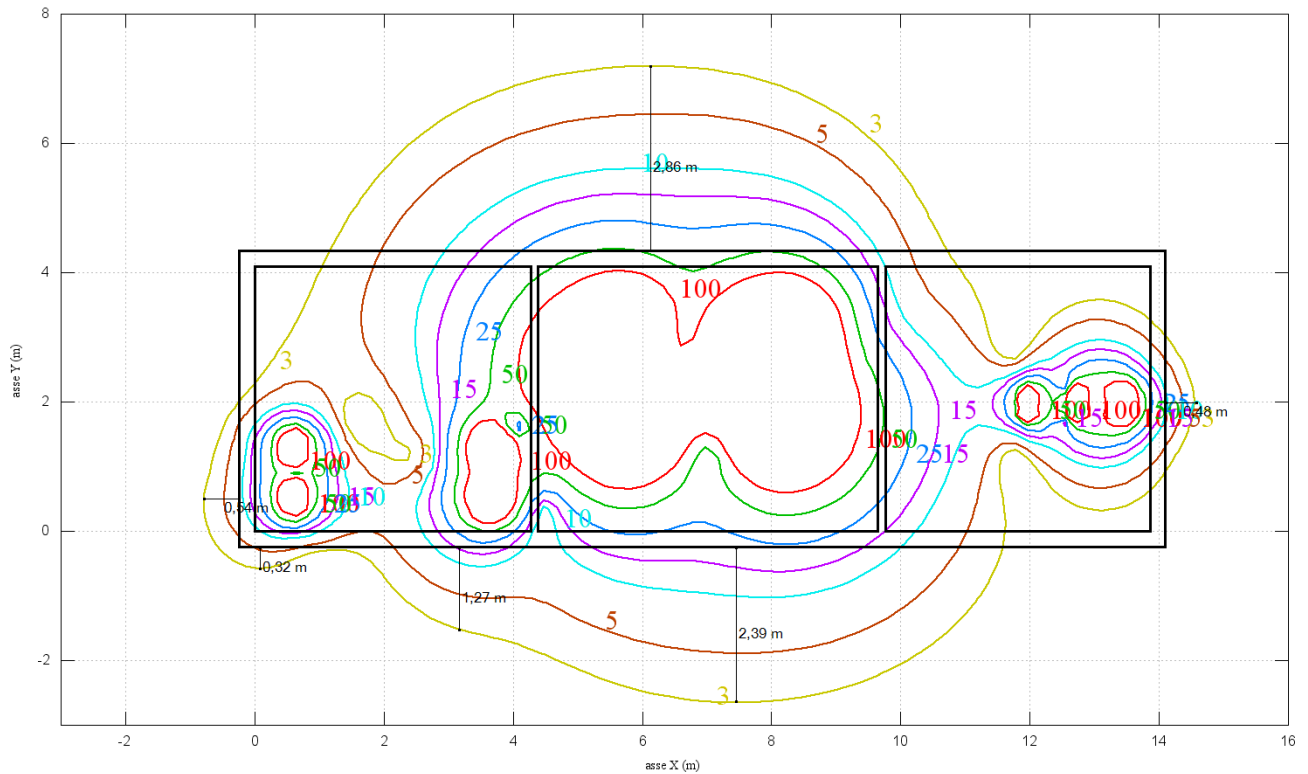


Figura 8 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per $z = 1,5$ m

Cabina - calcolo su piano xy - quote Z=4,31 m

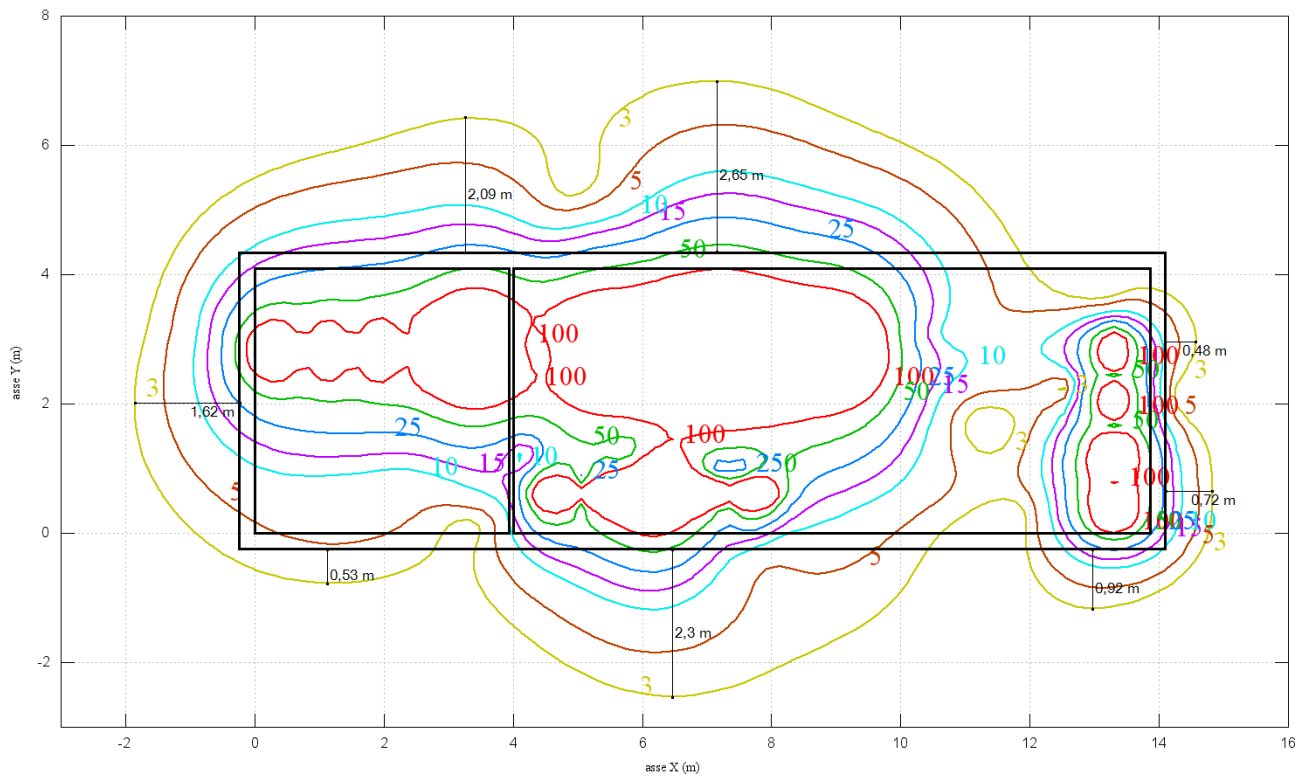


Figura 9 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per $z = 4,31$ m

Cabina - calcolo su piano xy - quote Z=4,81 m

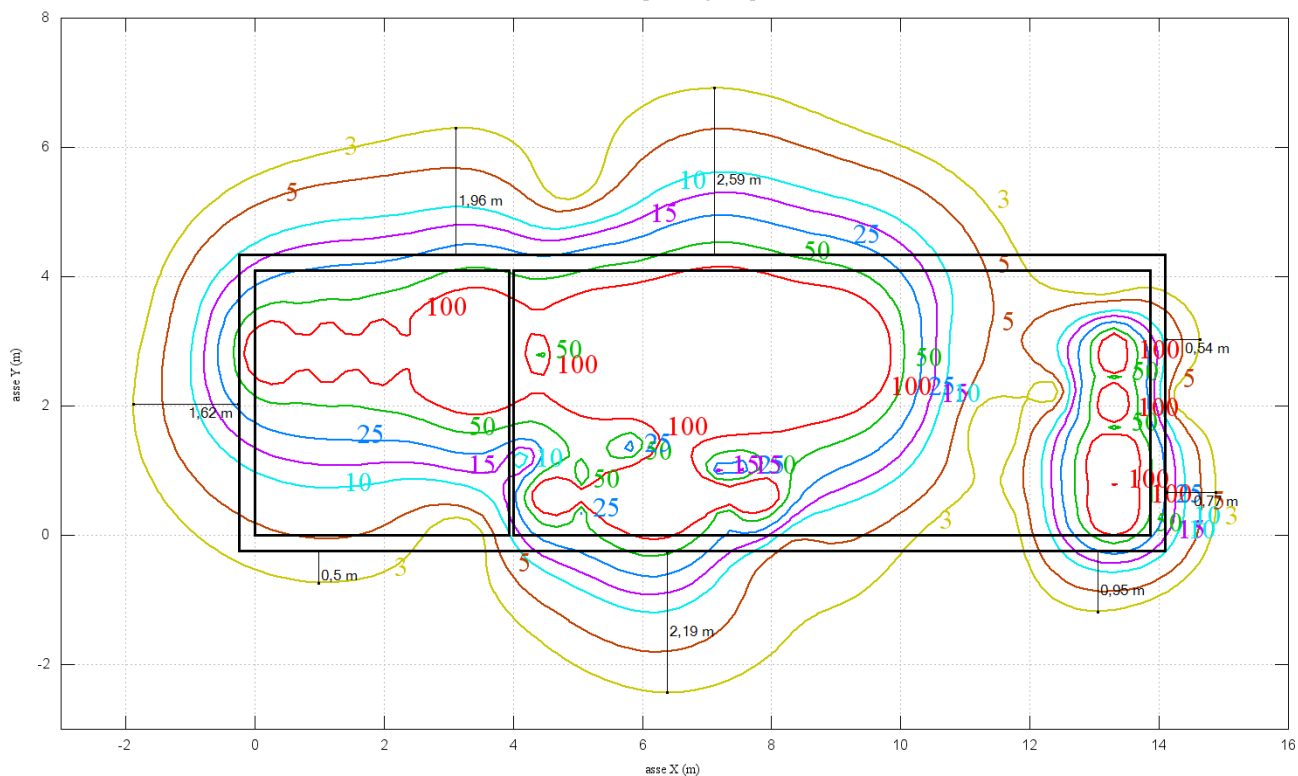


Figura 10 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per z = 4,81 m

Cabina - calcolo su piano xy - quote Z=5,31 m

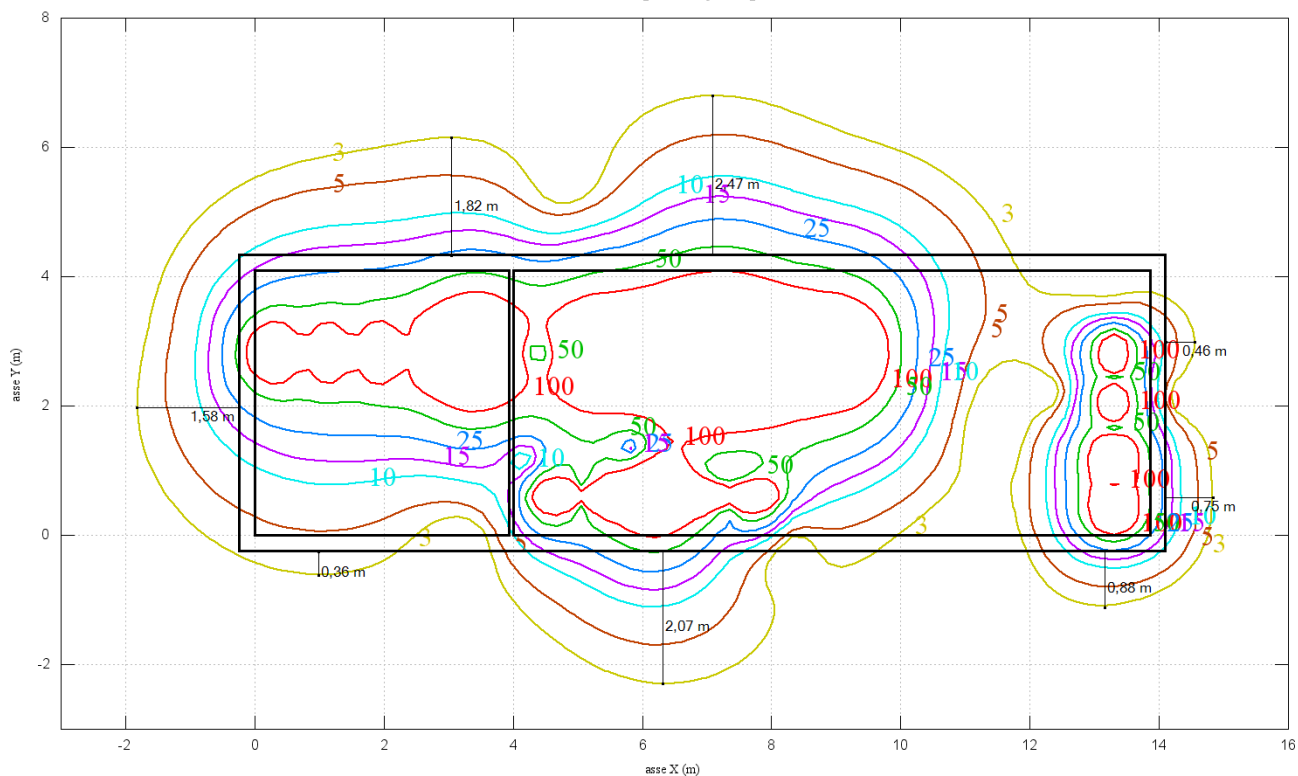


Figura 11 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per z = 5,31 m

La massima estroflessione della DPA relativa alla Cabina MT/BT utente e dei locali QGBT, ricavata dalle immagini soprastanti, vedi figura 8, è pari a 3,0m (2,86m arrotondato al metro successivo),

5. Analisi DPA linea MT

Nella seguente Figura si riportano le curve isolivello per la linea MT in ingresso alla Cabina MT/BT, calcolate su un piano ortogonale alla direzione dei cavi. Per la simulazione sono stati considerati i seguenti dati ricevuti dal committente:

- 123,17 A (ovvero la corrente totale a servizio dei due trasformatori da 1600 kVA con tensione primaria 15 kV sopra analizzati);
- Cavi da 95 mm², posa a trifoglio accorpato diametro esterno 33mm;
- Profondità di interramento 0,5m (considerando la situazione peggiorativa).

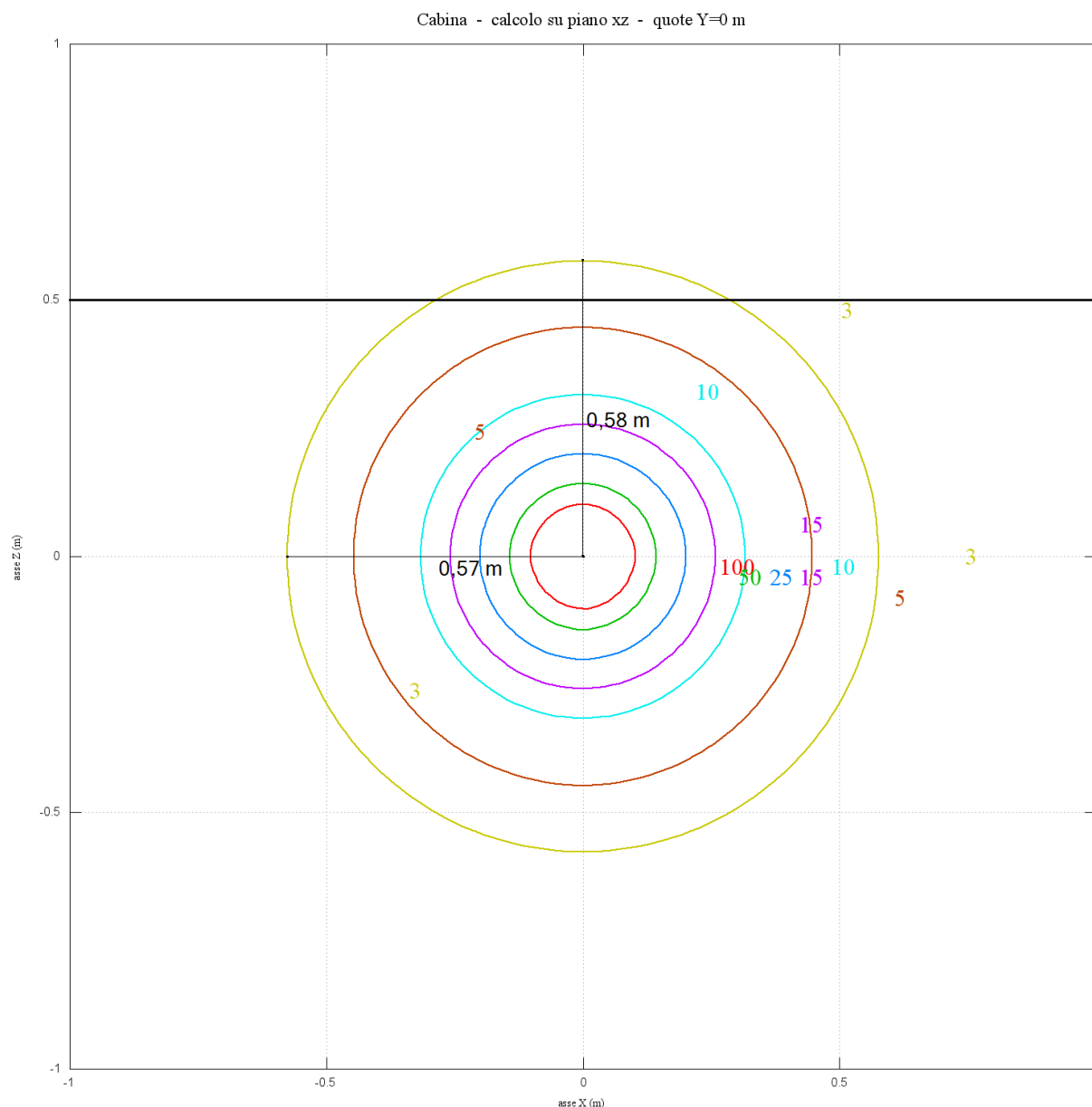


Figura 12 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XZ ortogonale alla linea MT in arrivo alla Cabina MT/BT

La massima estroflessione della DPA relativa alla linea MT sotto analisi, ricavata dall'immagine soprastante, vedi figura 11, è pari a 1,0m (0,60 m arrotondato al metro successivo),

L'estroflessione della curva isolivello dei 3μT della linea in oggetto resta pari a circa 0,6m, pertanto se la linea MT a trifoglio dovrà essere interrata, sarà sufficiente interrirla a tale quota.

6. Conclusioni

Sulla base dei risultati delle simulazioni di campo magnetico della cabina, è possibile notare che:


- In prossimità della cabina, sul piano terra e al piano di calpestio del ballatoio al piano primo di accesso ai locali quadri BT, vi sono dei livelli di induzione magnetica inferiori ai 100 μ T che invadono le aree di passaggio in direzione Sud. Non risulta quindi necessario prevedere opere di mitigazione in tali direzioni.
- La DPA della Cabina MT/BT utente e dei locali QGBT è pari a 3,0m (2,86m arrotondato al metro successivo), vedi figura 8.
- La DPA della linea MT in ingresso alla Cabina MT/BT è pari a 1,0m (0,60m arrotondato al metro successivo). La curva isolivello dei 100 μ T della linea MT è interamente contenuta al di sotto del piano di calpestio, pertanto tale limite risulta rispettato al suolo.


N.B:

Nel caso in cui siano previsti Locali o Aree con presenza continuativa di persone poste a una distanza inferiore alla DPA delle Cabine/Sorgenti elettriche, dovranno essere adottate opportune opere di mitigazione del campo magnetico indotto. Qualora si verificasse la necessità di adottare tali opere si rimanda la loro progettazione a una nuova Valutazione integrativa.

A valle di tali considerazioni, qualsiasi violazione dei vincoli precedentemente elencati o variazione di caratteristiche elettriche e/o geometriche potrebbe determinare una variazione dei risultati ottenuti dalle simulazioni.

Questa valutazione di impatto ambientale fa riferimento esclusivamente alle apparecchiature presenti all'interno della cabina elettrica, senza considerare le dorsali MT e BT in ingresso ed in uscita dalla stessa o dal locale quadri BT. In paragrafo dedicato viene trattata la sola linea MT in arrivo alla cabina elettrica.

BEShielding s.r.l.
Project Engineer
Lorenzo Barlassina


BEShielding s.r.l.
Project Manager
Sig. Sergio Grasso


Nota:

In allegato alla presente e come parte integrante della stessa, è stato inserito il documento di validazione del software MAGIC, utilizzato per le simulazioni dei campi magnetici indotti, presenti in questa relazione.

The logo consists of the letters "HEA" in a bold, teal, sans-serif font, centered within a solid yellow square.

Piattaforma polifunzionale Ponticelle


Valutazione di Impatto Ambientale

D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i. - L.R. 20 aprile 2018, n. 4 e s.m.i.

PROGETTO DEFINITIVO Piattaforma polifunzionale Ponticelle

ELABORATO 172

Relazione di calcolo delle distanze di
prima approssimazione – ALLEGATO 2

Approvato HA	R. Boschi E. Zamagni		Approvato ER	G. Romano F. Lia		 GOLDER
Controllato HA	M. Facchini L. Pernetta		Controllato ER	E. Lagrotta G. Crimi		
Redatto Golder		F. De Giorgi C.Zaffaroni E. Meggiolaro				
Cod. Doc. HA	CO 05 RA VA 01 I4 ST 171.02		Cod. Doc. ER	160053-ENG-R-RD-2475		
Rev.	00	Data	30/08/2022	Pagine	14	

Documento di Validazione

Algoritmi di calcolo del software MAGIC® (**MAG**netic Induction **C**alculation)

Revisione	Data	Elaborato	Approvato
06	29/06/2021	F.M.M.	S.G.
00 Emissione	07/01/2014	D.B.	M.M.

Sommario

1. Premessa	1
2. Verifica del modulo bidimensionale.....	2
2.1. Confronto con CEI 211-04	2
2.2. Confronto con codice CESI.....	2
3. Verifica del modulo tridimensionale	6
3.1. Campo prodotto da un segmento finito arbitrariamente orientato	6
3.2. Validazione sperimentale del modulo tridimensionale	7
4. Verifica del modulo tridimensionale:trasformatore di potenza	8
4.1. Verifica del modello MAGIC® della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method).....	8
4.2. Verifica del modello MAGIC® del trasformatore completo con misure sperimentali.....	10
5. Conclusioni	12

1. Premessa

Il presente documento riporta le verifiche funzionali del software MAGIC® attraverso il confronto con software già esistenti e di comprovata validità e con rilievi sperimentali.

Il confronto si sviluppa in tre parti:

- 1) verifica del modulo bidimensionale
- 2) verifica del modulo tridimensionale
- 3) verifica del modulo tridimensionale di configurazioni impiantistiche con particolare riferimento al trasformatore di potenza

Le principali caratteristiche del software MAGIC® sono:

- a) software bi-tridimensionale
- b) integrazione della formula di Biot-Savart
- c) dominio infinito (nessuna condizione al contorno necessaria)
- d) trascurati effetti di mitigazione del campo dovuto a schermatura di fatto (analisi conservativa)
- e) sovrapposizione degli effetti
- f) analisi in regime simbolico (calcolo dei moduli e delle fasi)

Il software è stato sviluppato da tecnici specializzati con la collaborazione e la supervisione di docenti e ricercatori del Politecnico di Torino – Dipartimento Energia (prof. Aldo Canova e Ing. Luca Giaccone).

2. Verifica del modulo bidimensionale

La verifica del modulo bidimensionale è stata condotta mediante confronto con la formulazione analitica, come indicato dalla CEI 211-04, e mediante confronto con un codice di calcolo sviluppato dal CESI.

2.1. Confronto con CEI 211-04

Una possibile validazione del programma utilizzato può essere effettuata confrontando il campo calcolato con il programma stesso e quello calcolato per via analitica, secondo le norme CEI 211-4 paragrafo 4.3, su di un caso in cui questa seconda procedura è applicabile in modo esatto. Tale caso si riferisce ad un sistema di conduttori rettilinei, paralleli e indefiniti.

Sotto queste ipotesi l'induzione magnetica B è data dall'espressione:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=1}^N \frac{\vec{I}_k}{d_k} \vec{u}_l \times \vec{u}_r$$

in cui N è il numero dei conduttori, d è la distanza tra il conduttore k -esimo e il punto di calcolo; i vettori \vec{u}_l e \vec{u}_r indicano, rispettivamente, il verso della corrente e della relativa normale; \times indica il prodotto vettoriale.

In particolare è stato analizzato il caso, che verrà riportato successivamente, relativo ad una linea a doppia terna su semplice palificazione con corrente di 310 A. Come si può osservare dalla figura 1, le due curve sono praticamente coincidenti.

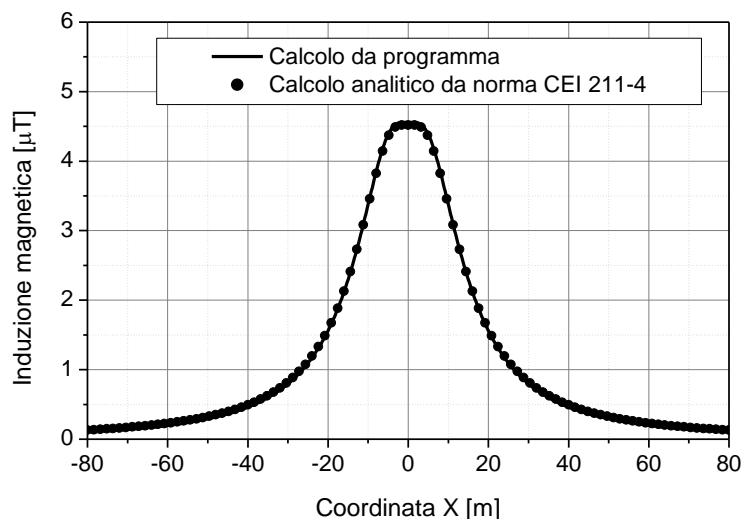


Figure 1 Induzione magnetica al suolo in prossimità di una linea aerea a doppia terna su semplice palificazione con corrente di 310: confronto tra MAGIC® e formula analitica CEI 211-4

Come si può osservare il profilo di induzione magnetica ottenuto dal software MAGIC® coincide esattamente con i punti calcolati mediante la formula analitica CEI 211-4.

2.2. Confronto con codice CESI

L'analisi del campo magnetico prodotto è stata condotta su due terne trifase di cavi affiancate. Le sezioni di affiancamento riguardano (Fig. 2):

- Buca giunti (interasse 70 cm e livello di interrimento pari a 1.25 m)
- Formazione piana (interasse 35 cm e livello di interrimento pari a 1.25 m)
- Distanza tra le due terne: 4m

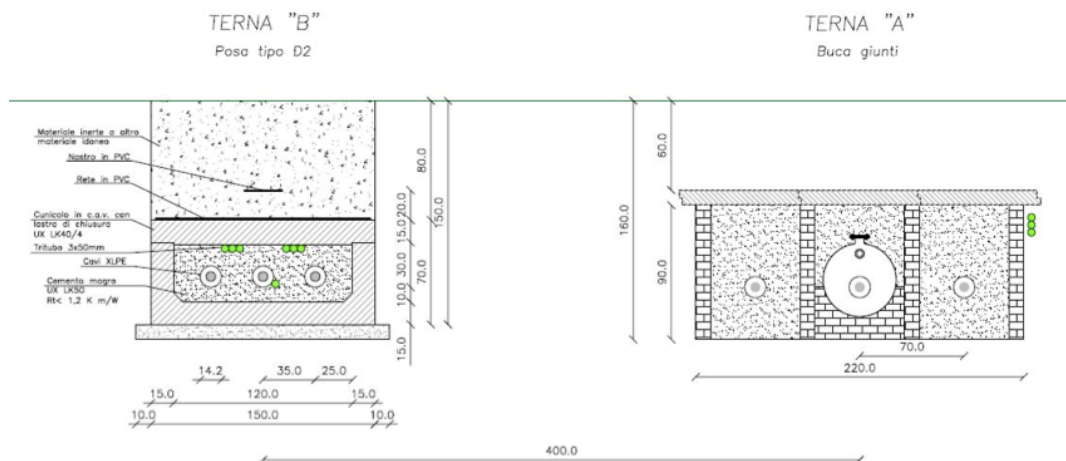


Figure 2 Affiancamento tra due linee interrate AT

Condizioni di carico e relazioni di fase:

- Terna B: $I_{eff} = 1500 \text{ A}$ (RST)
- Terna A: $I_{eff} = 1500 \text{ A}$ (TSR)

La configurazione analizzata mediante il codice sviluppato dal CESI porta alla distribuzione di campo riportata in Figura 3.

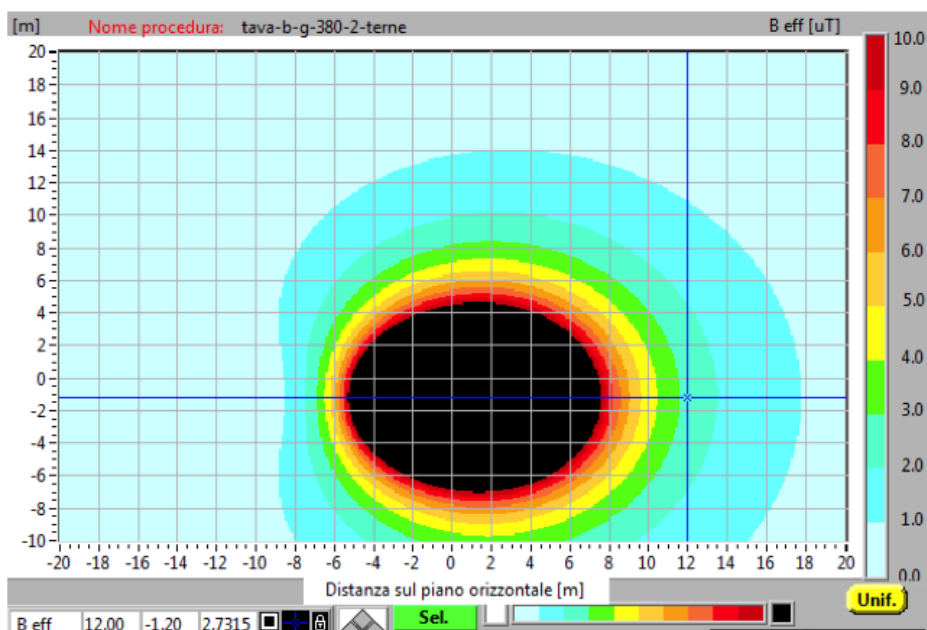


Figure 3 Mappa cromatica delle induzioni magnetiche calcolata mediante software CESI

La stessa configurazione è stata analizzata mediante il codice MAGIC® e può essere studiata attraverso due possibili funzioni messe a disposizione dal software:

- Terne parallele
- Multiconduttori 2D

In questo documento verrà utilizzato il Multiconduttore 2D (Fig. 4) che permette di definire un sistema di N conduttori posizionati arbitrariamente in cui viene applicata una corrente arbitraria.

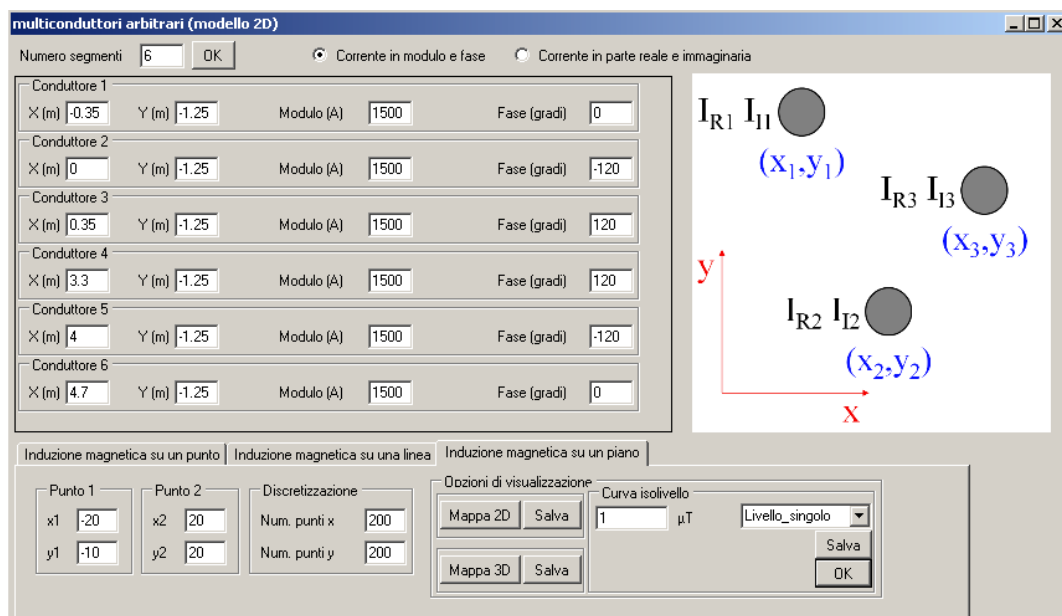


Figure 4 Schermata di ingresso modulo “multiconduttori arbitrari (modello 2D)”: dati definizione geometria e sorgenti

Nella seguente Fig. 5 è riportata la “geometria” del sistema che può essere visualizzata al termine dell’inserimento dati.

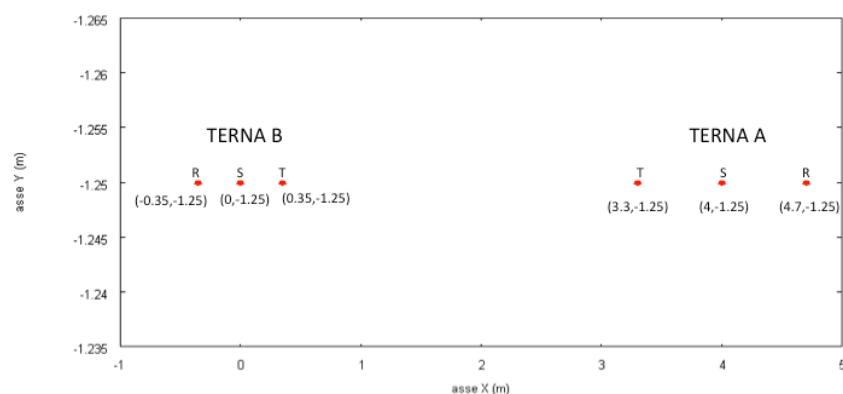


Figure 5 Geometria sorgenti

In Fig. 6 è riportata la mappa cromatica dell’induzione magnetica ottenuta dal software MAGIC® (valori in microT):

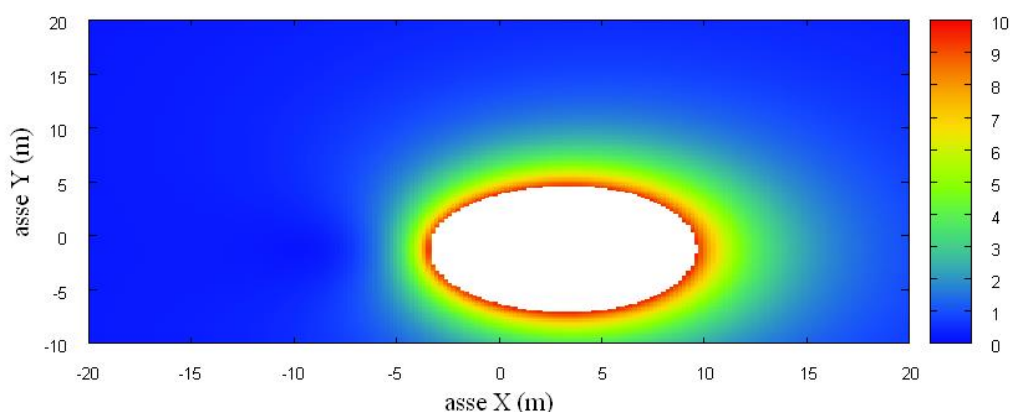


Figure 6 Mappa cromatica dell’induzione magnetica ottenuta dal software MAGIC® (valori in microT):

In Fig. 7 sono riportate le linee isolivello dell'induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) visualizzabili dal software MAGIC®.

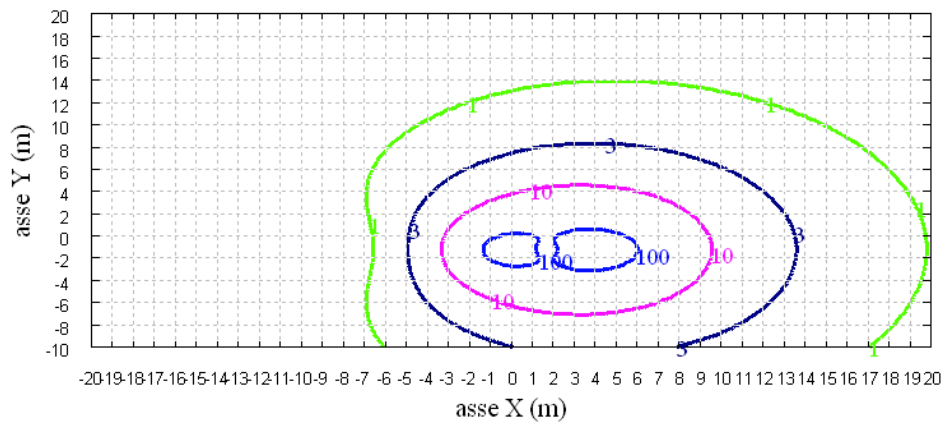


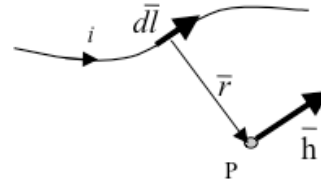
Figure 7 Linee isolivello dell'induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) da software MAGIC®

Come si può osservare le mappe cromatiche dei due modelli risultano essere in perfetto accordo.

3. Verifica del modulo tridimensionale

Il modulo tridimensionale del MAGIC® si basa principalmente sull'integrazione della formula di Biot-Savart:

$$\vec{h} = \int \frac{i d\vec{l} \wedge \vec{r}}{4\pi r^2}$$



Nelle configurazioni impiantistiche si ha spesso a che fare con fasci di cavi che il cui profilo copre percorsi approssimabili con buona precisione a delle spezzate tridimensionali. Ogni spezzata è quindi modellabile mediante una successione di segmenti opportunamente orientati nello spazio. Ne consegue che, sapendo valutare il campo di un segmento arbitrariamente orientato nello spazio, è possibile calcolare il campo prodotto da un fascio di cavi mediante la sovrapposizione degli effetti di tutti i segmenti costituenti il fascio.

3.1. Campo prodotto da un segmento finito arbitrariamente orientato

Si consideri il segmento rappresentato nella Fig. 8.

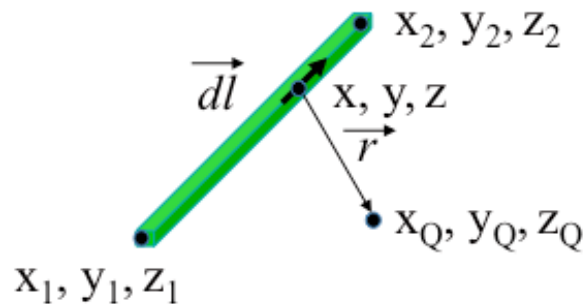


Figure 8 Modello del segmento.

L'equazione del segmento in forma parametrica diventa la seguente:

$$\begin{cases} x = x_1 + (x_2 - x_1)t \\ y = y_1 + (y_2 - y_1)t \\ z = z_1 + (z_2 - z_1)t \end{cases}$$

Si consideri inoltre che:

$$\vec{r} = (x_Q + x)\vec{a}_x + (y_Q + y)\vec{a}_y + (z_Q + z)\vec{a}_z$$

$$d\vec{l} = dx\vec{a}_x + dy\vec{a}_y + dz\vec{a}_z$$

Facendo le opportune sostituzioni, la formula di Biot-Savart può essere risolta conducendo ad una formula chiusa per il calcolo delle tre componenti di campo H_x , H_y e H_z (ovvero B_x , B_y e B_z). L'integrazione, sebbene sia macchinosa e porti ad espressioni analitiche poco compatte, può essere semplicemente risolta mediante l'utilizzo di un processore simbolico. Per tutti i dettagli circa l'integrazione si consideri la seguente referenza:

Canova A.; F. Freschi; M. Repetto; M. Tartaglia, (2005), *Description of Power Lines by Equivalent Source System*. In: *COMPEL*, vol. 24, pp. 893-905. - ISSN 0332-1649

3.2. Validazione sperimentale del modulo tridimensionale

In Fig. 9 viene rappresentata una spira costituita da 4 conduttori rettilinei che ben rappresenta una sorgente di tipo tridimensionale.

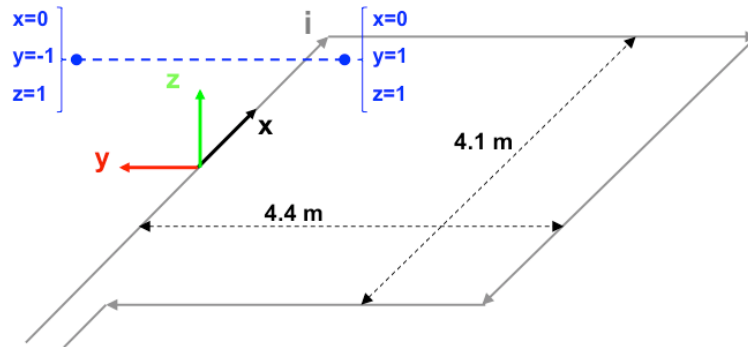


Figure 9 Schema di spira quadrata.

Nella stessa immagine viene rappresentata una linea di confronto con le seguenti caratteristiche:

- È posta a 1 m da terra → $z = \text{costante} = 1\text{ m}$
- Si estenda lungo l'asse y → $x = \text{costante} = 0\text{ m}$
- E' lunga due metri: → y minimo = -1 m, y massimo = 1 m

Su tale linea di confronto sono state eseguite delle misure sperimentali mediante sistema composto da sonda PMM-EHP50 C le cui caratteristiche sono riportate nel seguente elenco:

- Range di frequenze 5Hz – 100 kHz
- Range di campo elettrico 0.01 V/m – 100 kV/m
- Range di campo magnetico 1 nT – 10 mT
- Risoluzione 0.01 V/m - 1 nT
- Tempo di campionamento 30, 60 sec
- Massima acquisizione 1600 ore con acquisizione ogni 60 sec.
- SPAN 100, 200,500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 10 kHz, 100 kHz

Viene infine eseguito il confronto tra misure sperimentali e calcolo eseguito mediante software MAGIC®. I risultati di confronto sono riassunti nella seguente figura.

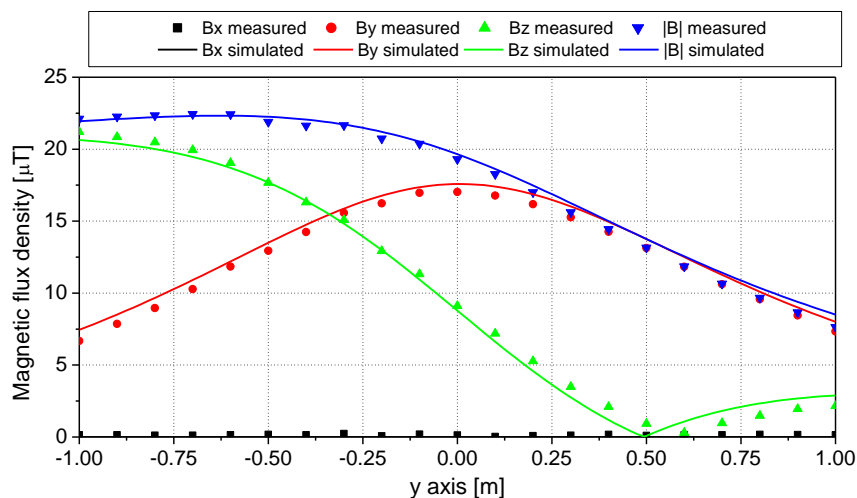


Figure 10 Induzione magnetica misurata e calcolata mediante software MAGIC®.

Si dimostra quindi che le misure sperimentali sono in perfetto accordo con il modello implementato nel software MAGIC®.

4. Verifica del modulo tridimensionale:trasformatore di potenza

In questa sezione vengono riportati i principali risultati ottenuti utilizzando il software MAGIC® nella simulazione dei campi generati da un trasformatore in resina (il trasformatore in olio rappresenta una situazione semplificata rispetto a quello in resina).

La validazione è condotta in due step:

- Verifica del modello MAGIC della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method)
- Verifica del modello MAGIC del trasformatore completo con misure sperimentali

Maggiore dettaglio sui confronti sono riportati nella seguente referenza:

A. Canova, L. Giaccone, M. Manca, R. Turri, P. Casagrande, “Simplified power transformer models for environmental magnetic impact analysis”, 2° Int. Conf. on EMF-ELF, Paris, 24-25 Marzo 2011.

4.1. Verifica del modello MAGIC® della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method)

MAGIC® propone due diversi modelli per il trasformatore: il primo di tipo semplificato e valido a partire da circa 0.5-1m dal trasformatore, il secondo più rigoroso valido anche a piccole distanze dal trasformatore. Nel seguito i due modelli verranno indicati come Modello 1 e Modello 2.

Un primo confronto tra i due modelli è stato effettuato con un codice agli elementi finiti (FEMM) di tipo assialsimmetrico. In Figura 11 sono riportate le principali dimensioni del caso analizzato: avvolgimento primario e secondario di un trasformatore di 630 kVA in resina e l’indicazione delle linee di calcolo.

Nei calcoli che seguono i due avvolgimenti sono caratterizzati dalle stesse amperspire in opposizione ($N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2$) e verranno considerate, come sorgenti, le correnti nominali.

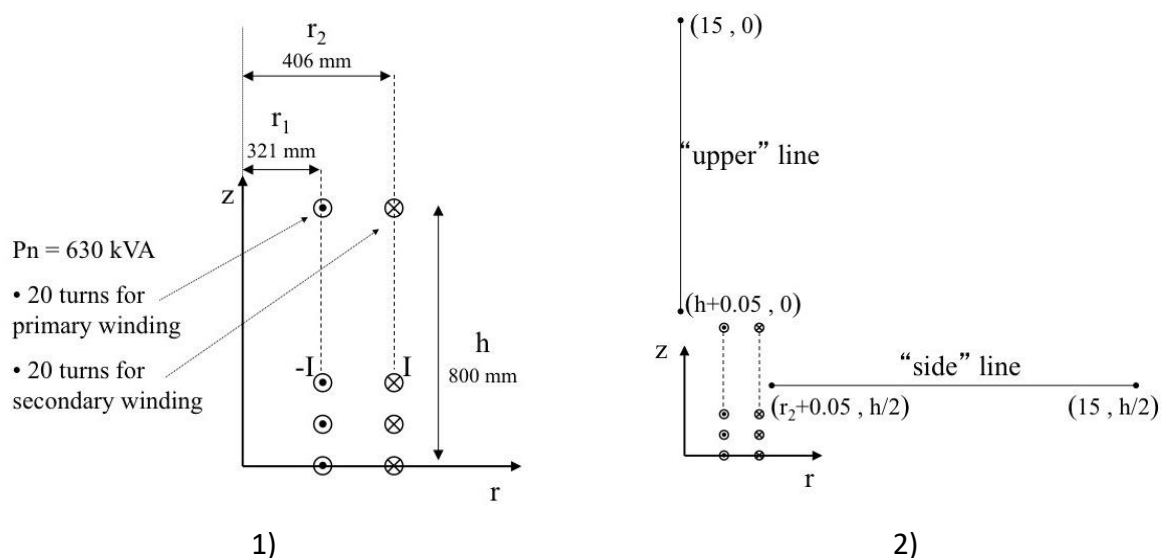


Figure 11 Geometria del sistema (1) e linee di calcolo (2)

Le Fig. 12 e 13 mostrano, rispettivamente, i valori di induzione magnetica lungo la linea ad 1m dal lato degli avvolgimenti e lungo la linea ad 1.5 m sopra gli avvolgimenti. Le figure mettono a confronto il “modello 1 e 2” ed il calcolo, assunto come riferimento, effettuato mediante codice FEM.

Si può osservare un ottimo accordo tra i “modelli 1 e 2” adottati nel MAGIC® lungo entrambe le linee mentre per distanze inferiori al metro il modello semplificato, con particolare riferimento al campo lungo la linea verticale, risulta portare a delle discrepanze significative. Per tali distanze è pertanto conveniente utilizzare il “modello 2” che risulta più accurato a spese di un maggiore peso computazionale (nell’ordine comunque delle decine di secondi).

I modelli inseriti nel MAGIC® sono inoltre confrontati con il modello proposto da un altro software commerciale (EFC-400) che verrà denominato “Modello 3”. Tale modello è basato sull’ipotesi che il campo magnetico disperso, essendo correlato con la reattanza di dispersione del trasformatore, risulta quantitativamente correlato alla tensione di corto circuito. Il modello proposto da EFC-400 è quindi costituito da un unico avvolgimento (che sintetizza il primario ed il secondario) percorso da una corrente ridotta, rispetto alla corrente nominale, secondo la seguente formula:

$$I = I_R \cdot \frac{V_{SC} \%}{100}$$

in cui I_R è la corrente nominale (di primario o secondario) e V_{SC} è la tensione di cortocircuito percentuale. Può essere utilizzata la corrente di primario o di secondario (I_{R1} o I_{R2}) e corrispondentemente occorre considerare le spire di primario o secondario (N_1 e N_2).

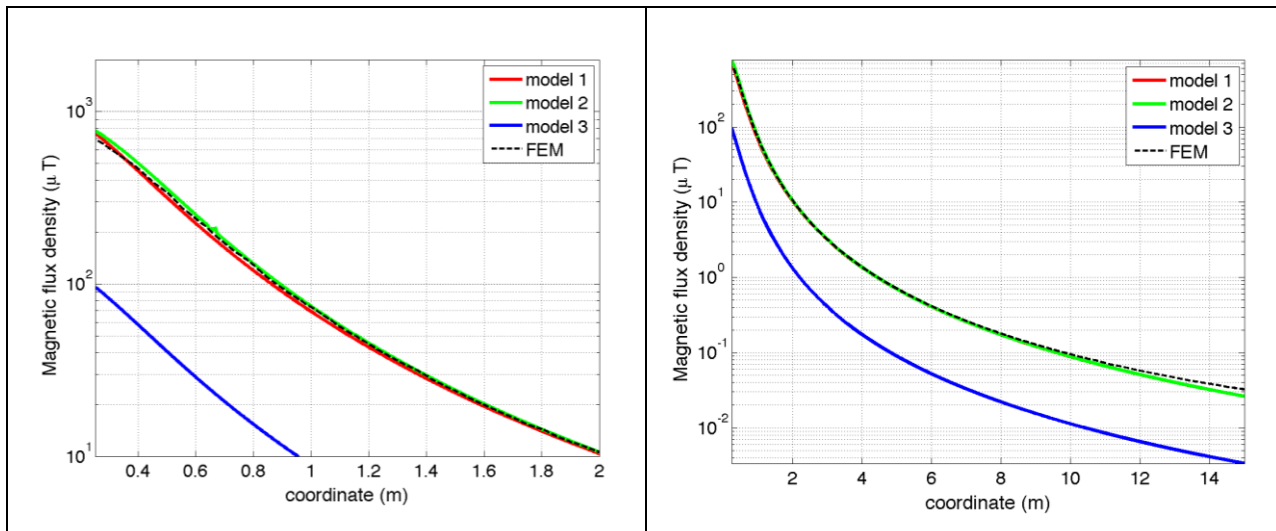


Figure 12 Induzione magnetica lungo la linea laterale

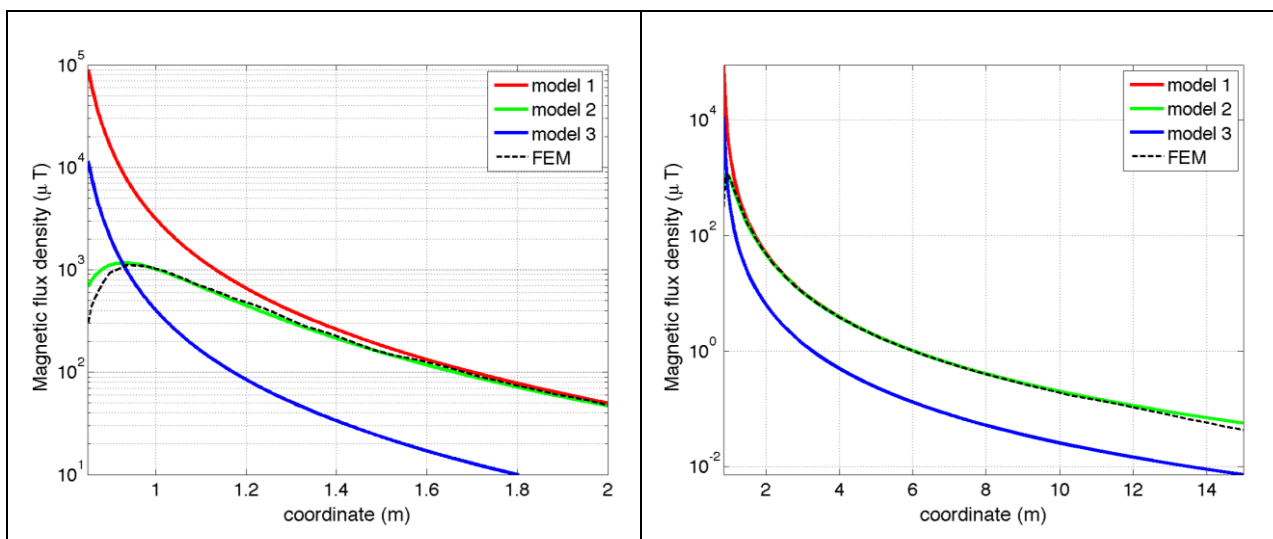


Figure 13 Induzione magnetica lungo la linea superiore

Come si può osservare dai profili di induzione magnetica il modello 3 risulta scarsamente idoneo a modellare i due avvolgimenti concentrici di primario e secondario.

4.2. Verifica del modello MAGIC® del trasformatore completo con misure sperimentali

In questo paragrafo il modelli vengono confrontati con dati sperimentali. Il caso analizzato si riferisce ad un trasformatore in resina da 630 kVA, 15kV/400V, funzionante in condizioni di corto circuito (Fig. 14). Il trasformatore viene alimentato con una tensione che fa circolare negli avvolgimenti una corrente pari al 42% della corrente nominale, si ha quindi 10.4 A di primario (lato MT) e 390 A di secondario (lato BT). Il modello del trasformatore risulta quindi completo e costituito da tutti gli avvolgimenti delle tre fasi.

Le linee di calcolo S1 ed S2 (Fig. 15) sono poste ad 1.5m dal piano di appoggio del trasformatore. E' importante sottolineare che il contributo dei terminali di BT influisce significativamente sul campo magnetico ambientale, specialmente nella direzione S1. Pertanto, l'introduzione di tali sorgenti addizionali agli avvolgimenti porta ad una riduzione degli scostamenti tra i vari modelli.

In Fig. 16 e 17 sono riportati i confronti tra le induzioni magnetiche, lungo le linee S1 ed S2, misurate e calcolate con i diversi modelli.

Come si può osservare, in particolare per la linea S2 (dove il contributo delle connessioni è trascurabile) il modello 1 ed il modello 2 approssimano in modo soddisfacente i dati sperimentali.

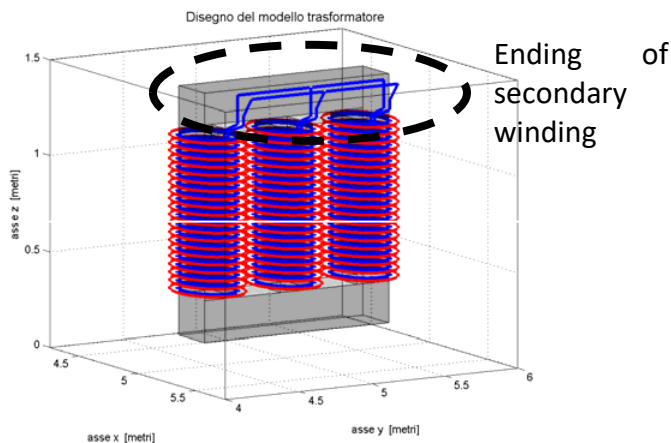


Figure 14 Connessioni elettriche considerate ai lati BT.

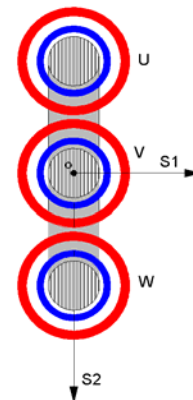


Figure 15 Linee di calcolo S1 ed S2

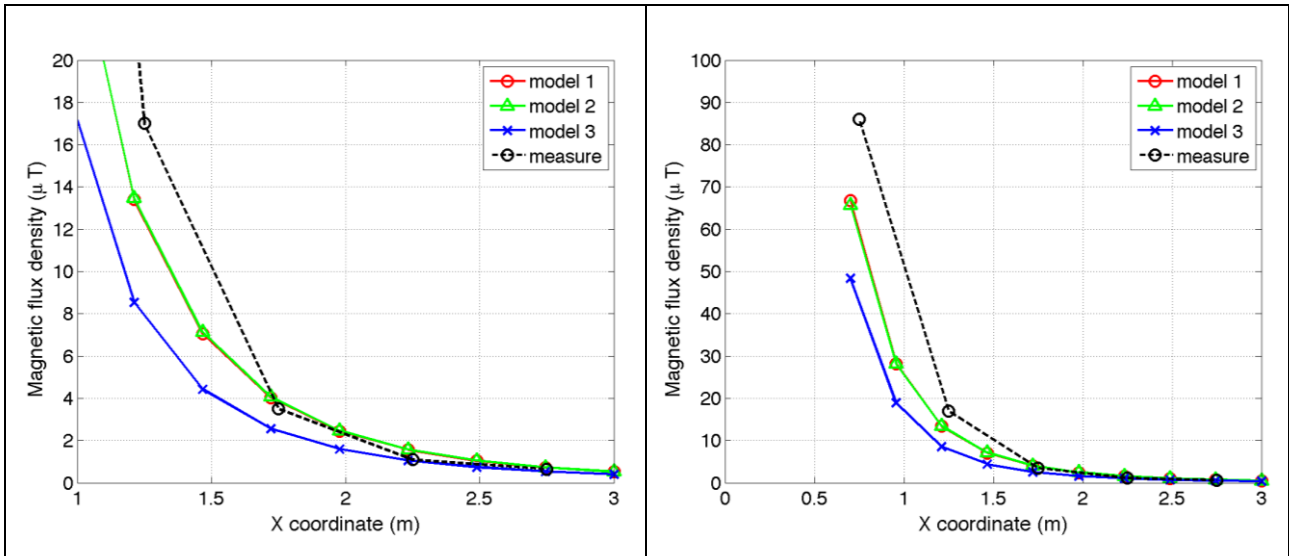


Figure 16 Confronto tra misure modelli lungo la linea S1

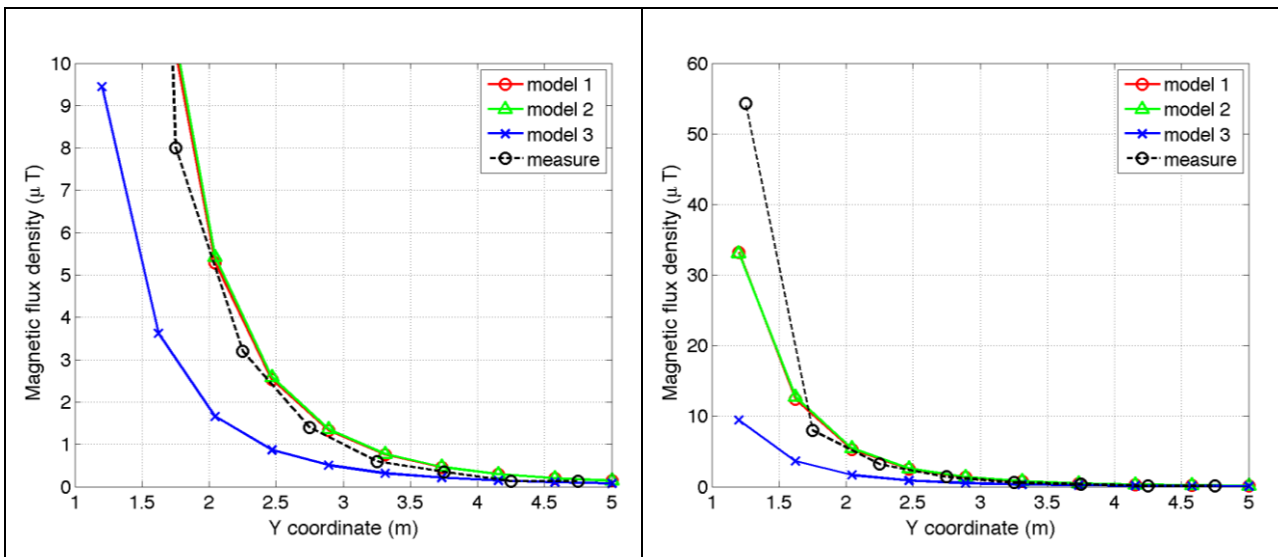


Figure 17 Confronto tra misure modelli lungo la linea S2

5. Conclusioni

Il presente documento si propone di fornire alle autorità competenti tutti gli elementi necessari affinché il software MAGIC® possa essere validato secondo quanto richiesto dal Decreto Ministeriale (160) del 29/05/2008 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”.

Come indicato nell’art. 5.1.2 (Calcolo delle fasce di rispetto per linee elettriche) del decreto del 29/05/2008, i modelli tridimensionali non sono ancora standardizzati, tuttavia un software in cui i modelli soddisfino ai seguenti requisiti indicati nel decreto:

“...i modelli utilizzati devono essere descritti in termini di algoritmi implementati, condizioni al contorno e approssimazioni attuate. Essi devono essere validati attraverso misure o per confronto con modelli che abbiano subito analogo processo di verifica. La documentazione esplicativa e comprovante i criteri di cui sopra deve essere resa disponibile alle autorità competenti ai fini dei controlli”

può essere ritenuto idoneo allo scopo e, a tal fine, è stato redatto il presente documento.

Per quanto concerne in particolare le cabine elettriche, la complessità delle sorgenti in esame richiede una valutazione accurata che tenga conto principalmente della tridimensionalità delle singole sorgenti e l’effetto prodotto dalla combinazione delle stesse (sovrapposizione degli effetti). Nelle analisi precedentemente svolte sono stati analizzati e validati i principali componenti costituenti le cabine quali linee elettriche di connessione (tratti di conduttori di lunghezza finita), quadri elettrici (tratti conduttori di lunghezza finita) e trasformatori (elementi toroidali e tratti di conduttore di lunghezza finita).

Dai risultati ottenuti e presentati è quindi possibile concludere che il Software MAGIC® ha le caratteristiche per essere rispondente alle indicazioni richieste dal Decreto Ministeriale (160) del 29/05/2008, lasciando ovviamente alle autorità competenti la verifica ed il giudizio finale.