


	SITO/LOCALITA' Ravenna (RA)	N° DOC 090026-ENG-R-RD-3091	PVI: 090026	N° COMMESSA CA-RAV-000000
	TITOLO  <b>PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”</b> Relazione di calcolo delle distanze di prima approssimazione		Pag. 1 di 6	
	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE  <b>INGEA / IMPRO</b>		INDICE DI REV.  <b>00</b>

## PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”



### Relazione dei calcolo delle distanze di prima approssimazione

					
					
00	Emissione per FEED	GOLDER	IMPRO	IMPRO	22/03/2021
<b>Indice di Rev.</b>	<b>Descrizione Revisione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>
Questo documento è di proprietà Eni Rewind S.p.A. che se ne riserva tutti i diritti.					

	SITO/LOCALITA' Ravenna (RA)	N° DOC 090026-ENG-R-RD-3091	PVI: 090026	N° COMMESSA CA-RAV-000000
	TITOLO  <b>PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”</b> Relazione di calcolo delle distanze di prima approssimazione		Pag. <b>2</b> di <b>6</b>	
	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE  <b>INGEA / IMPRO</b>	INDICE DI REV.  <b>00</b>	



#### Memorandum delle revisioni

Ind. Rev.	Data	Paragrafo	Descrizione sintetica revisione

	SITO/LOCALITA' Ravenna (RA)	N° DOC 090026-ENG-R-RD-3091	PVI: 090026	N° COMMESSA CA-RAV-000000
	TITOLO  <b>PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”</b> Relazione di calcolo delle distanze di prima approssimazione		Pag. <b>3</b> di <b>6</b>	
	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE  <b>INGEA / IMPRO</b>	INDICE DI REV.  <b>00</b>	

## INDICE

<b>1</b>	<b>OGGETTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI OGGETTO DI STUDIO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DI CALCOLO.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONI DELLA RELAZIONE DI CALCOLO SPECIALISTICA.....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>ALLEGATI .....</b>	<b>6</b>

	SITO/LOCALITA' Ravenna (RA)	N° DOC 090026-ENG-R-RD-3091	PVI: 090026	N° COMMESSA CA-RAV-000000
	TITOLO  <b>PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”</b> Relazione di calcolo delle distanze di prima approssimazione		Pag. <b>4</b> di <b>6</b>	
	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE  <b>INGEA / IMPRO</b>	INDICE DI REV.  <b>00</b>	

## 1 OGGETTO

Negli allegati al presente documento sono raccolti i documenti relativi al calcolo delle distanze di prima approssimazione per gli impianti in Media Tensione a servizio della nuova piattaforma polifunzionale per il trattamento e la gestione dei rifiuti solidi di proprietà ENI Rewind, prevista in area Ponticelle Ravenna (RA).



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

Il presente documento va consultato considerando anche i documenti di progetto delle altre discipline.

## 2 DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI OGGETTO DI STUDIO

L'impianto in media tensione di stabilimento è alimentato da un POD a 15 kV da rete pubblica di distribuzione ed è costituito da:

- N.3 cabine utente (vedere doc. 090026-ENG-B-FB-3086 “Schema a blocchi” e 090026-ENG-D-DG-3109 “Layout cabine”):
  - CB0 – Cabina ricezione e smistamento:
    - Non ha trasformatori MT/BT, solo un quadro MT.
  - CB1 – Cabina elettrica sud
    - n.1 trasformatore in resina 15/0.4 kV, 1600 kVA AN;
    - Collegamento con il power center in cavo.
  - CB2 – Cabina elettrica nord
    - n.2 trasformatori in resina 15/0.4 kV, 1600 kVA AN;
    - Collegamenti con il power center in cavo.
- Collegamento cabina Distributore - CB0:
  - n.1 terna in cavo RG7H1M1 (doc. 090026-ENG-S-ST-3103 “Specifica cavi”, pag. 10) dimensionato per 4 MVA @ 15 kV, vedere doc. 090026-ENG-C-CA-3095 “Calcolo cavi elettrici” allegato 3);
  - il cavo è completamente interrato.
- Collegamento cabine CB0 - CB1:
  - n.1 terna di cavo RG26H1M16X (doc. 090026-ENG-S-ST-3103 “Specifica cavi”, pag. 11): elicordato;
  - il cavo esce da CB0 in tubazione interrata, dopo pochi metri la posa passa sul piperack e l'ingresso in CB1 è in tubazione interrata.

	SITO/LOCALITA' Ravenna (RA)	N° DOC 090026-ENG-R-RD-3091	PVI: 090026	N° COMMESSA CA-RAV-000000
	TITOLO  <b>PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”</b> Relazione di calcolo delle distanze di prima approssimazione		Pag. <b>5</b> di <b>6</b>	
	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE  <b>INGEA / IMPRO</b>	INDICE DI REV.  <b>00</b>	

- Collegamento cabine CB0 - CB2:
  - n.2 terne (una per ciascun trasformatore) di cavo RG26H1M16X (doc. 090026-ENG-S-ST-3103 “Specifica cavi” pag. 11): elicordato;
  - i cavi escono da CB0 in tubazione interrata, dopo pochi metri la posa passa sul piperack e l'ingresso in CB2 è in tubazione interrata.

Per il posizionamento delle cabine e delle vie cavo principali vedere il documento 090026-ENG-D-DG-3102 “Planimetria percorso cavi”.

### 3 METODOLOGIA DI CALCOLO



Il calcolo delle DPA è stato sviluppato sulla base delle caratteristiche degli impianti (riassunte sommariamente al par. 2 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).

### 4 CONCLUSIONI DELLA RELAZIONE DI CALCOLO SPECIALISTICA

Per comodità, di seguito, si riportano le conclusioni della relazione di calcolo (par. 5 dell'allegato 1).

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

- le aree attigue alla Cabina di Consegna CB0, all'esterno della stessa, sono caratterizzate da livelli di induzione magnetica inferiori ai 100 $\mu$ T. Pertanto non risultano necessarie opere di mitigazione del campo propagato in queste direzioni;
- le aree attigue alla Cabina di Trasformazione CB1, all'esterno della stessa, sono caratterizzate da livelli di induzione magnetica inferiori ai 100 $\mu$ T. Pertanto non risultano necessarie opere di mitigazione del campo propagato in queste direzioni;
- le aree attigue alla Cabina di Trasformazione CB2, all'esterno della stessa, sono caratterizzate da livelli di induzione magnetica inferiori ai 100 $\mu$ T. Pertanto non risultano necessarie opere di mitigazione del campo propagato in queste direzioni;
- La DPA della linea MT in ingresso al Locale Consegna CB0 è pari a 0,8m. Le curve isolivello dei 3 $\mu$ T e dei 100  $\mu$ T sono interamente contenute al di sotto del piano di calpestio, pertanto i limiti risultano rispettati al suolo;
- la DPA del Locale Consegna CB0 risulta pari a 0,9m;
- la DPA della Cabina di Trasformazione CB1 risulta pari a 2,6m;

	SITO/LOCALITA' Ravenna (RA)	N° DOC 090026-ENG-R-RD-3091	PVI: 090026	N° COMMESSA CA-RAV-000000
	TITOLO  <b>PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”</b> Relazione di calcolo delle distanze di prima approssimazione		Pag. <b>6</b> di <b>6</b>	
	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE  <b>INGEA / IMPRO</b>		INDICE DI REV.  <b>00</b>


- la DPA della Cabina di Trasformazione CB2 risulta pari a 2,8m;

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

## 5 ALLEGATI

Allegato 1: Relazione di calcolo specialistica

Allegato 2: Documento di validazione del software

	SITO/LOCALITA' Ravenna (RA)	N° DOC 090026-ENG-R-RD-3091	PVI: 090026	N° COMMESSA CA-RAV-000000
	TITOLO  <b>PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”</b> Relazione di calcolo delle distanze di prima approssimazione Allegato 1 – Relazione di calcolo specialistica			Pag. 1 di 2
	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE  <b>INGEA / IMPRO</b>		INDICE DI REV.  <b>00</b>



## PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”

### Relazione dei calcolo delle distanze di prima approssimazione

#### Allegato 1

#### Relazione di calcolo specialistica

					
					
00	Emissione per FEED	GOLDER	IMPRO	IMPRO	22/03/2021
<b>Indice di Rev.</b>	<b>Descrizione Revisione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>
Questo documento è di proprietà Eni Rewind S.p.A. che se ne riserva tutti i diritti.					

	SITO/LOCALITA' Ravenna (RA)	N° DOC 090026-ENG-R-RD-3091	PVI: 090026	N° COMMESSA CA-RAV-000000
	TITOLO  <b>PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”</b> Relazione di calcolo delle distanze di prima approssimazione Allegato 1 – Relazione di calcolo specialistica			Pag. <b>2</b> di <b>2</b>
	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE  <b>INGEA / IMPRO</b>		INDICE DI REV.  <b>00</b>

## Memorandum delle revisioni

Ind. Rev.	Data	Paragrafo	Descrizione sintetica revisione





# **Valutazione di Impatto Ambientale Cabine Consegna e Trasformazione Piattaforma Bio-Recupero Ponticelle – Ravenna**

**Rifer.: 20210309 Area Ponticelle - Ravenna**

*N° di pagine totali: 21*

**Protocollo: SPT/21/056**

**Data: 15/03/2021**





## Sommario

1. Premessa .....	2
2. Layout architettonico .....	4
3. Definizione dei limiti di esposizione nei locali circostanti le cabine elettriche .....	8
4. Modello MAGIC .....	9
5. Conclusioni .....	21

## 1. Premessa

La presente relazione riporta lo studio di induzione magnetica, generata dall'insieme di infrastrutture elettriche presenti all'interno delle Cabine di Consegna CB0 e di Trasformazione CB1 e CB2 della Piattaforma Bio-Recupero Ponticelle presso loc. Ponticelle a Ravenna.

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);
- **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);
- **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;
- **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.”;
- **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;
- **Guida CEI 211-4 (2008)**, “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche”;
- **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”;
- **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;
- **Norma CEI EN 61000-4**, Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4

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  $\mu$ T** esposizione **istantanea**, valore imposto dal DPCM 8 Luglio 2003 – Art. 3;

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

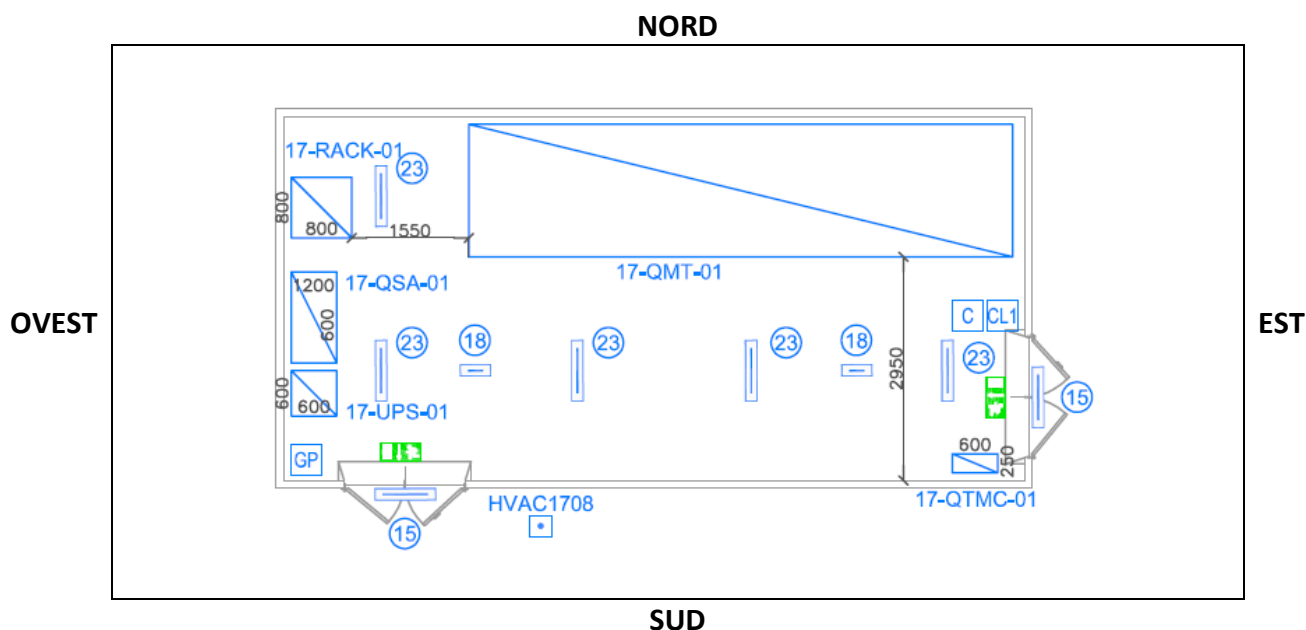
In presenza di ambienti particolarmente sensibili, potrebbe essere esplicitamente richiesto dalla committenza una ulteriore riduzione del valore limite imposto dall'obiettivo di qualità per scopi cautelativi.

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**) corredata da commenti conclusivi sui valori di campo magnetico dedotti dalle simulazioni (**5 Conclusioni**).

## 2. Layout architettonico

Nelle Figure 1, 2 e 3 si riportano, rispettivamente, le piante dei Locali Cabina Consegna CB0 e delle Cabine di Trasformazione CB1 e CB2, con indicazione della disposizione dei componenti elettrici presenti all'interno degli stessi.

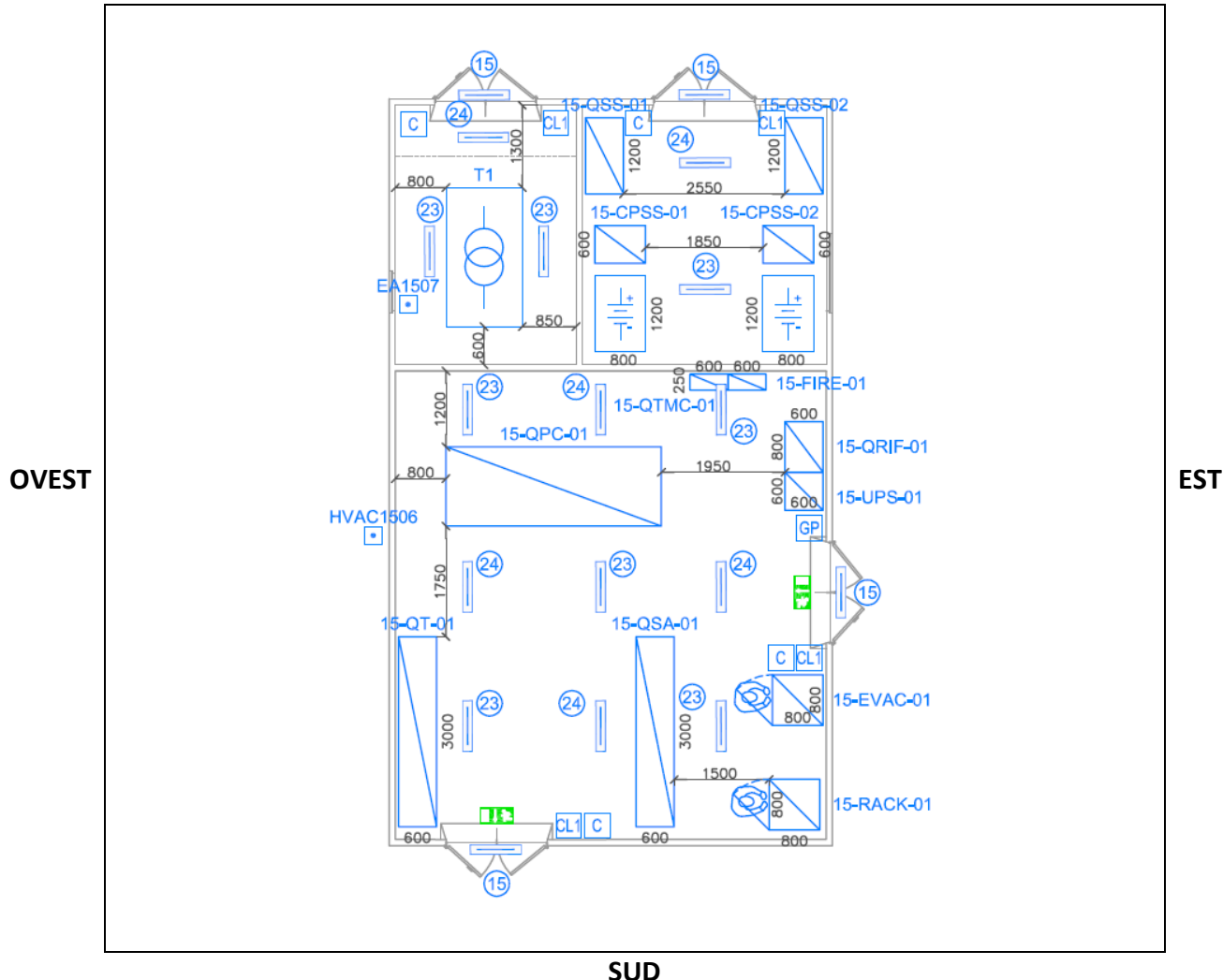


**Figura 1 Pianta della Cabina Consegna CB0**

All'interno del Locale Cabina Consegna CB0 è presente un Quadro di media tensione con 8 celle. A scopo cautelativo, rispetto al valore di potenza in consegna 4 MW ricevuto dalla Committenza, la corrente in ingresso considerata è pari alla somma delle correnti assorbite dai 3 trasformatori da 1600kVA 15/0,4kV situati nelle Cabine a valle del Locale Consegna CB0, per un totale di 185 A (lato MT).

La linea MT in ingresso al Locale Consegna CB0 verrà valutata in un paragrafo dedicato; le linee MT di collegamento tra la Cabina Consegna CB0 e le Cabine di Trasformazione CB1 e CB2 avranno posa elicordata dei cavi per l'intero percorso all'esterno delle Cabine di trasformazione, pertanto il loro contributo al campo magnetico indotto sarà ritenuto trascurabile. Il tratto di percorso all'interno delle Cabine CB1 e CB2 verrà valutato insieme alle altre sorgenti presenti nelle stesse nei paragrafi dedicati.

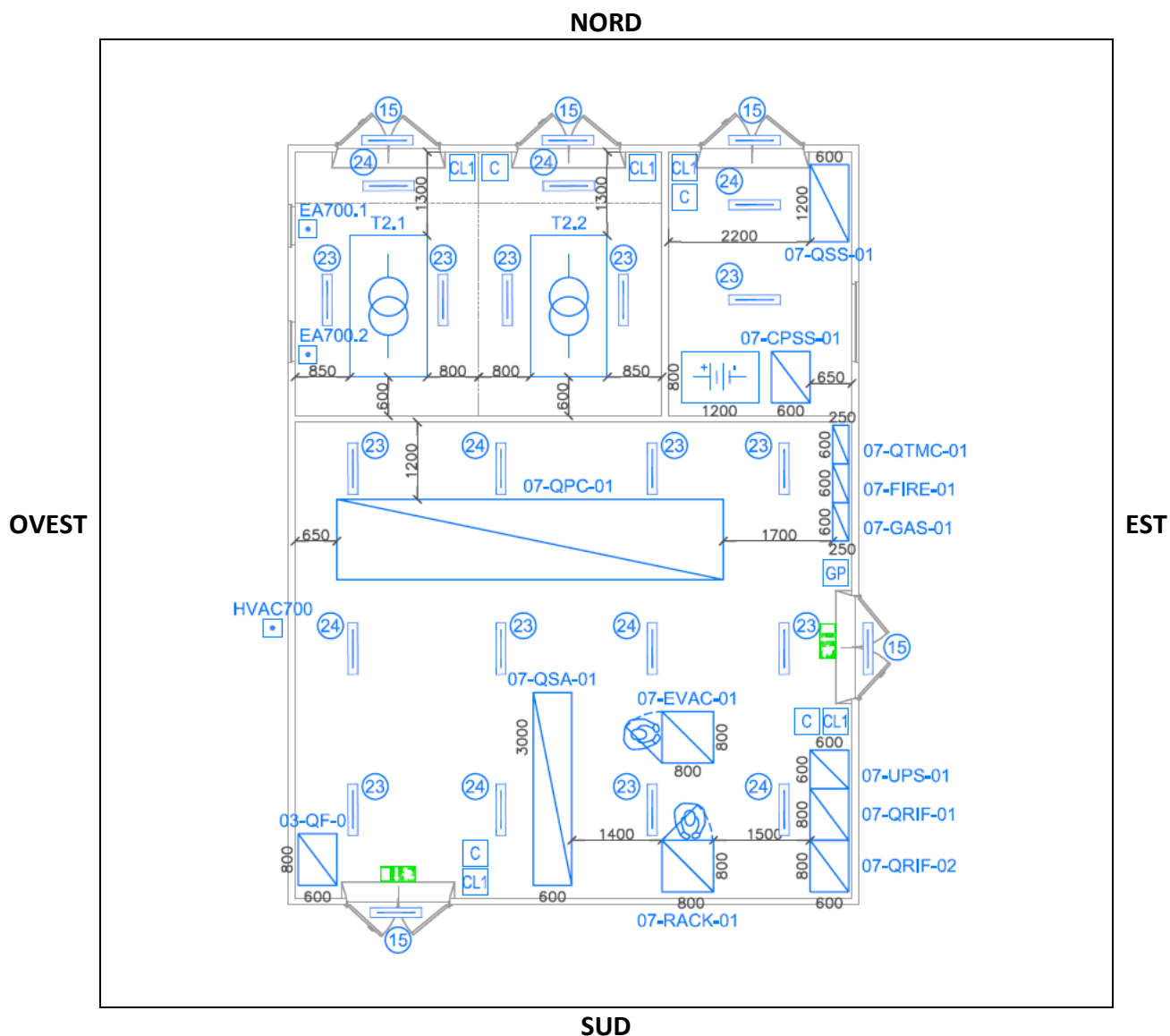
**NORD**



**Figura 2 Pianta delle Cabina di Trasformazione CB1**

Le apparecchiature elettriche presenti nel Locale Cabina di Trasformazione CB1, caratterizzate da valori di corrente non trascurabili ai fini delle valutazioni del campo magnetico, sono:

- n.1 Trasformatore MT/BT da 1600 kVA 15/0,4kV isolato in resina, con il lato BT rivolto verso Est;
- n.1 Quadro generale di bassa tensione Power Center;
- n.1 Linea MT di collegamento tra il quadro di media tensione della Cabina di Consegna e il trasformatore, con passaggio cavi a pavimento;
- n.1 Linea BT di collegamento tra il trasformatore e il quadro BT, con passaggio cavi a pavimento.



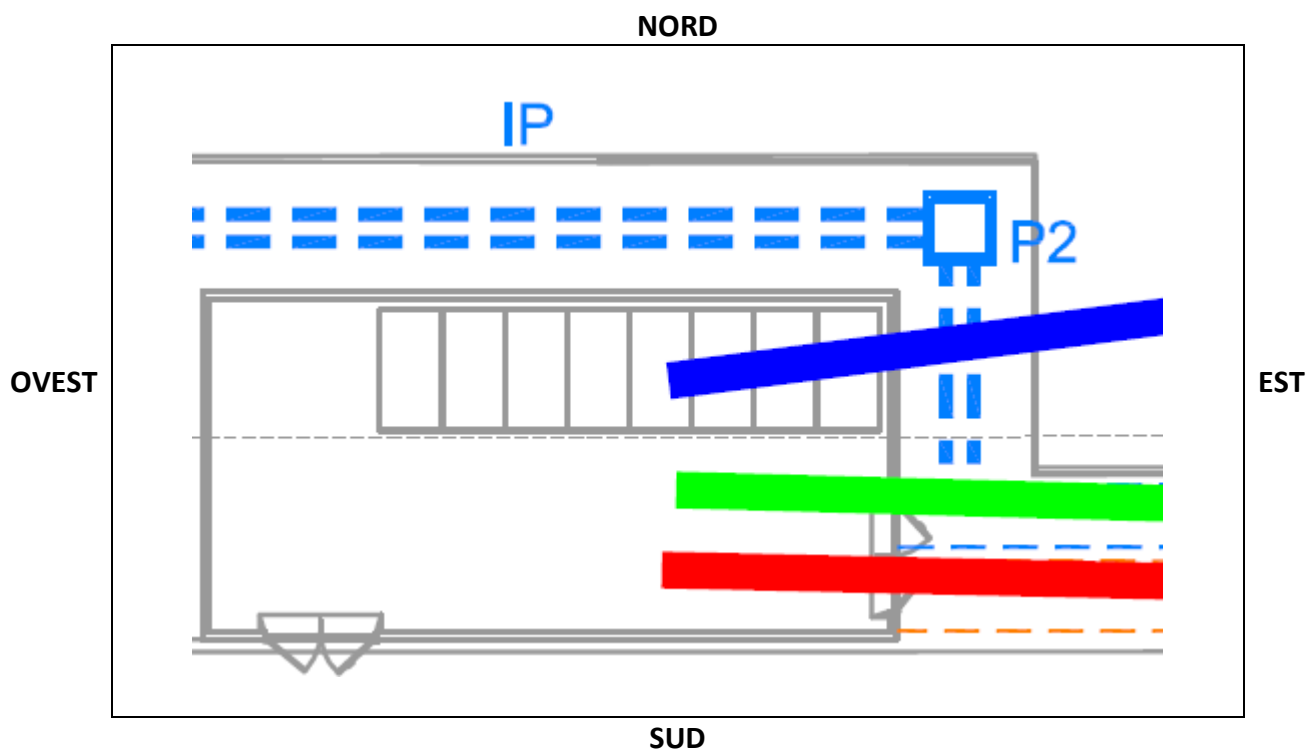
**Figura 3 Pianta delle Cabina di Trasformazione CB2**

Le apparecchiature elettriche presenti nel Locale Cabina di Trasformazione CB1, caratterizzate da valori di corrente non trascurabili ai fini delle valutazioni del campo magnetico, sono:

- n.2 Trasformatori MT/BT da 1600 kVA 15/0,4kV isolati in resina, con i lati BT rivolti verso Est;
- n.1 Quadro generale di bassa tensione Power Center;
- n.2 Linee MT di collegamento tra il quadro di media tensione della Cabina di Consegna e i trasformatori, con passaggio cavi a pavimento;
- n.1 Linee BT di collegamento tra i trasformatori e il quadro BT, con passaggio cavi a pavimento.



Nella Figura 4 si riporta in blu il percorso della linea MT in arrivo al Locale Consegna CB0.



**Figura 4 Percorso Linea MT (in blu) in arrivo al Locale Consegna CB0**

La linea è stata simulata per il tratto esterno alla Consegna Cabina CB0 considerando le seguenti indicazioni ricevute dalla Committenza:

- interramento minimo di 1m;
- posa dei cavi a trifoglio accorpato (non elicordati);
- sezione conduttore 95mmq, interasse cavi 33mm (pari a diametro);
- Corrente massima 185A, valore cautelativo rispetto alla potenza di 4MW prevista in consegna dalla committenza; il valore di corrente considerato è pari alla corrente massima assorbita a pieno carico dai 3 trasformatori da 1600kVA 15/0,4kV situati nelle Cabine a valle del Locale Consegna CB0;
- Il contributo delle altre linee MT, con posa elicordata dei cavi, è stato ritenuto trascurabile.

### **3. Definizione dei limiti di esposizione nei locali circostanti le cabine elettriche**

Dalle informazioni ricevute, nelle immediate vicinanze delle Cabine e nelle aree sovrastanti la linea MT in ingresso al Locale Consegna sono presenti aree di passaggio accessibili a popolazione (e a lavoratori non professionalmente esposti al rischio CEM), pertanto dovranno essere garantiti valori di induzione magnetica al di sotto del limite di  $100\mu\text{T}$  all'esterno delle stesse.

Lo scopo della presente valutazione è il calcolo della DPA, massima estroflessione della curva isolivello dei  $3\mu\text{T}$  (obiettivo di qualità, secondo il DPCM 8 luglio 2003 – Art. 4) all'esterno delle Cabine. Per ogni Cabina verranno pertanto calcolati e riportati i valori della DPA.

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 (non oggetto della presente Valutazione).

Non risultano esistenti Locali sottostanti o sovrastanti le Cabine, pertanto non risultano necessarie ulteriori valutazioni in queste direzioni.

## 4. Modello MAGIC

Nelle Figure 4, 5, 6, 7, 8 e 9 viene presentato, rispettivamente, il layout in pianta e 3D delle Cabine di Consegna CB0 e di Trasformazione CB1 e CB2 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.

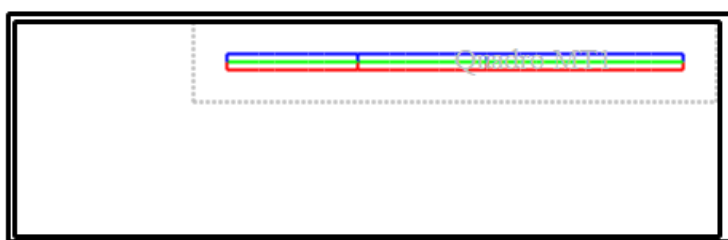


Figura 4 Layout della Cabina di Consegna CB0 – vista in pianta

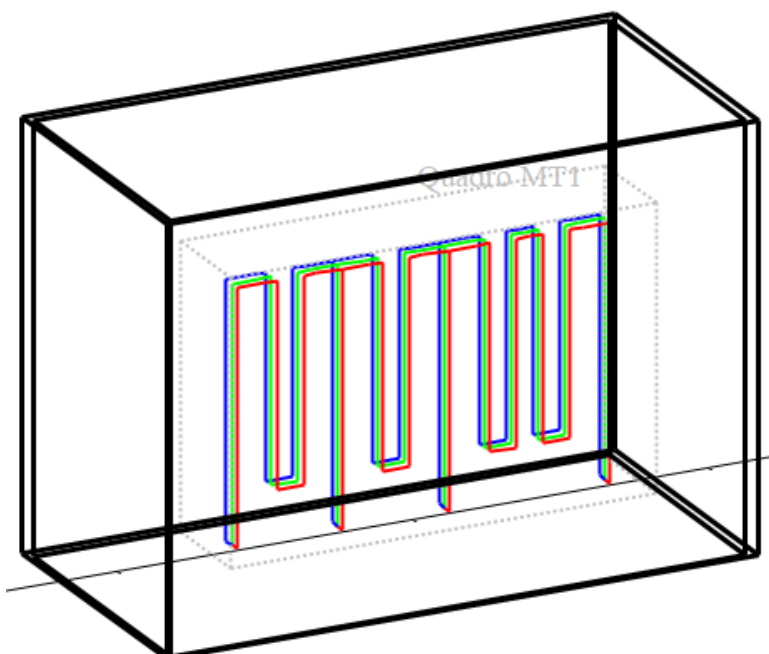
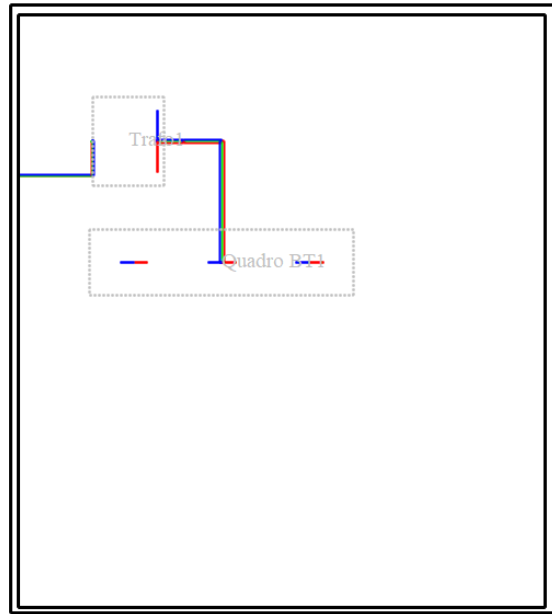
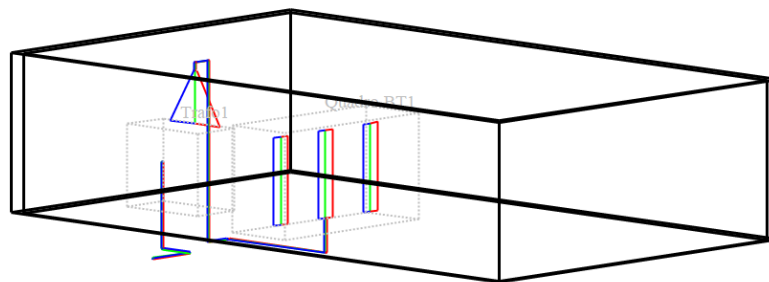


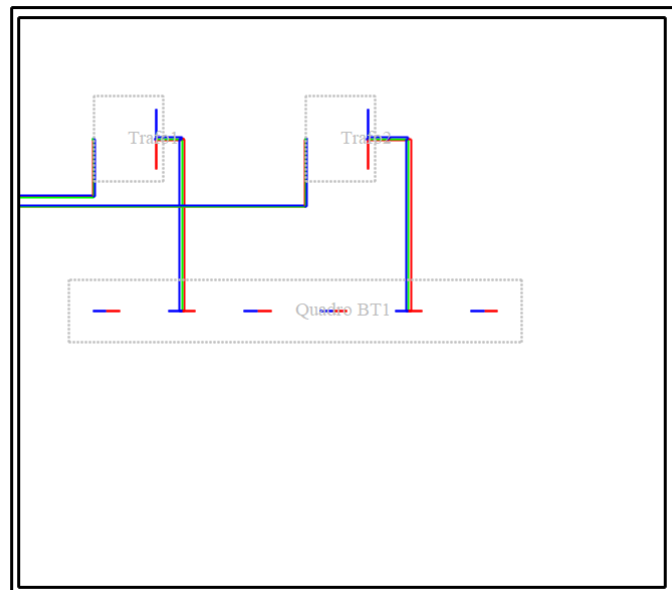
Figura 5 Layout della Cabina di Consegna CB0 – vista 3D



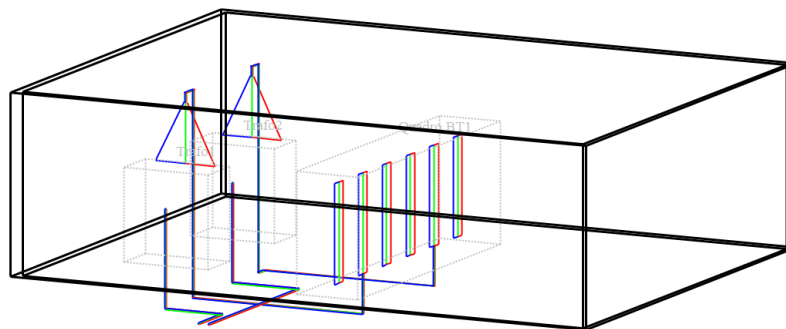
**Figura 6 Layout della Cabina di Trasformazione CB1 – vista in pianta**



**Figura 7 Layout della Cabina di Trasformazione CB1 – vista 3D**



**Figura 8 Layout della Cabina di Trasformazione CB2 – vista in pianta**

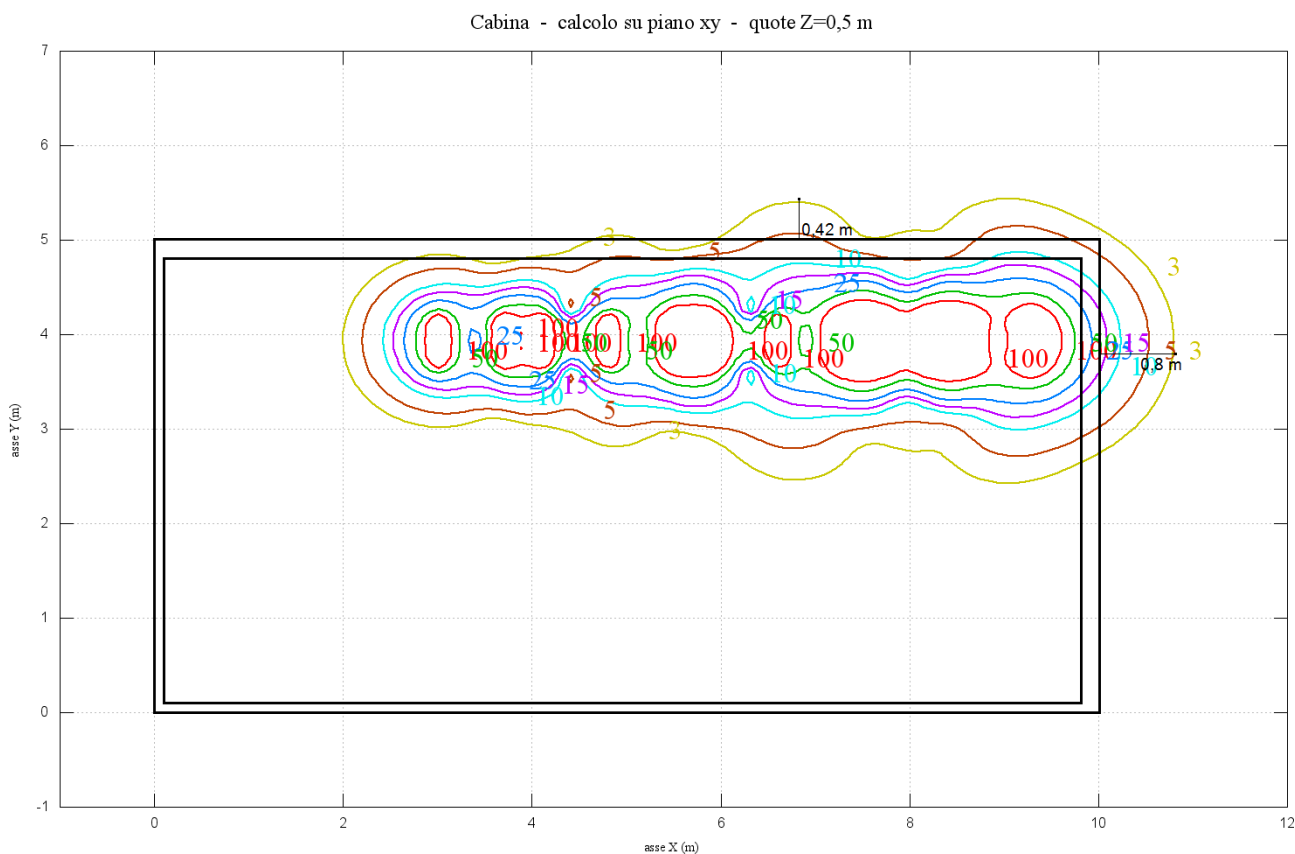


**Figura 9 Layout della Cabina di Trasformazione CB2 – vista 3D**

Di seguito vengono analizzati i valori di induzione magnetica generati dalle Cabine, in assenza di opere di mitigazione del campo magnetico indotto, nelle aree attigue alle stesse.

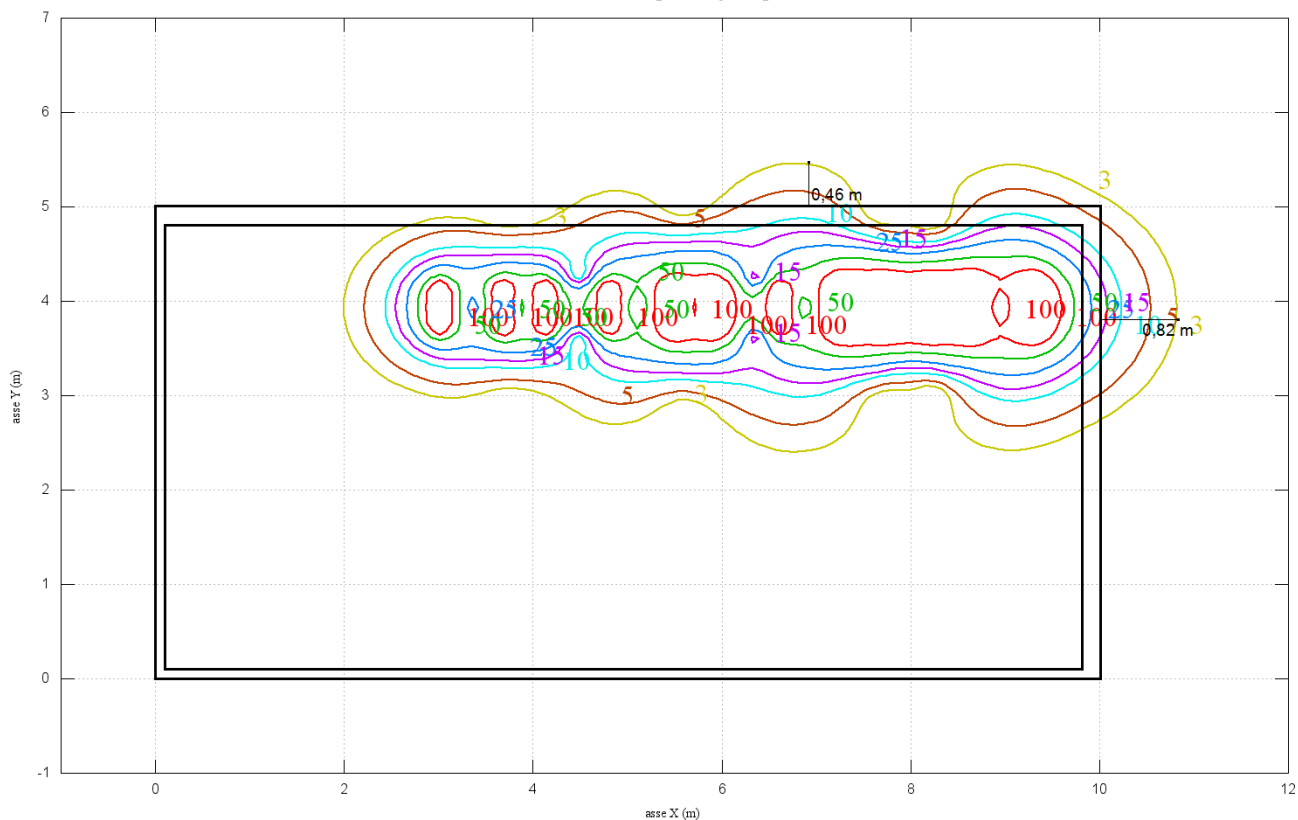
Nelle successive Figure vengono presentate le curve isolivello che riportano i valori di induzione magnetica, in  $\mu\text{T}$ , calcolati su diversi piani XY (paralleli al pavimento delle Cabine) per le seguenti quote:

- $z = 0,5$  m dal pavimento della Cabina Consegna CB0 (Figura 10);
- $z = 1$  m dal pavimento della Cabina Consegna CB0 (Figura 11);
- $z = 1,5$  m dal pavimento della Cabina Consegna CB0 (Figura 12);
- $z = 0,5$  m dal pavimento della Cabina di Trasformazione CB1 (Figura 13);
- $z = 1$  m dal pavimento della Cabina di Trasformazione CB1 (Figura 14);
- $z = 1,5$  m dal pavimento della Cabina di Trasformazione CB1 (Figura 15);
- $z = 0,5$  m dal pavimento della Cabina di Trasformazione CB2 (Figura 16);
- $z = 1$  m dal pavimento della Cabina di Trasformazione CB2 (Figura 17);
- $z = 1,5$  m dal pavimento della Cabina di Trasformazione CB2 (Figura 18);



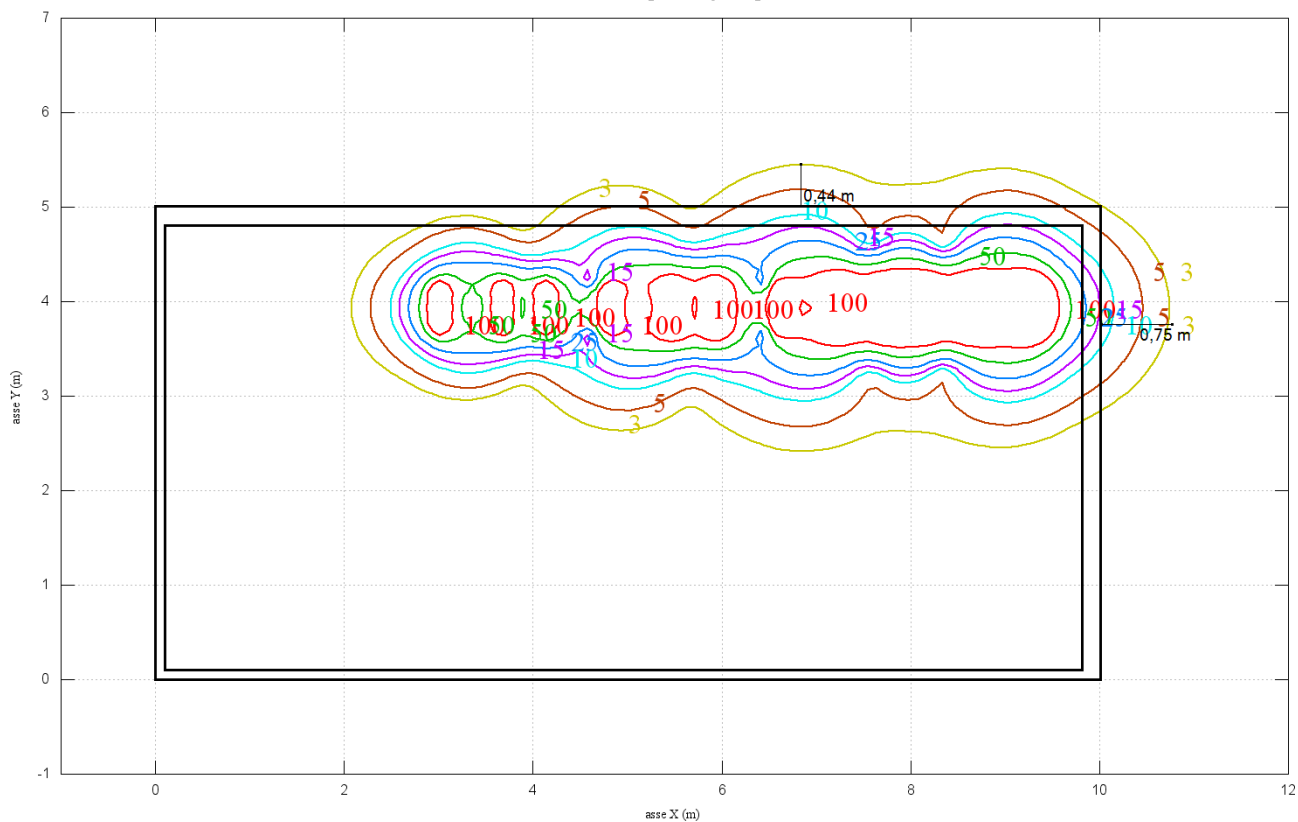
**Figura 10** Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per  $z = 0,5$  m – Cabina Consegna CB0

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



**Figura 11** Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per  $z = 1$  m – Cabina Consegna CB0

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

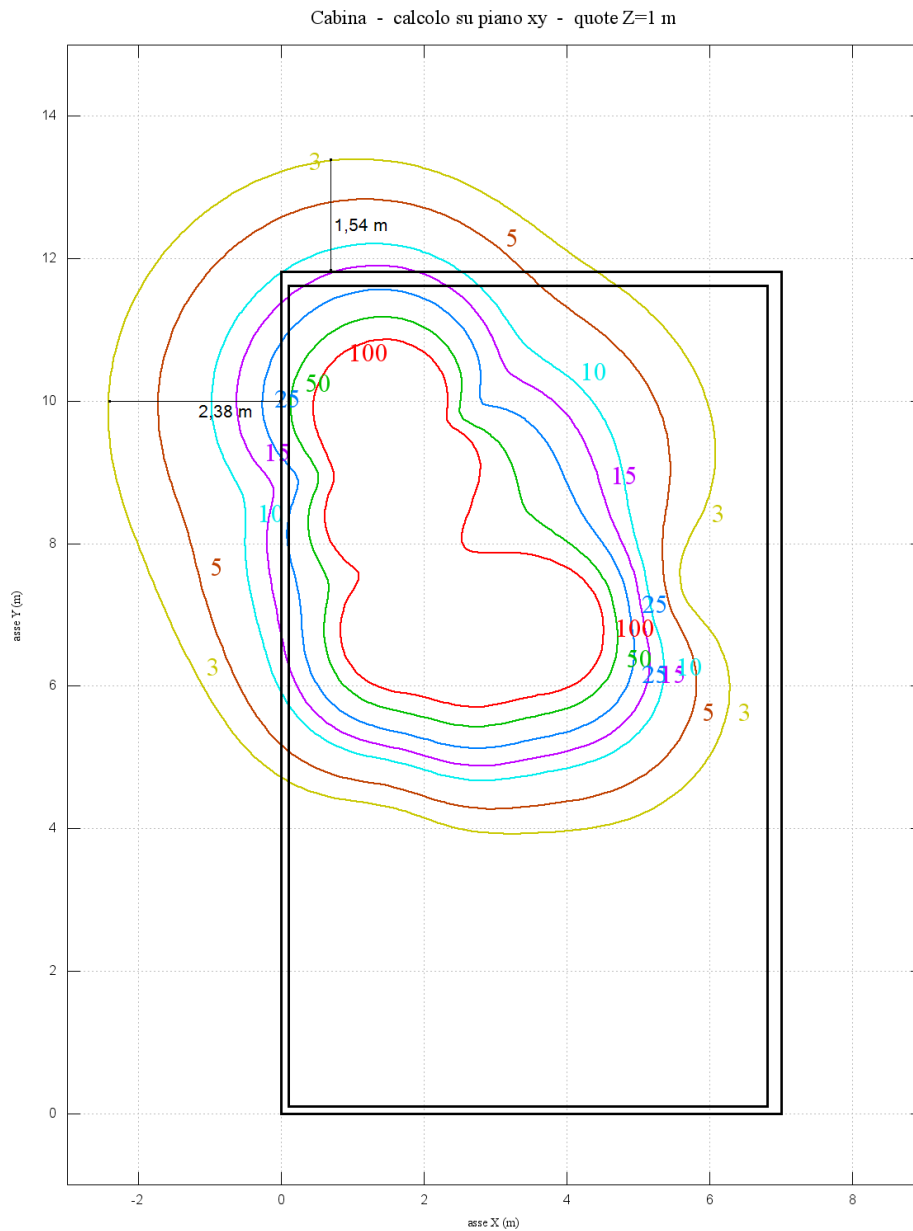


**Figura 12** Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per  $z = 1,5$  m – Cabina Consegna CB0

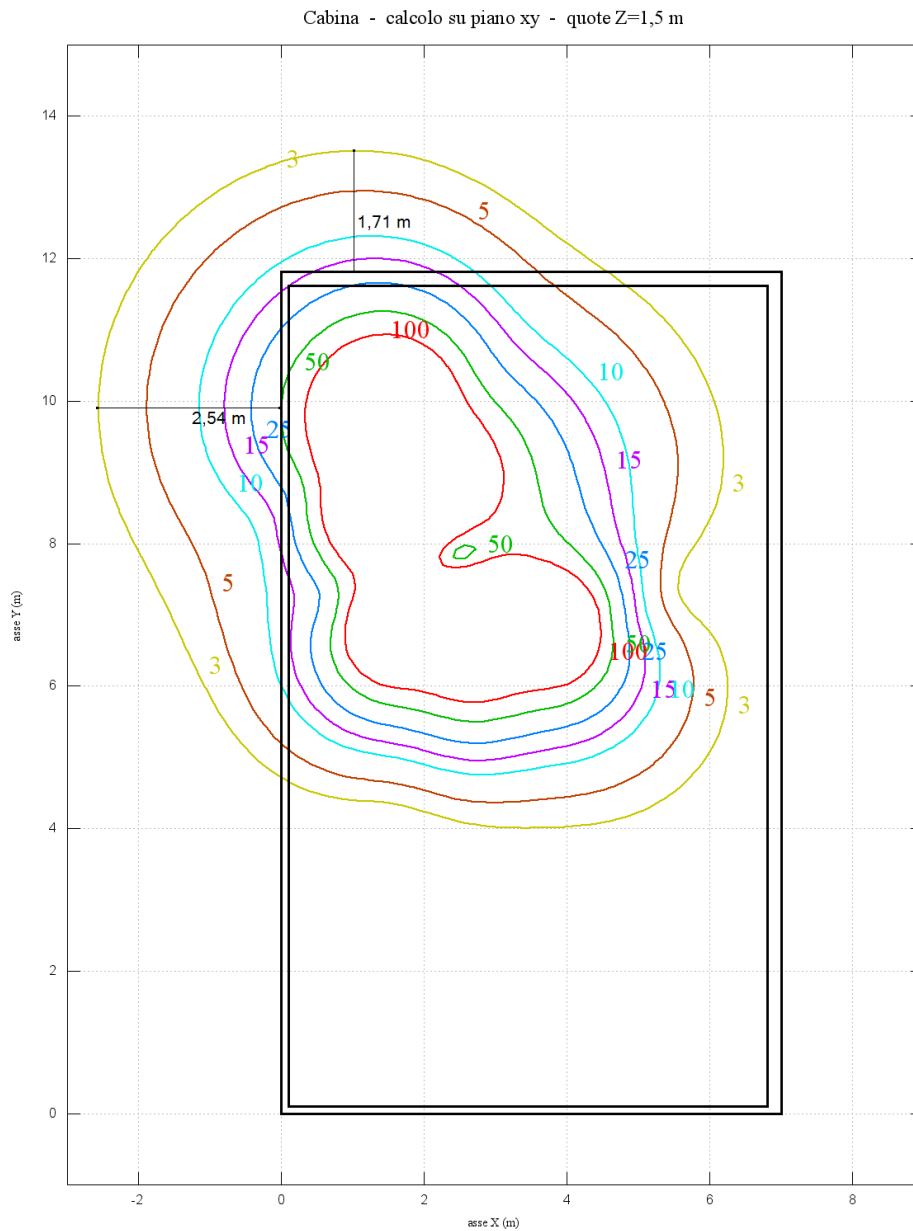
La DPA del Locale Consegna CB0 risulta pari a 0,9m.





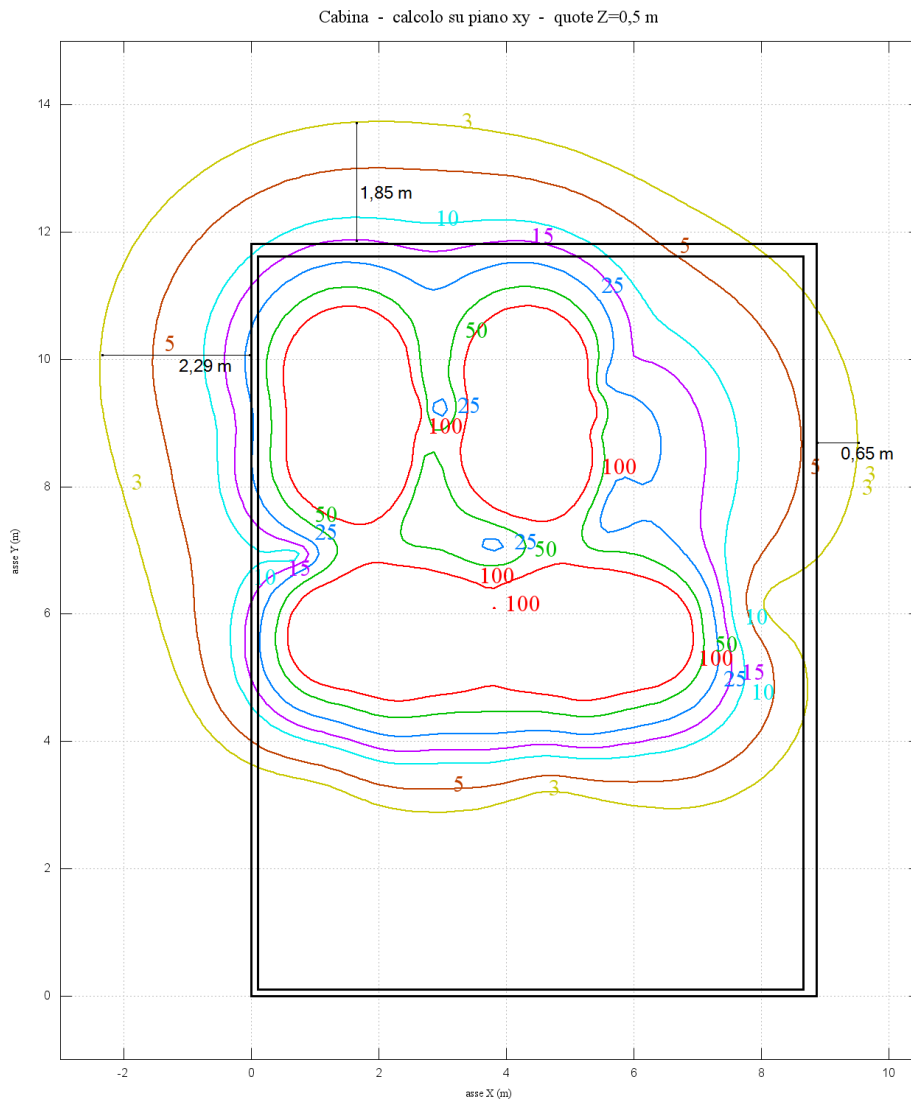


**Figura 14 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per  $z = 1$  m – Cabina Trasformazione CB1**

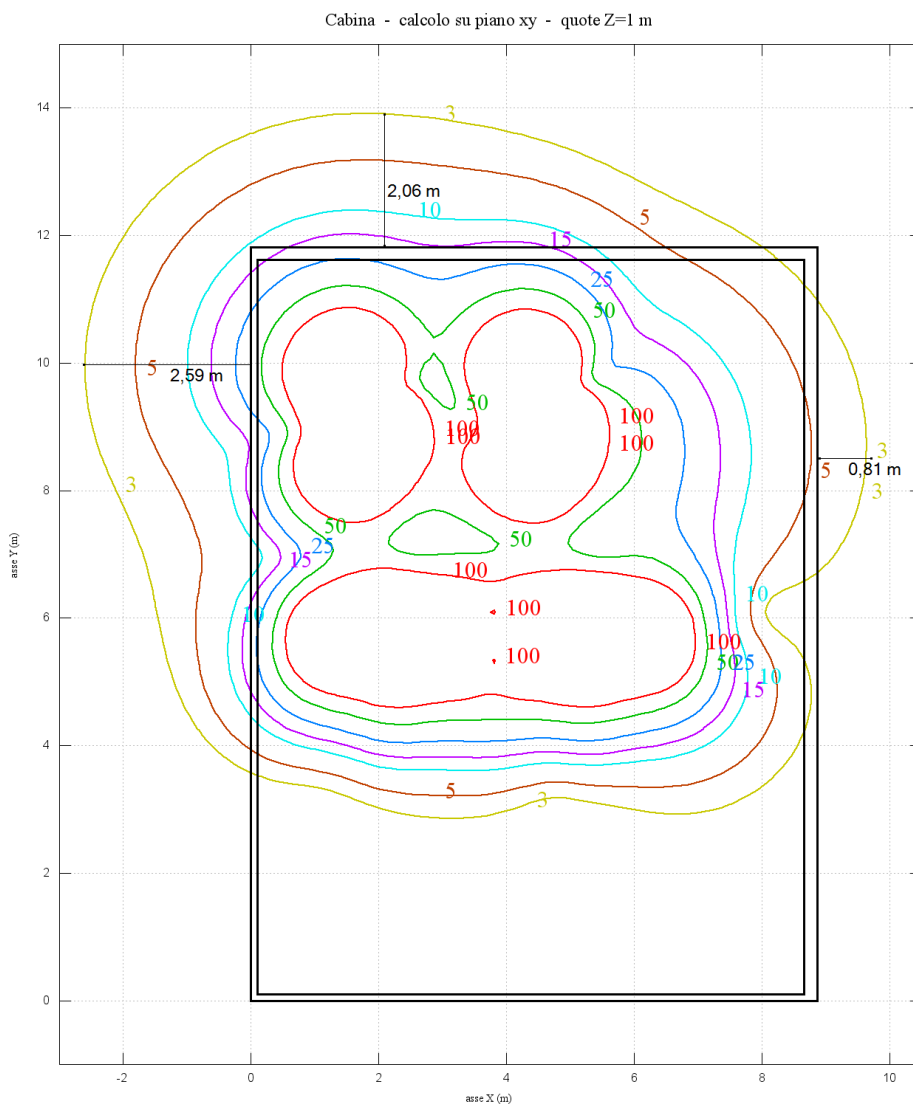


**Figura 15 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per  $z = 1,5$  m – Cabina Trasformazione CB1**

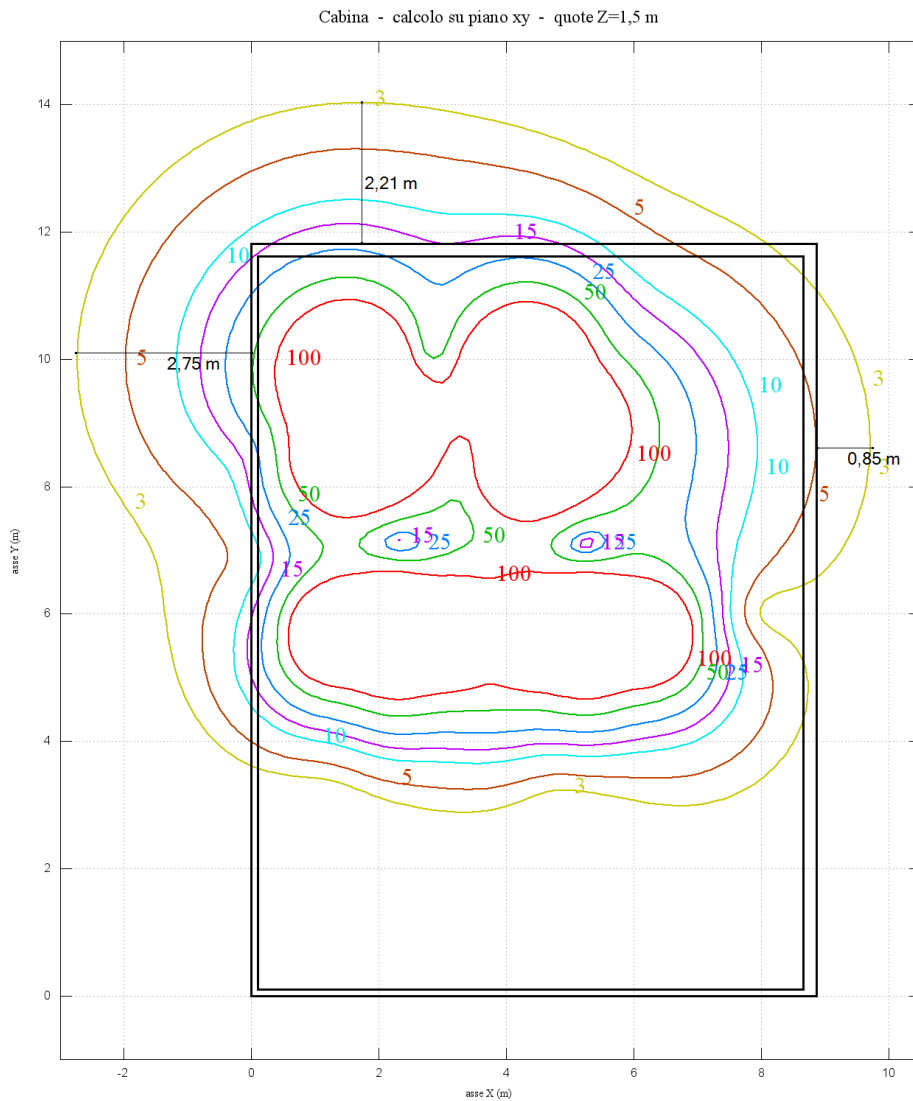
La DPA della Cabina di Trasformazione CB1 risulta pari a 2,6m.



**Figura 16 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per  $z = 0,5$  m – Cabina Trasformazione CB2**



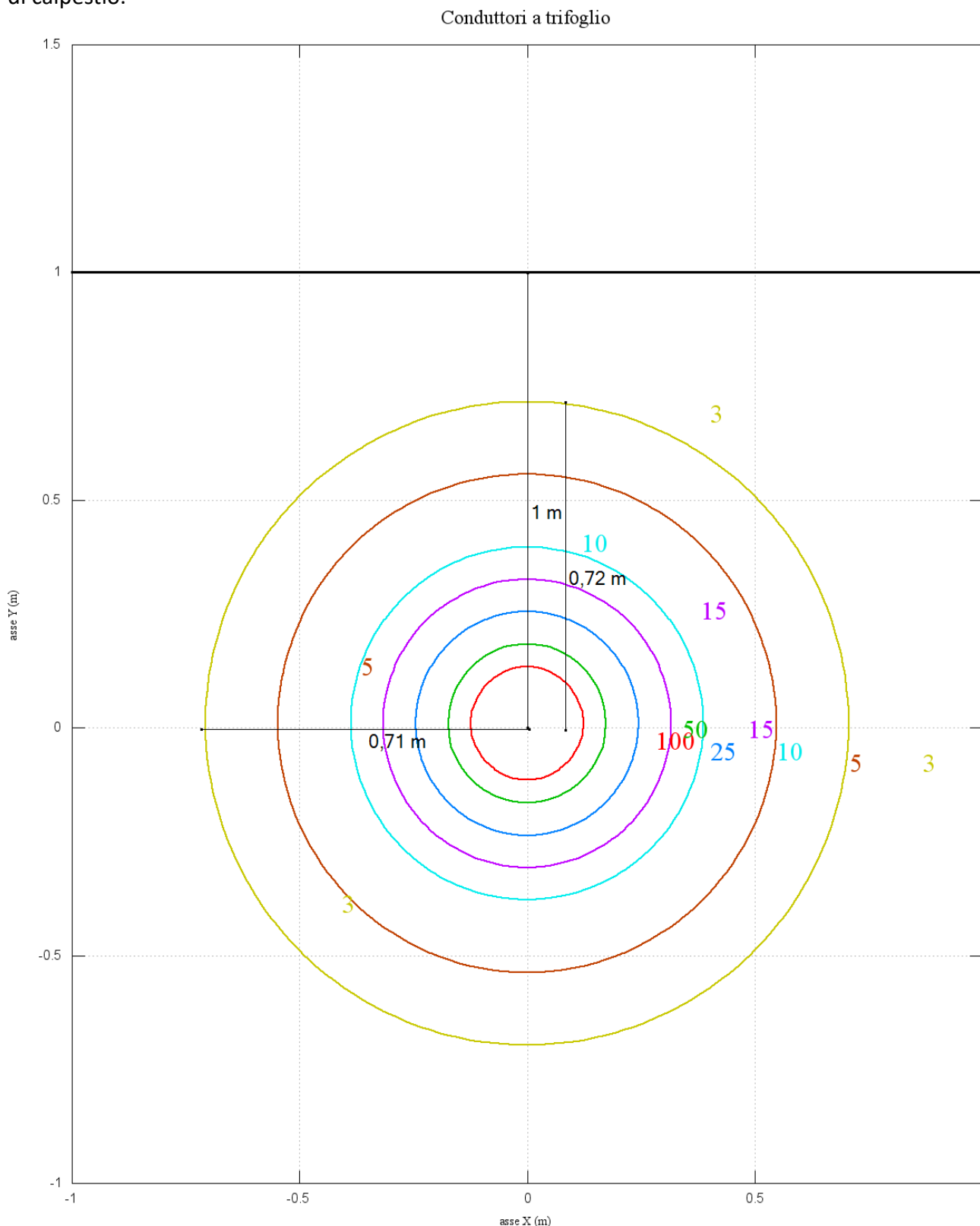
**Figura 17 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per  $z = 1$  m – Cabina Trasformazione CB2**



**Figura 18 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per  $z = 1,5$  m – Cabina Trasformazione CB2**

La DPA della Cabina di Trasformazione CB2 risulta pari a 2,8m.

Nella seguente Figura 19 si riportano le curve isolivello per la linea MT in ingresso al Locale Consegna CB0, calcolate su un piano ortogonale alla direzione dei cavi. La linea orizzontale rappresenta il piano di calpestio.



**Figura 19 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY ortogonale alla linea MT in arrivo al Locale Consegna CB0**

La DPA della linea in oggetto è pari a 0,8m. Si può osservare che la curva isolivello dei  $3\mu\text{T}$  è interamente contenuta al di sotto del piano di calpestio.

## 5. Conclusioni

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

- Le aree attigue alla Cabina di Consegna CB0, all'esterno della stessa, sono caratterizzate da livelli di induzione magnetica inferiori ai  $100\mu\text{T}$ . Pertanto non risultano necessarie opere di mitigazione del campo propagato in queste direzioni;
- Le aree attigue alla Cabina di Trasformazione CB1, all'esterno della stessa, sono caratterizzate da livelli di induzione magnetica inferiori ai  $100\mu\text{T}$ . Pertanto non risultano necessarie opere di mitigazione del campo propagato in queste direzioni;
- Le aree attigue alla Cabina di Trasformazione CB2, all'esterno della stessa, sono caratterizzate da livelli di induzione magnetica inferiori ai  $100\mu\text{T}$ . Pertanto non risultano necessarie opere di mitigazione del campo propagato in queste direzioni;
- La DPA del Locale Consegna CB0 risulta pari a 0,9m;
- La DPA della Cabina di Trasformazione CB1 risulta pari a 2,6m;
- La DPA della Cabina di Trasformazione CB2 risulta pari a 2,8m;
- La DPA della linea MT in ingresso al Locale Consegna CB0 è pari a 0,8m. Le curve isolivello dei  $3\mu\text{T}$  e dei  $100\mu\text{T}$  sono interamente contenute al di sotto del piano di calpestio, pertanto i limiti risultano rispettati al suolo.

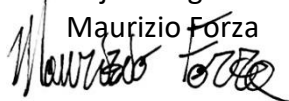
NOTA: Nel caso in cui siano previsti Locali o Aree con presenza continuativa di persone poste a una distanza inferiore alla DPA delle Cabine/Sorgenti elettriche, dovranno essere adottate opportune opere di mitigazione del campo magnetico indotto. Qualora si verificasse la necessità di adottare tali opere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



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.

BEShielding s.r.l.

Project Engineer

Maurizio Forza




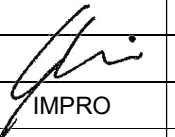
	SITO/LOCALITA' Ravenna (RA)	N° DOC 090026-ENG-R-RD-3091	PVI: 090026	N° COMMESSA CA-RAV-000000
	TITOLO  <b>PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”</b> Relazione di calcolo delle distanze di prima approssimazione Allegato 2 – Documento di validazione del software			Pag. 1 di 2
	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE  <b>INGEA / IMPRO</b>	INDICE DI REV.  <b>00</b>	

## PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”

### Relazione dei calcolo delle distanze di prima approssimazione

#### Allegato 2

#### Documento di validazione del software

					
					
00	Emissione per FEED	GOLDER	IMPRO	IMPRO	22/03/2021
<b>Indice di Rev.</b>	<b>Descrizione Revisione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>
Questo documento è di proprietà Eni Rewind S.p.A. che se ne riserva tutti i diritti.					



	SITO/LOCALITA' Ravenna (RA)	N° DOC 090026-ENG-R-RD-3091	PVI: 090026	N° COMMESSA CA-RAV-000000
	TITOLO  <b>PIATTAFORMA BIO-RECUPERO “PONTICELLE”</b> Relazione di calcolo delle distanze di prima approssimazione Allegato 2 – Documento di validazione del software		Pag. <b>2</b> di <b>2</b>	
	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE  <b>INGEA / IMPRO</b>	INDICE DI REV.  <b>00</b>	

#### Memorandum delle revisioni

Ind. Rev.	Data	Paragrafo	Descrizione sintetica revisione



## Documento di Validazione

### Algoritmi di calcolo del software **MAGIC<sup>®</sup>** (**MAG**netic Induction **C**alculation)

Revisione	Data	Elaborato	Approvato
05	11/01/2021	M.F.	S.G.
00 Emissione	07/01/2014	D.B.	M.M.

## Sommario

Premessa.....	3
1 Verifica del modulo bidimensionale .....	3
1.1 Confronto con CEI 211-04.....	3
1.2 Confronto con codice CESI .....	4
2 Verifica del modulo tridimensionale.....	7
2.1 Campo prodotto da un segmento finito arbitrariamente orientato .....	7
2.2 Validazione sperimentale del modulo tridimensionale .....	8
3 Verifica del modulo tridimensionale:trasformatore di potenza .....	9
3.1 Verifica del modello MAGIC della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method).....	9
3.2 Verifica del modello MAGIC del trasformatore completo con misure sperimentali .....	12
Conclusioni .....	13

## 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).

## 1 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.

### 1.1 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 la norma 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  $\mathbf{B}$  è data dall'espressione:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=1}^N \frac{\bar{I}_k}{d_k} \bar{u}_l \times \bar{u}_r \quad (1)$$

in cui  $N$  è il numero dei conduttori,  $d$  è la distanza tra il conduttore  $k$ -esimo e il punto di calcolo; i vettori  $\bar{u}_l$  e  $\bar{u}_r$  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.

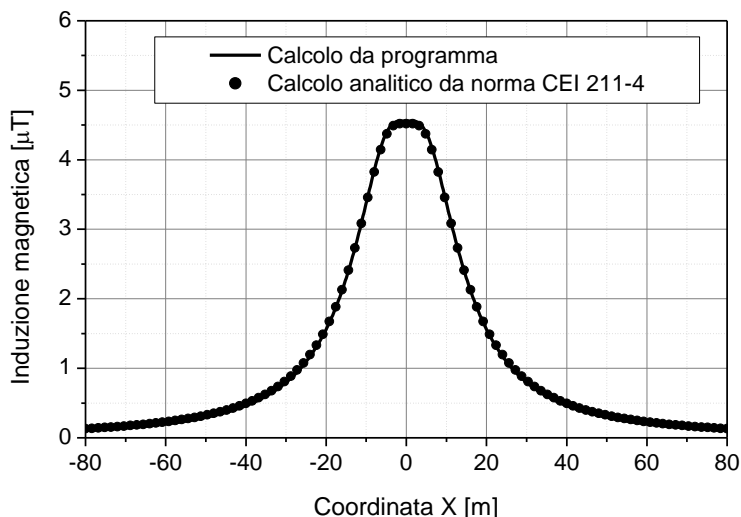


Figura 1: Induzione magnetica al suolo in prossimità di una linea aerea a doppia terna su semplice palificazione con corrente di 310: confronto tra MAGIC® e formula analitica CEI 211-4

***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.***

## 1.2 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 interramento pari a 1.25 m)
- Formazione piana (interasse 35 cm e livello di interramento pari a 1.25 m)
- Distanza tra le due terne: 4m

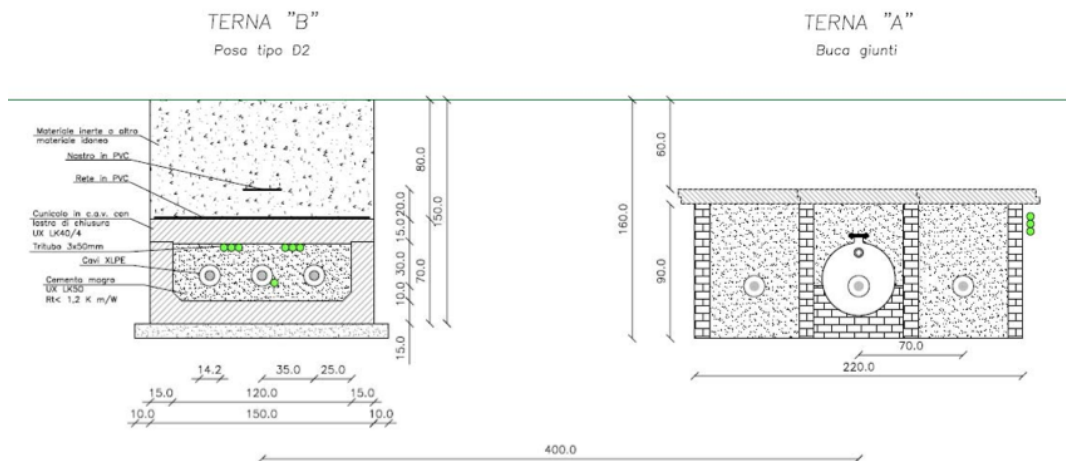


Figura 2: Affiancamento tra due linee interrate AT

Condizioni di carico e relazioni di fase:

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

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

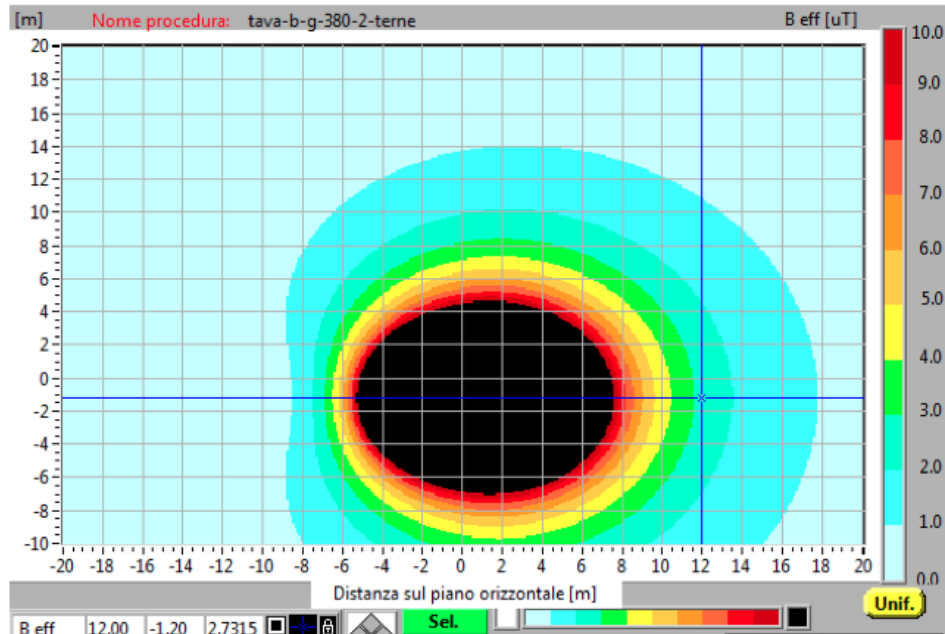
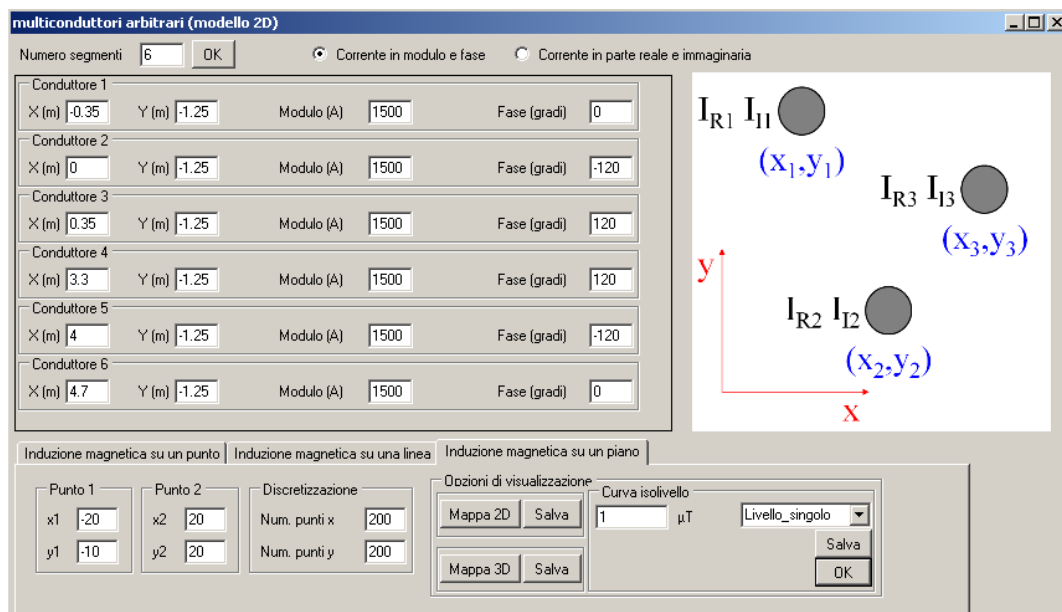


Figura 3: Mappa cromatica delle induzioni magnetiche calcolata mediante software CESI

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

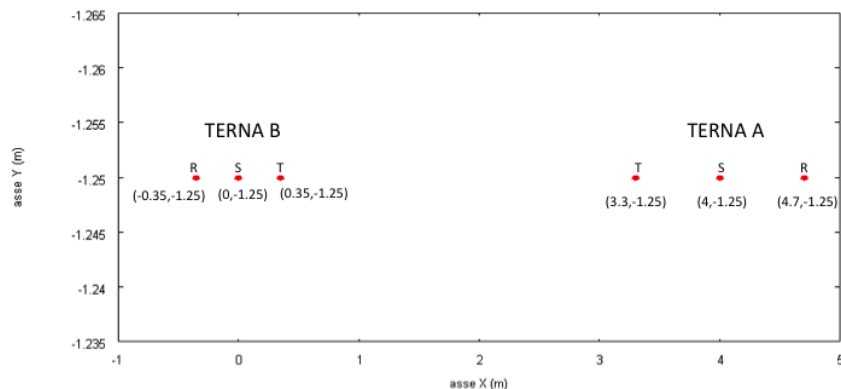
- Terne parallele
- Multiconduttori 2D

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.



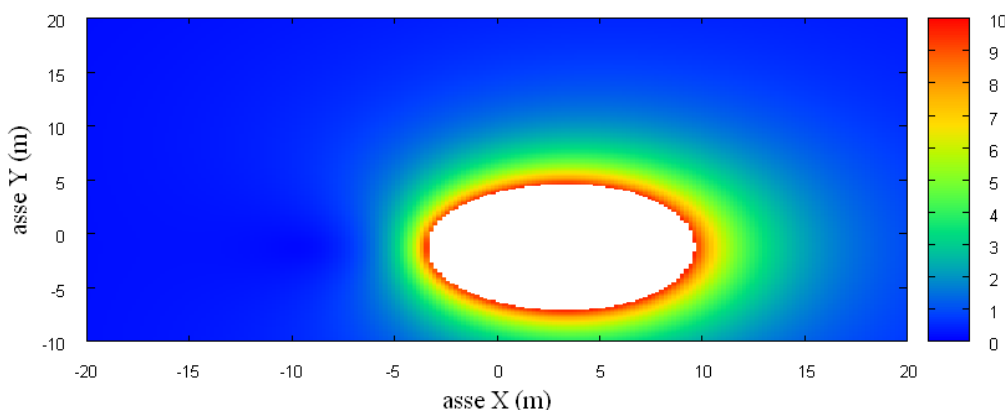
**Figura 4:**Schermata di ingresso modulo “multiconduttori arbitrari (modello 2D)””: dati definizione geometria e sorgenti

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



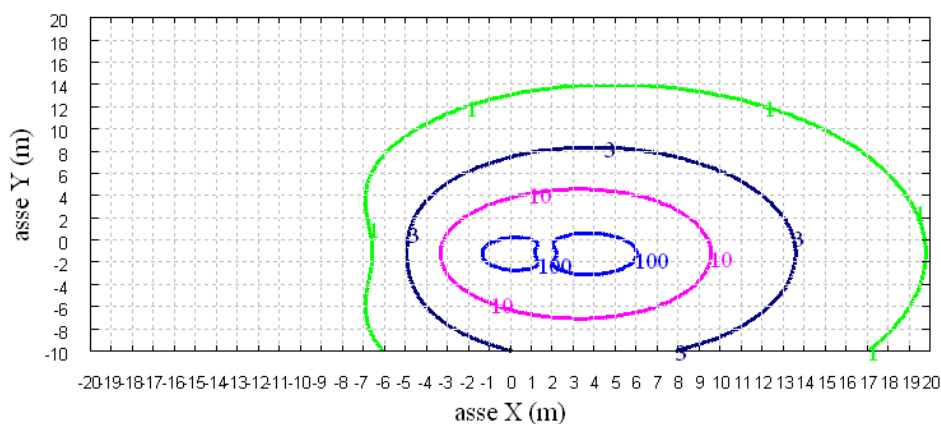
**Figura 5:** Geometria sorgenti

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



**Fig. 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®.



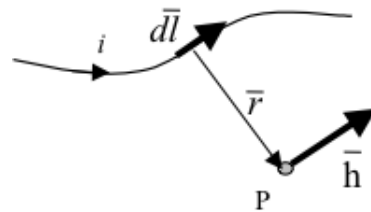
**Fig. 7** Linee isolivello dell’induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) da software MAGIC®.

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

## 2 Verifica del modulo tridimensionale

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

$$\vec{h} = \oint \frac{i d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi r^3}$$



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.

### 2.1 Campo prodotto da un segmento finito arbitrariamente orientato

Si consideri il segmento rappresentato nella Fig. 8.

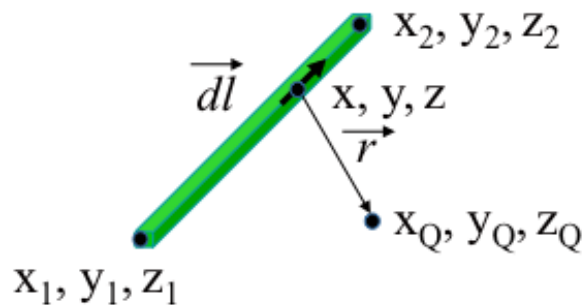


Fig. 8: Modello del segmento.

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

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

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

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

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



## 2.2 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.

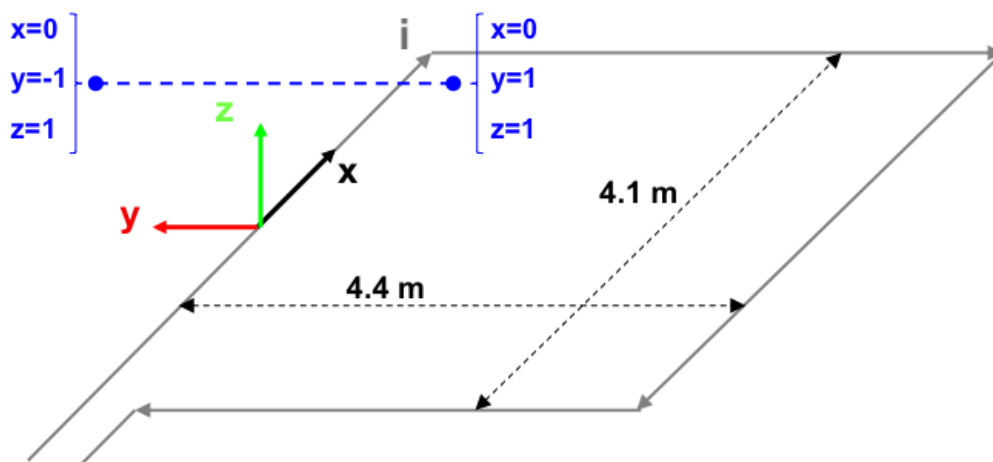


Fig. 9: Schema di spira quadrata.

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  $y$  →  $x = \text{costante} = 0 \text{ m}$
- È lunga due metri: →  $y \text{ minimo} = -1 \text{ m}$ ,  $y \text{ massimo} = 1 \text{ m}$

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.

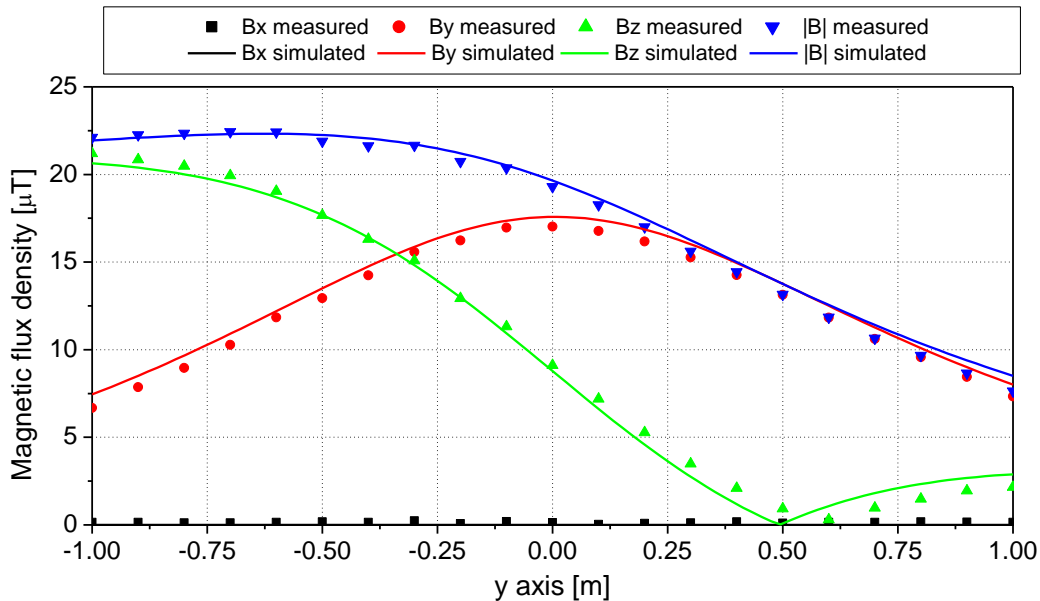


Fig. 10: Induzione magnetica misurata e calcolata mediante software MAGIC®.

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

### 3 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.

#### 3.1 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 ( $N1 \cdot I1 = N2 \cdot I2$ ) e verranno considerate, come sorgenti, le correnti nominali.

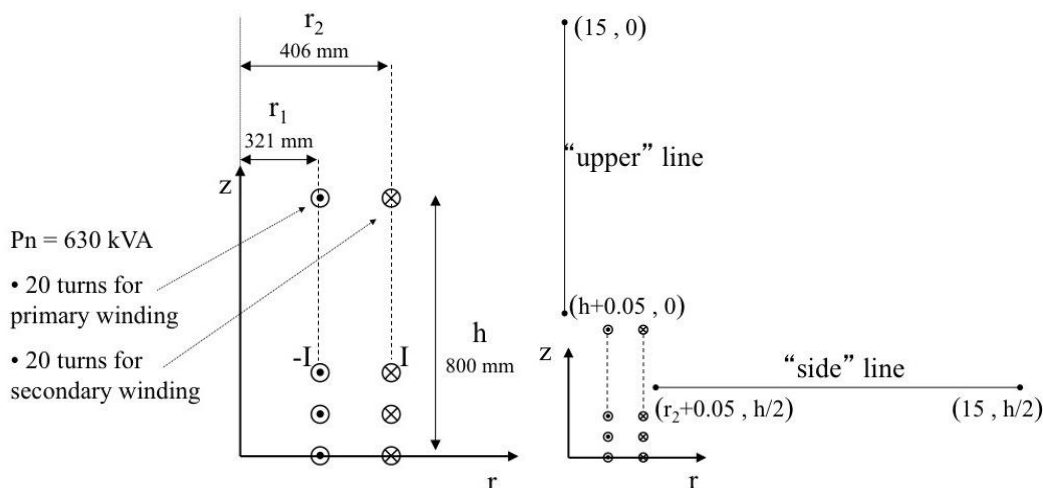


Fig. 11. Geometria del sistema (1) e linee di calcolo (2)

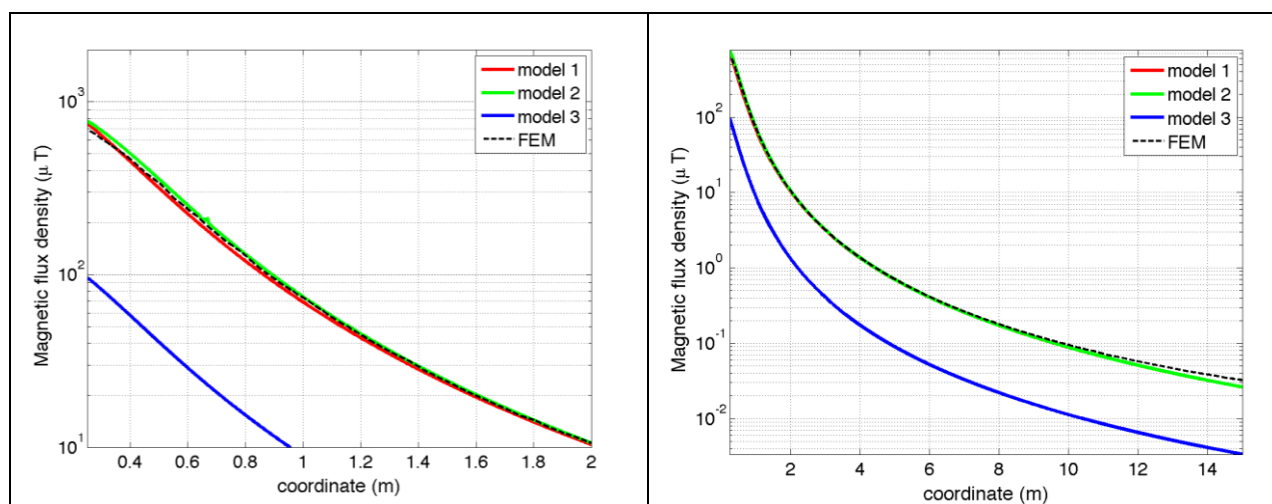
Le Fig. 12 e 13 mostrano, rispettivamente, i valori di induzione magnetica lungo la linea ad 1m dal lato degli avvolgimenti e lungo la linea ad 1.5 m sopra gli avvolgimenti. Le figure mettono a confronto il “modello 1 e 2” ed il calcolo, assunto come riferimento, effettuato mediante codice FEM.

**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).**

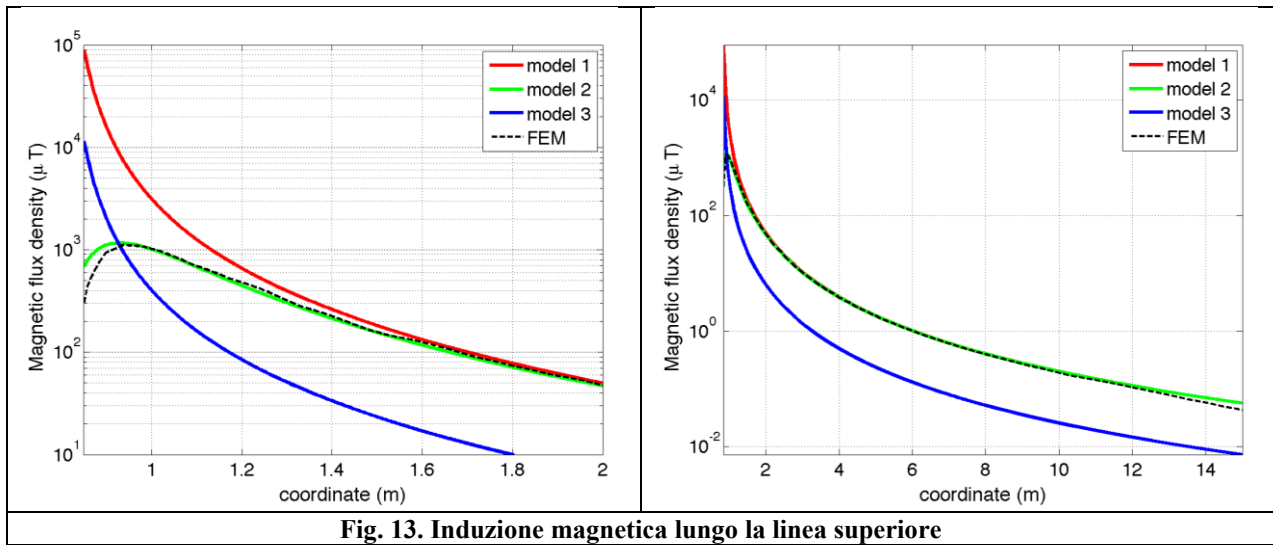
I modelli inseriti nel MAGIC® sono inoltre confrontati con il modello proposto da un altro software commerciale (EFC-400) che verrà denominato “Modello 3”. Tale modello è basato sull’ipotesi che il campo magnetico disperso, essendo correlato con la reattanza di dispersione del trasformatore, risulta 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:

$$I = I_R \cdot \frac{V_{SC} \%}{100} \quad (14)$$

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  $N_2$ ).



**Fig. 12. Induzione magnetica lungo la linea laterale**



**Fig. 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.

### 3.2 Verifica del modello MAGIC del trasformatore completo con misure sperimentali

In questo paragrafo i 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 il campo magnetico ambientale, specialmente nella direzione S1. Pertanto, l'introduzione di tali sorgenti aggiuntive 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.**

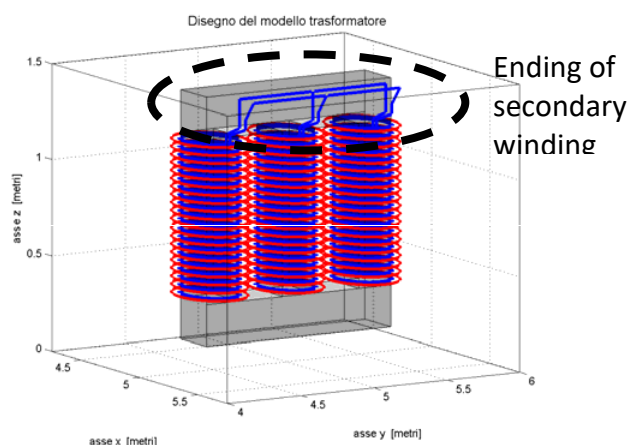


Fig. 14: Connessioni elettriche considerate al lati BT.

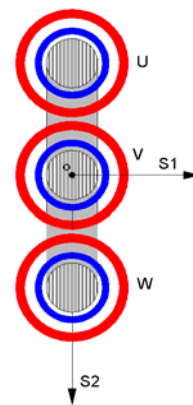


Fig. 15: Linee di calcolo S1 ed S2

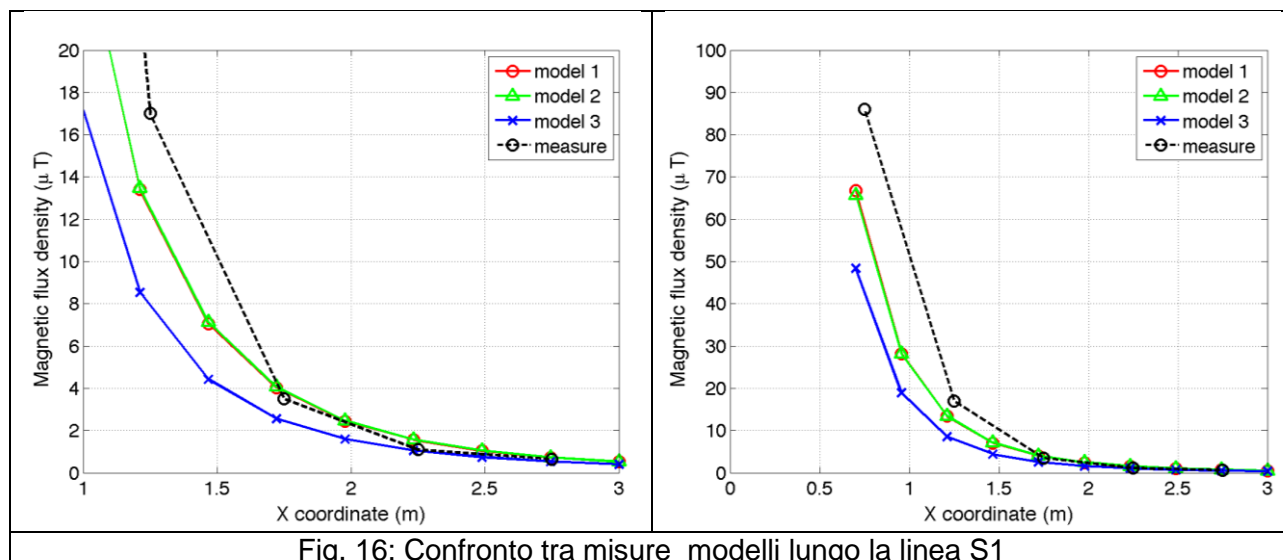


Fig. 16: Confronto tra misure modelli lungo la linea S1

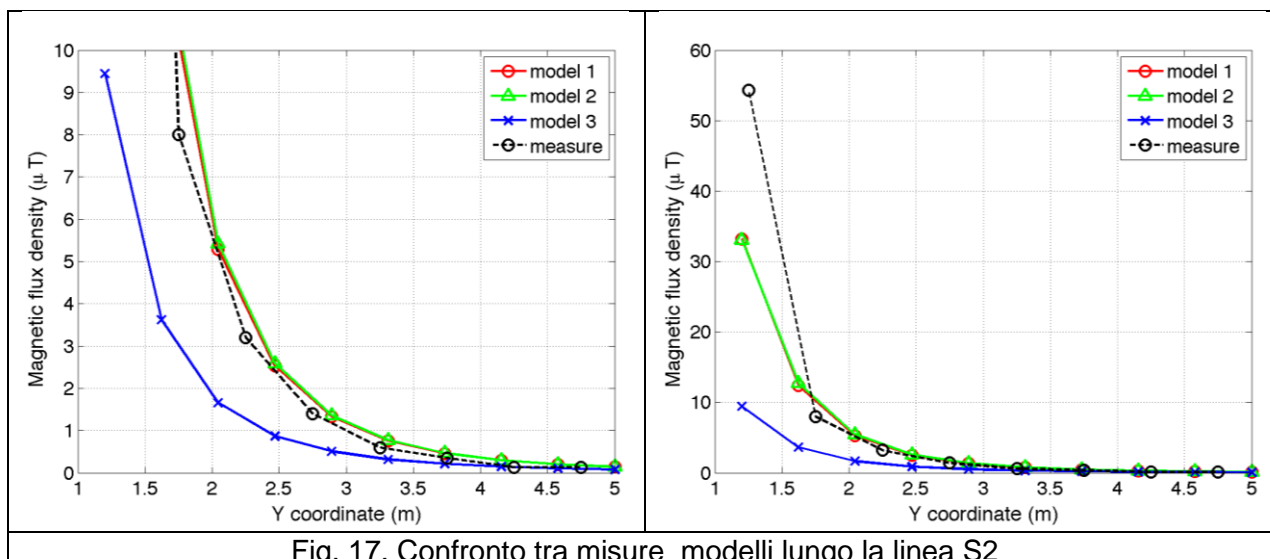


Fig. 17. Confronto tra misure e modelli lungo la linea S2

## 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.***