



ARETI SPA



Il Responsabile del Procedimento  
in fase di progettazione



ACEA Infrastructure SPA

REALIZZAZIONE DEL NUOVO CENTRO SATELLITE  
TUSCOLANO DA 20 KV

COMUNE DI ROMA

ELABORATO

EO12PD R.02 1

DATA FEBBRAIO 2025

SCALA

Responsabile Ingegneria

Paolo SMURRA

Responsabile PMO

Emanuela RASICCI

Il Progettista

Tommaso DE ANGELIS

Attività Specialistica

Lorenzo Merlini

Collaboratori

DICHIARAZIONE CAMPI ELETTRROMAGNETICI

AGG. N.	DATA	NOTE	FIRMA
1	17/12/25		
2			
3			
4			
5			

Coordinatore per la sicurezza in fase di Progettazione



**Areti SpA**

**PIANO TECNICO DELL'OPERA  
(PTDO)**

**COMUNE DI ROMA (RM)**

**REALIZZAZIONE DEL NUOVO CENTRO SATELLITE  
TUSCOLANO 20 KV**

***R.02 I – Dichiarazione campi elettromagnetici***

**Acea Infrastructure S.p.A.**

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
[www.gruppo.aceait](http://www.gruppo.aceait)





## INDICE

<b>I</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>OGGETTO.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO. ....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERISTICHE DELLE LINEE FEEDER MT .....</b>	<b>6</b>
4.1	N.2 LINEE FEEDER MT, DI CUI UNA IN CAVO UNIPOLARE 630MMQ E L'ALTRA IN CAVO TRIPOLARE 150MMQ .....	6
4.2	N.2 LINEE FEEDER MT IN CAVO UNIPOLARE 630MMQ .....	8
<b>5</b>	<b>CARATTERISTICHE TECNICHE CENTRO SATELLITE .....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>CRITERI DI ANALISI .....</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>VALORI DI INDUZIONE MAGNETICA ATTESI .....</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>VALORI DI CAMPO ELETTRICO ATTESI.....</b>	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>15</b>

### Acea Infrastructure S.p.A.

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
 Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
 CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
 ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
 E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
[www.gruppo.aceai.it](http://www.gruppo.aceai.it)





***DICHIARAZIONE DI CONFORMITA' AL DPCM 8.7.2003 "FISSAZIONE DEI LIMITI DI ESPOSIZIONE, DEI VALORI DI ATTENZIONE E DEGLI OBIETTIVI DI QUALITA' PER LA PROTEZIONE DELLA POPOLAZIONE DALLE ESPOSIZIONI AI CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI ALLA FREQUENZA DI RETE (50 Hz) GENERATI DAGLI ELETTRODOTTI"***

**I PREMESSA.**

La presente dichiarazione ha lo scopo di verificare il rispetto delle specifiche contenute nel quadro normativo di riferimento riconducibile allo studio dei campi elettrici e magnetici prodotti da elettrodotti.

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

- **100  $\mu$ T** esposizione **istantanea**, valore imposto dal DPCM 8 Luglio 2003 – Art. 3;
- **3,78  $\mu$ T** per locali con presenza di **apparecchiature elettroniche sensibili**, valore indicato dalla norma tecnica CEI EN 61000-4:8;
- **3  $\mu$ 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.

**Acea Infrastructure S.p.A.**

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
[www.gruppo.aceait](http://www.gruppo.aceait)





## 2 OGGETTO.

La presente dichiarazione ha per oggetto il nuovo Centro Satellite Tuscolano e gli elettrodotti MT ad esso sottesi, che si sviluppano nella zona di Appio – Tuscolano del comune di Roma (RM).

Il progetto in oggetto si sviluppa nei Quartieri VIII Tuscolano e IX Appio Latino del comune di Roma Capitale. Nella zona sono presenti le cabine primarie “CP Appio” in via Tuscolana, 419, 00181 e “CP Re di Roma” in Via Matera, 8, 00182, rispettivamente a sud-est e a nord-ovest della Stazione di Roma Tuscolana.

Il nuovo Centro Satellite sarà realizzato all'interno della cabina secondaria interrata a botola esistente denominata CS600 (o anche CAB600), posizionata sotto la galleria pedonale che attraversa la palazzina in Via Tuscolana, 222 a Roma e verrà connesso alle due cabine primarie attraverso due linee feeder MT da 20 kV costituite da una terna di cavi unipolari da 630 mmq. Dal nuovo Centro Satellite si origineranno una serie di nuove dorsali MT costituite da cavi tripolari da 150 mmq che andranno a potenziare la rete MT dell'area.

Inoltre, tra le due cabine primarie dovrà essere posata n.l linea feeder MT da 20 kV costituita da un cavo tripolare MT da 150 mmq, che permetterà il collegamento delle due CP e che viaggerà parallelamente alle due linee feeder MT da 20 kV costituite da una terna di cavi unipolari da 630 mmq.

### Acea Infrastructure S.p.A.

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
[www.gruppo.aceait](http://www.gruppo.aceait)





### 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.

L'opera è stata progettata e sarà realizzata in conformità alla seguente normativa:

- a) D.M. LL.PP. 21 marzo 1988 n.449 "Approvazione delle norme tecniche per la progettazione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne", modificato con D.M. LL.PP. 16 gennaio 1991, e D.M. LL.PP. 5 agosto 1998;
- b) Legge n. 36/01 "Legge Quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici";
- c) D.P.C.M. 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti";
- d) Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 29 maggio 2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti".

#### Acea Infrastructure S.p.A.

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
[www.gruppo.aceait](http://www.gruppo.aceait)





## 4 CARATTERISTICHE DELLE LINEE FEEDER MT

### 4.1 N.2 Linee Feeder MT, di cui una in cavo unipolare 630mmq e l'altra in cavo tripolare 150mmq

L'elettrodotto sarà costituito da due terne di media tensione, di cui una in cavo unipolare con sezione pari a 630mmq e l'altra in cavo tripolare precordato ad elica visibile con sezione pari a 150mmq.

Per quanto riguarda la terna in cavo unipolare con sezione pari a 630mmq, ogni fase sarà posata all'interno di una singola tubazione di diametro pari a 160mm (Figura 1).

In questo scenario, la corrente del circuito da considerare per le verifiche magnetiche è pari a 700A;

Per quanto riguarda la terna in cavo tripolare precordato ad elica visibile con sezione pari a 150mmq, le tre fasi saranno posate insieme all'interno di una singola tubazione di diametro pari a 160mm (Figura 1).

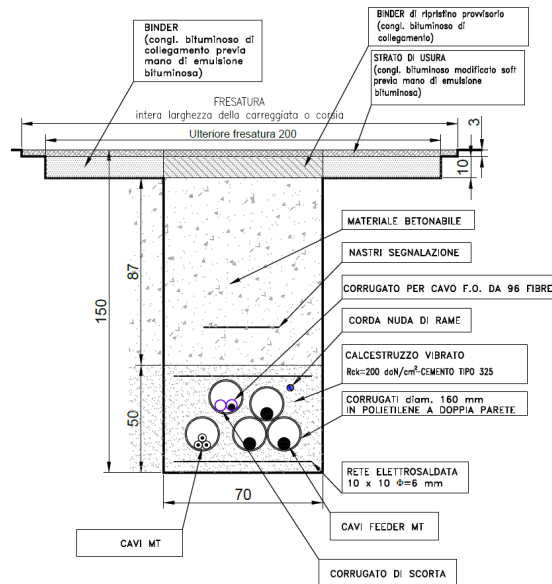
In questo scenario, la corrente del circuito da considerare per le verifiche magnetiche è stata considerata trascurabile in quanto secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 art.3.2, la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 non si applica alle linee in cavo elicordato. Tale assunzione si ritiene valida poiché le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i. La tipologia di cavo elicordato è quindi in grado di ridurre il campo magnetico generato dalle linee ed il loro contributo, ai fini del calcolo della Distanze di Prima Approssimazione, è trascurabile.

In base a quanto descritto sopra, lungo il tracciato interessato da queste due linee feeder si è tenuto conto nel calcolo della sola linea Feeder con cavo unipolare 630mmq e pertanto è stata considerata per il calcolo la sezione equivalente riportata in Figura 2.

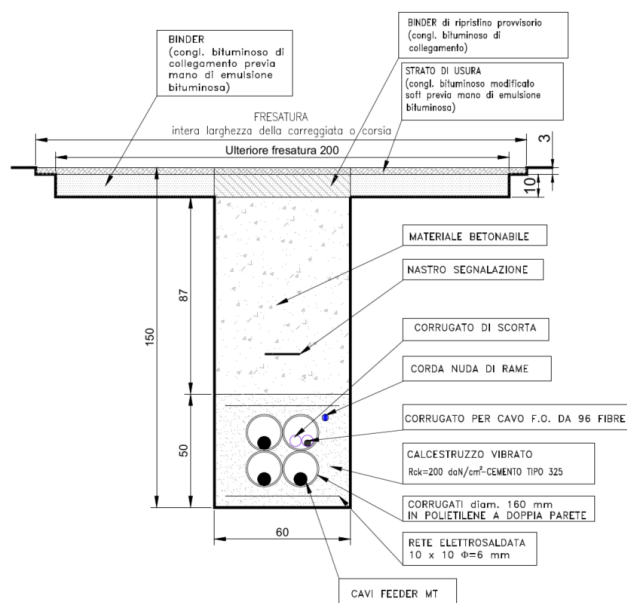
#### Acea Infrastructure S.p.A.

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
www.gruppo.aceait





**Figura 1** - Sezione di posa n.2 linee feeder MT in cavo tripolare 150mmq e unipolare 630mmq, quote [cm]



**Figura 2** - Sezione di posa equivalente con n.1 linea feeder MT in cavo unipolare 630mmq, quote [cm]

### Acea Infrastructure S.p.A.

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
 Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
 CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
 ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
 E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
[www.gruppo.aceait](http://www.gruppo.aceait)



## 4.2 N.2 linee Feeder MT in cavo unipolare 630mmq

L'elettrodotto sarà costituito da due terne di media tensione realizzate con cavo unipolare di sezione pari a 630mmq. Ogni fase sarà posata all'interno di una singola tubazione di diametro pari a 160mm (Figura 3).

In questo scenario, la corrente del circuito da considerare per le verifiche magnetiche è pari a 700A per linea.

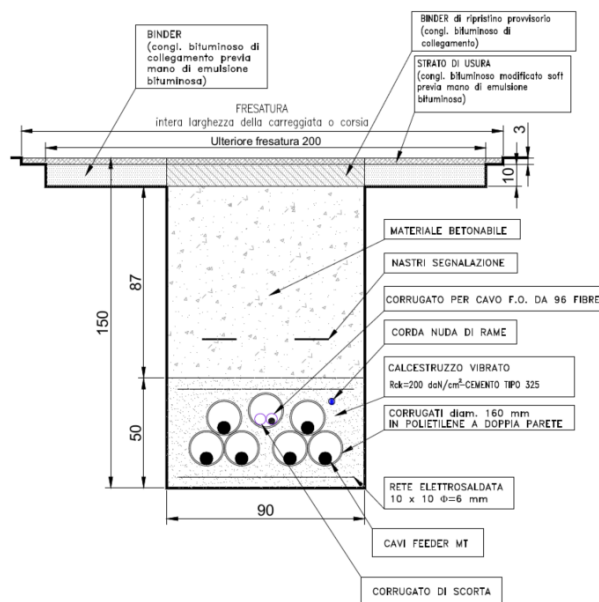


Figura 3 – Sezione di posa n.2 linee feeder MT in cavo unipolare 630mmq, quote [cm]

### Acea Infrastructure S.p.A.

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
 Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
 CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
 ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
 E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
 www.gruppo.aceait

## 5 CARATTERISTICHE TECNICHE CENTRO SATELLITE

Le apparecchiature elettriche e le linee elettriche presenti all'interno del nuovo Centro Satellite, caratterizzate da valori di corrente non trascurabili ai fini delle valutazioni del campo magnetico, sono:

- n.1 nuovo trasformatore per i servizi ausiliari TRSA2 da 630 kVA isolato in olio
- n.1 nuovo quadro MT diviso in n.2 semisbarre MT (QMT SBI e QMT SB2), separate da n.1 congiuntore sbarre MT
- n.1 quadro BT a 230V di tipo power center
- n.1 quadro BT di scambio a 400V (QBT SCAM.) di tipo power center
- n.2 linee Feeders MT in ingresso al Centro Satellite
- n.10 linee dorsali MT elicordate in uscita dal Centro Satellite
- n.1 linea MT elicordata per il collegamento di QMT SBI con TRSA2
- n.2 linee BT di collegamento tra TRSA2 e QBT SCAM.
- n.1 linea BT di collegamento tra QBT SCAM. e QSAca

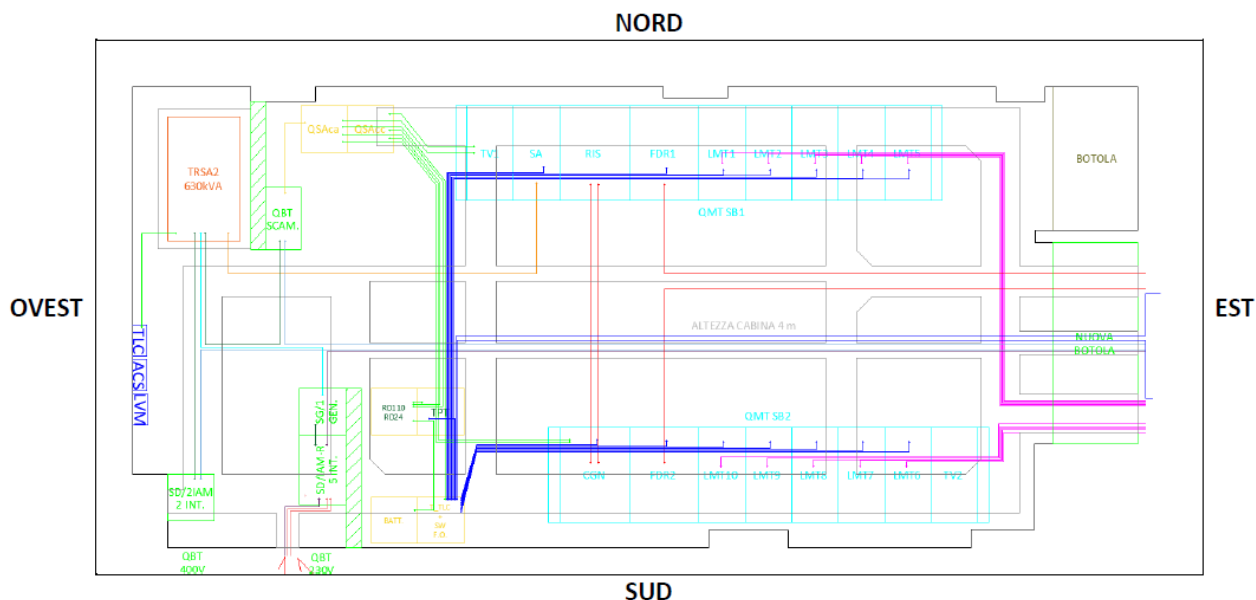


Figura 4 – Planimetria Centro Satellite

### Acea Infrastructure S.p.A.

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
 Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
 CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
 ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
 E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
 www.gruppo.aceait



## 6 CRITERI DI ANALISI

L'intensità dell'induzione magnetica è rapidamente decrescente all'aumentare della distanza dall'asse dell'elettrodotto. Al fine del raggiungimento dell'obiettivo di qualità dei 3 microtesla imposto dal DPCM 8 luglio 2003 sopra richiamato, ci si è posti come condizione primaria, nella scelta del tracciato delle linee MT, il rispetto della distanza tra cavi interrati e fabbricati adibiti ad abitazione o ad altre attività che comportino tempi di permanenza prolungati, come indicato nella norma.

In applicazione a quanto previsto dal Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 29 maggio 2008 sopra richiamato, sono state individuate le Dpa (Distanze di prima approssimazione) dei cavi interrati, nelle diverse sezioni di posa.

La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti sopraccitata, definisce la Dpa come la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di Dpa si trovi all'esterno della fascia di rispetto.

La fascia di rispetto, introdotta dalla Legge Quadro n.36 del 22 febbraio 2001, è lo spazio circostante un elettrodotto che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità di 3 microtesla (fissato dal DPCM 8 luglio 2003).

Nel presente studio è stato omissso il calcolo della Dpa per linee dorsali MT di progetto realizzate in cavo tripolare precordato ad elica visibile con sezione pari a 150mmq. Infatti, come già riportato sopra, secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 art.3.2, la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 non si applica alle linee in cavo elicordato. Tale

### Acea Infrastructure S.p.A.

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
[www.gruppo.aceaspa.it](http://www.gruppo.aceaspa.it)





assunzione si ritiene valida poiché le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i. La tipologia di cavo elicordato è quindi in grado di ridurre il campo magnetico generato dalle linee ed il loro contributo, ai fini del calcolo della Distanze di Prima Approssimazione, è trascurabile.

Sulla scorta di tale considerazione le linee dorsali MT in progetto realizzate con cavi elicordati non danno origine a campi elettromagnetici di rilevanza significativa ai fini della determinazione delle DPA.

Per il calcolo delle Dpa, è stato utilizzato il software MAGIC®.

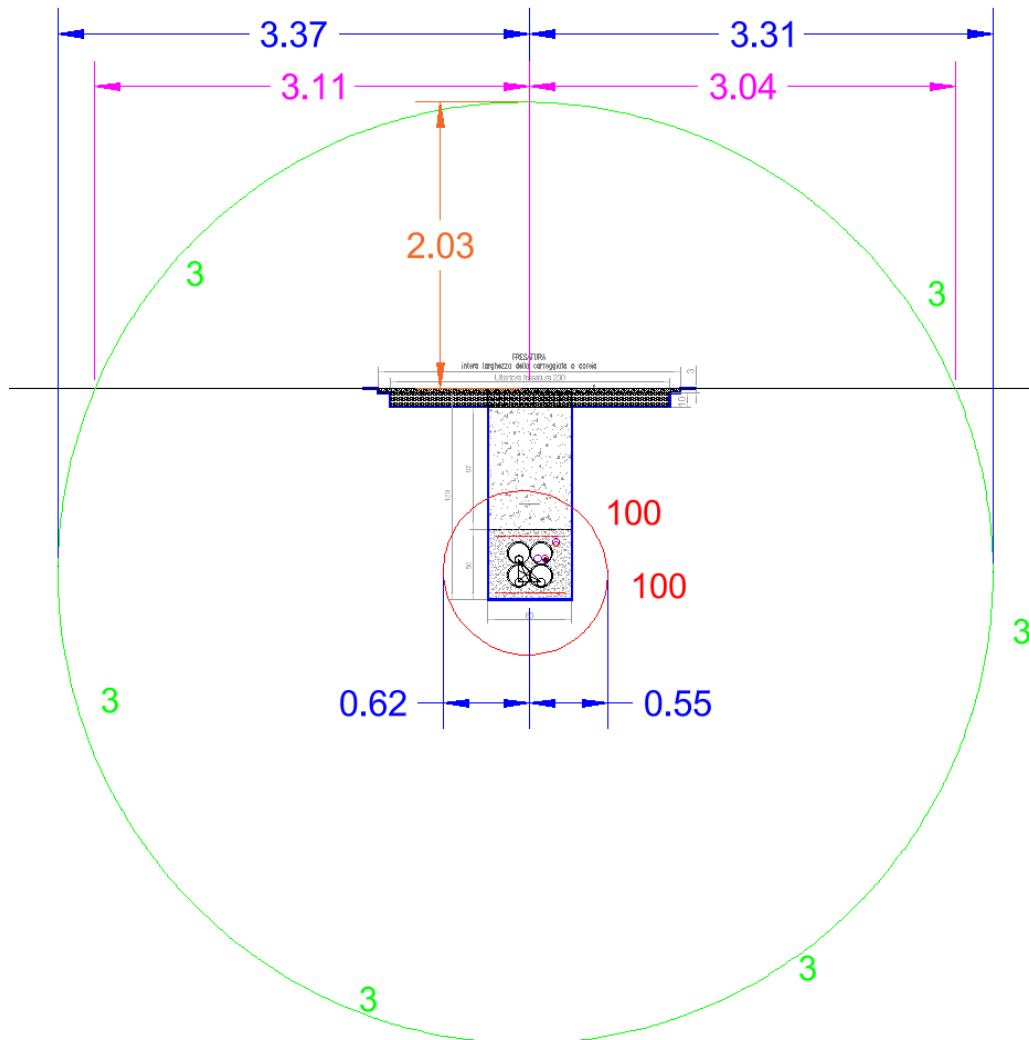
Per le linee Feeder MT in cavi interrati, la corrente da utilizzare nel calcolo è la portata in regime permanente, così come definita nella norma CEI 11-17. Per quanto riguarda la tipologia dei nuovi raccordi delle linee Feeder MT, per il calcolo delle Dpa, è stata utilizzata una corrente pari a 700A per ciascuna terna in cavo unipolare con sezione pari a 630 mmq, corrispondente alla corrente massima di utilizzo dell'impianto.

Le sezioni tipologiche prese in considerazione per il calcolo sono quelle in Figura 2 e in Figura 3. Le curve isocampo risultanti del calcolo effettuato sulle sezioni tipo sono rappresentate in Figura 5 e in Figura 6.

#### **Acea Infrastructure S.p.A.**

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
[www.gruppo.aceait](http://www.gruppo.aceait)

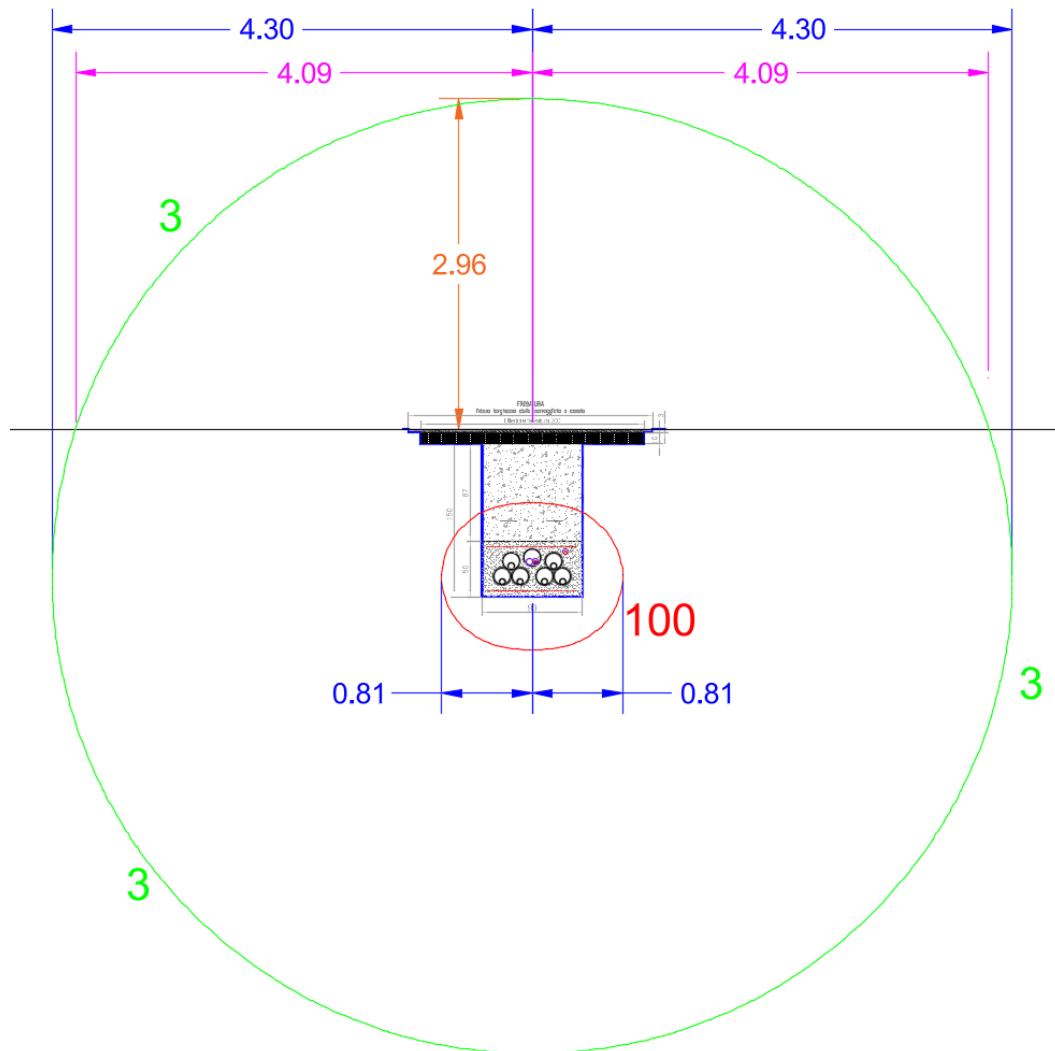




**Figura 5** - Isolinee singola terna di cavi interrata con quote DPA e Fdr0 (quote m).

#### Acea Infrastructure S.p.A.

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
 Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
 CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
 ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
 E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
[www.gruppo.aceait](http://www.gruppo.aceait)



**Figura 6** - Isolinee due terne di cavi interrati con quote DPA e Fdr0 (quote m).

#### Aceia Infrastructure S.p.A.

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
 Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
 CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
 ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Aceia SpA - CF 05394801004  
 E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
[www.gruppo.aceia.it](http://www.gruppo.aceia.it)



Secondo le considerazioni su esposte ed i calcoli effettuati, le Dpa risultanti approssimate al metro (§5.1.3 S.O. n.160 G.U. 5/7/08), riferite all'asse della terna dei cavi o all'asse dei cavi posati in parallelo, risultano le seguenti:

- figura 5\_singola terna di cavi interrati: 3,5 m;
- figura 6\_due terne di cavi interrati: 4,5 m;

Per quanto riguarda il Centro Satellite, l'analisi e il calcolo dell'induzione magnetica, con la relativa rappresentazione delle curve isolivello generate dall'insieme di linee e apparecchiature elettriche presenti all'interno dello stesso, sono dettagliatamente riportati nell'Allegato I del presente documento.

## 7 VALORI DI INDUZIONE MAGNETICA ATTESI

Dalle analisi effettuate, si è potuto riscontrare che i luoghi ove è prevista permanenza prolungata di persone, si troveranno a distanze superiori rispetto a quelle sopra indicate, e quindi è stato possibile verificare il pieno rispetto dell'obiettivo di qualità dettato dal DPCM 8 luglio 2003.

Per i cavi interrati, nel caso in cui, emergesse la difficoltà di realizzare una idonea trincea ad adeguata distanza dai suddetti luoghi adibiti a permanenza prolungata, si procederà a ricondurre i valori di campo al di sotto di 3 microtesla mediante idonee schermature.

Il posizionamento del tracciato delle linee Feeder MT in oggetto e la rappresentazione grafica delle relative Dpa, sono riportati nell'elaborato progettuale "E012PD G.01.h 0 - Planimetria generale Interventi con DPA".

### Acea Infrastructure S.p.A.

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
www.gruppo.aceait





## 8 VALORI DI CAMPO ELETTRICO ATTESI

Il campo elettrico in prossimità di elettrodotti aerei e cavi interrati a tensione uguale o inferiore a 150 kV, come da misurazioni e valutazioni effettuate, non supera mai il limite di esposizione per la popolazione di 5 kV/m.

Per i cavi MT, essendo gli stessi dotati di uno schermo metallico, il campo elettrico, generato nello spazio circostante ai cavi, assumerà livelli trascurabili.

Tutto ciò premesso, nel progetto in esame, considerate le distanze tra recettori sensibili e cavi MT, il rispetto della normativa vigente risulta sempre garantito.

## 9 CONCLUSIONI.

Ai sensi del comma 4 dell'art. 3 della Legge regionale n.42/90 che disciplina le norme in materia di opere concernenti linee ed impianti elettrici fino a 150 kV e dell'art. 114 della Legge Regionale n.14/99 che assegna alle Province competenza in materia di vigilanza sull'osservanza dei limiti e dei parametri previsti dalla normativa vigente in materia di tutela dell'inquinamento elettromagnetico in relazione agli elettrodotti con tensione fino a 150 kV, si dichiara che i raccordi MT indicati in oggetto risultano conformi alle disposizioni degli artt. 3 e 4 del DPCM 8/07/2003.

### Acea Infrastructure S.p.A.

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
E-mail: seg.aceainfrastructure@aceaspa.it PEC: aceainfrastructure@pec.aceaspa.it  
[www.gruppo.aceait](http://www.gruppo.aceait)







# ALLEGATO I

## **Acea Infrastructure S.p.A.**

Via Vitorchiano, 165 - 00189 Roma T 0657992600 - F 0657992629  
Cap Soc Euro 2.444.000 iv - CF e P.IVA 04284731009 - TRIB RM 4895/92  
CCIAA RM REA 751316 Socio Unico che esercita la direzione e il coordinamento  
ai sensi dell'art. 2497 bis c.c.: Acea SpA - CF 05394801004  
E-mail: [seg.aceainfrastructure@aceaspa.it](mailto:seg.aceainfrastructure@aceaspa.it) PEC: [aceainfrastructure@pec.aceaspa.it](mailto:aceainfrastructure@pec.aceaspa.it)  
[www.gruppo.acea.it](http://www.gruppo.acea.it)





## **Valutazione di impatto ambientale della cabina Acea E012PD a Roma (RM)**

**Rifer.: 20250130 Acea E012PD via Tuscolana, 212 - Roma (RM)**

Richiedente:  
**Acea Infrastructure SpA**  
P.le Ostinese, 2  
00154 - Roma (RM)

*N° di pagine totali: 15*

**Protocollo: SPT/25/071**  
REV.1

Del: 04/03/2025  
Del: 15/12/2025

## Sommario

1. Premessa.....	1
2. Layout architettonico.....	3
3. Definizione dei limiti di esposizione nei locali circostanti la cabina elettrica.....	4
4. Analisi MAGIC.....	5
4.1. Modello .....	5
4.2. Report.....	9
5. Conclusioni .....	13
6. Area schermatura.....	14
7. Situazione a seguito della mitigazione.....	15

# 1. Premessa

La presente relazione riporta lo studio di induzione magnetica, generata dall'insieme di infrastrutture elettriche presenti all'interno della Cabina Elettrica Acea in via Tuscolana, 212 a Roma (RM).

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  $\mu$ T** esposizione **istantanea**, valore imposto dal DPCM 8 Luglio 2003 – Art. 3;
- **3,78  $\mu$ T** per locali con presenza di **apparecchiature elettroniche sensibili**, valore indicato dalla norma tecnica CEI EN 61000-4:8;
- **3  $\mu$ 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 Analisi MAGIC)** corredata da commenti conclusivi sui valori di campo magnetico dedotti dalle simulazioni **(5 Conclusioni)**.

Completa lo studio l'eventuale layout esecutivo del sistema di schermatura adottato per il contenimento dei valori di campo magnetico nei termini di legge **(6 Area schermatura)** e termina con una rappresentazione dell'effetto schermante del sistema di mitigazione **(7 Situazione a seguito della mitigazione)**.

## 2. Layout architettonico

Nella Figura 1 si riporta la pianta del locale Cabina Elettrica al piano primo interrato con indicazione della disposizione dei componenti elettrici presenti all'interno della stessa. Vengono definiti anche i punti cardinali di riferimento per questa specifica relazione, senza che gli stessi debbano coincidere con i reali punti cardinali terrestri.

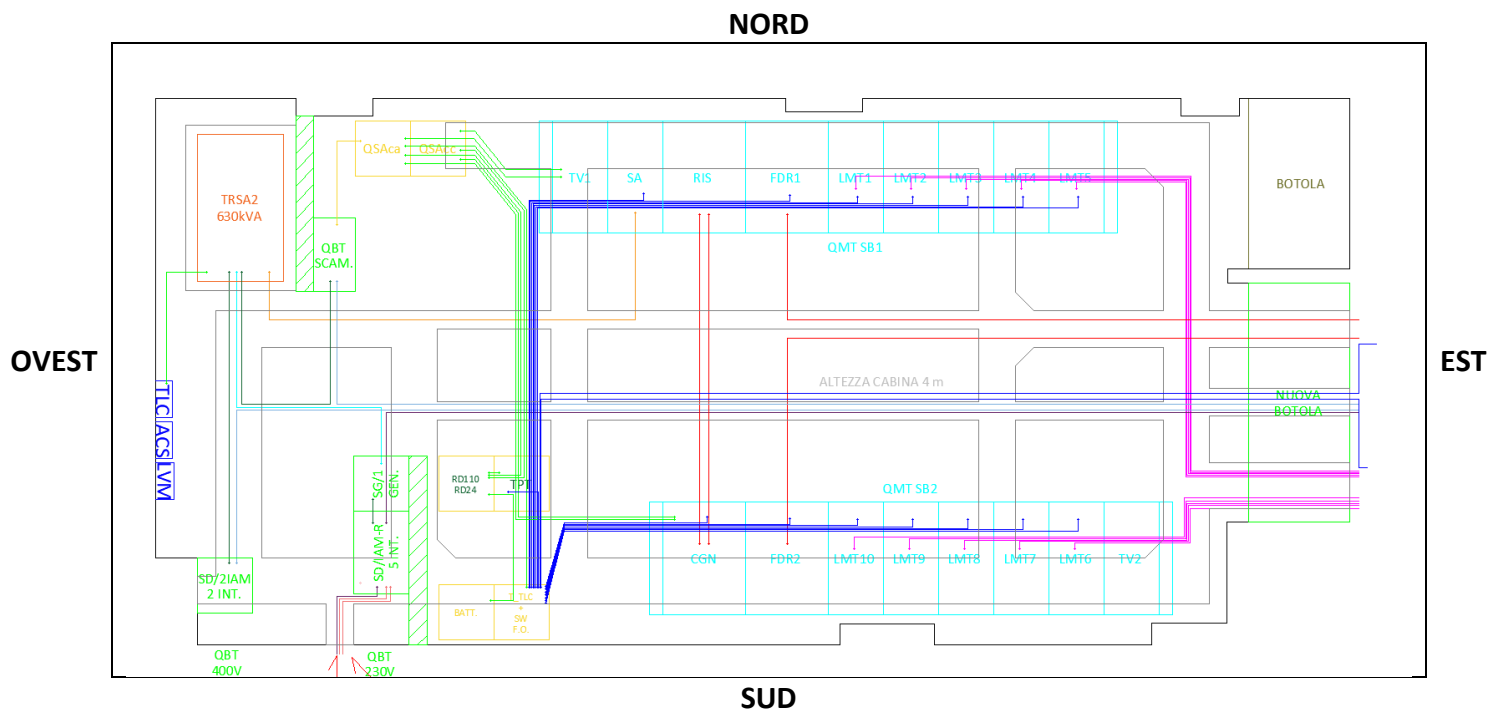


Figura 1 Pianta del locale Cabina Elettrica al piano interrato

La Cabina Elettrica è situata al piano primo interrato 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 Linee MT di anello;
- n.2 Quadri generali di media tensione;
- n.2 Linea MT di collegamento tra quadri di media tensione e trasformatori;
- n.1 Trasformatore MT/BT da 630 kVA isolato in olio con primario 20 kV e doppio secondario 420/230 kV;
- n.1 Linea BT di collegamento tra trasformatore e quadro BT di scambio;
- n.1 Linea BT di collegamento tra quadro BT di scambio e quadro BT di distribuzione;
- n.1 Quadro BT di scambio di tipo Power-Center;
- n.1 Quadro BT di distribuzione di tipo Power-Center;
- n.10 Linee MT in uscita dai quadri di media tensione verso l'esterno;

Nota: come concordato con la committenza, lo spessore delle pareti e della soletta tra piano cabina e piano terra è stato considerato, cautelativamente, con spessore 20cm.

### 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:

#### ➤ Cabina Acea

##### ○ Piano della cabina (piano terra):

###### ❖ **EST**

Non esistono locali in tale direzione (terrapieno);

###### ❖ **NORD, SUD, OVEST**

Garage privato, come richiesto dalla committenza, i valori di induzione magnetica dovranno essere al di sotto dei  $3\mu\text{T}$ ;

##### ○ Piano sovrastante la cabina (primo terra):

- Direttamente soprastante, non esistono locali caratterizzati dalla presenza continuativa di persone oltre le 4 ore giornaliere (galleria pedonale); pertanto, dovranno essere garantiti valori di induzione magnetica al di sotto del limite  $100\mu\text{T}$  all'esterno della Cabina Elettrica;
- Nelle aree limitrofe e attigue alla galleria pedonale sono presenti dei locali caratterizzati dalla presenza continuativa di persone oltre le 4 ore giornaliere (negozi); pertanto, dovranno essere garantiti valori di induzione magnetica al di sotto dell'obiettivo qualità  $3\mu\text{T}$  all'esterno della Cabina Elettrica.

## 4. Analisi MAGIC

### 4.1. Modello

Nelle Figure 2 e 3 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. La tipologia di apparecchiature utilizzate nella simulazione MAGIC® sarà la più vicina possibile alla conformazione delle sorgenti reali, partendo dagli elementi standard modellabili all'interno del software stesso. In allegato alla presente relazione si fornisce il documento di validazione del software attraverso un confronto con software già esistenti e con rilievi sperimentali.

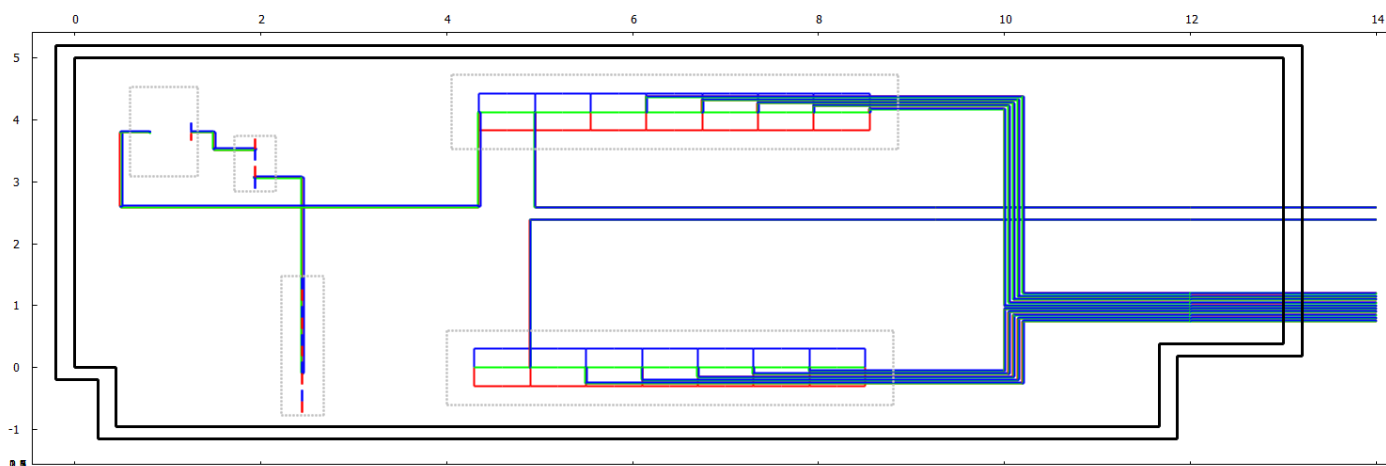
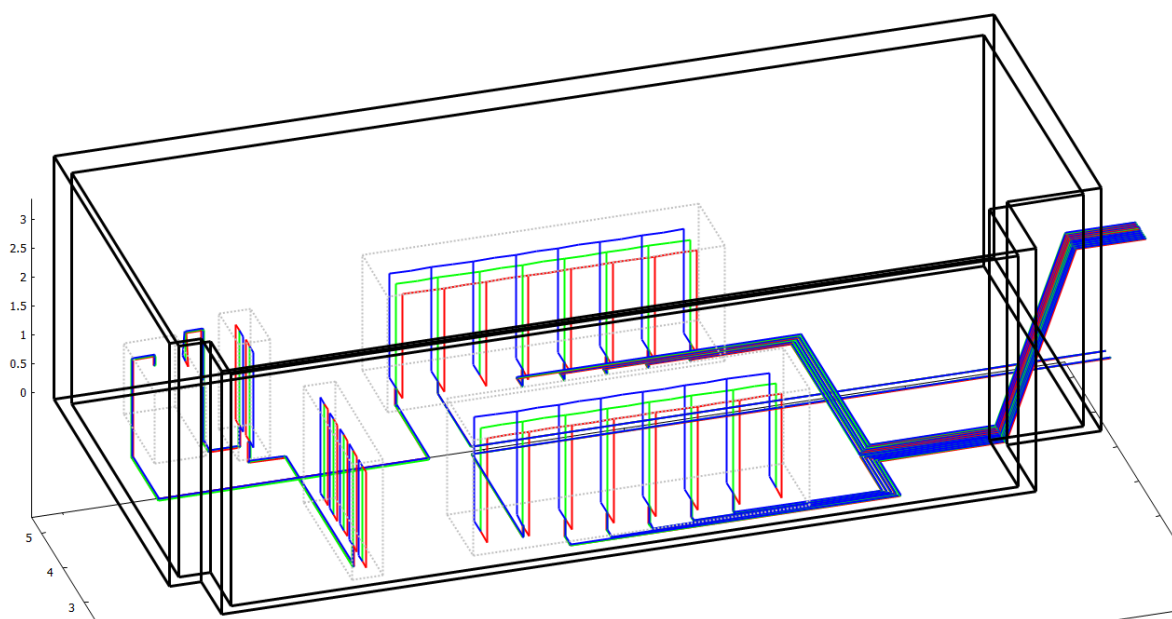


Figura 2 Layout del locale Cabina Elettrica – vista in pianta





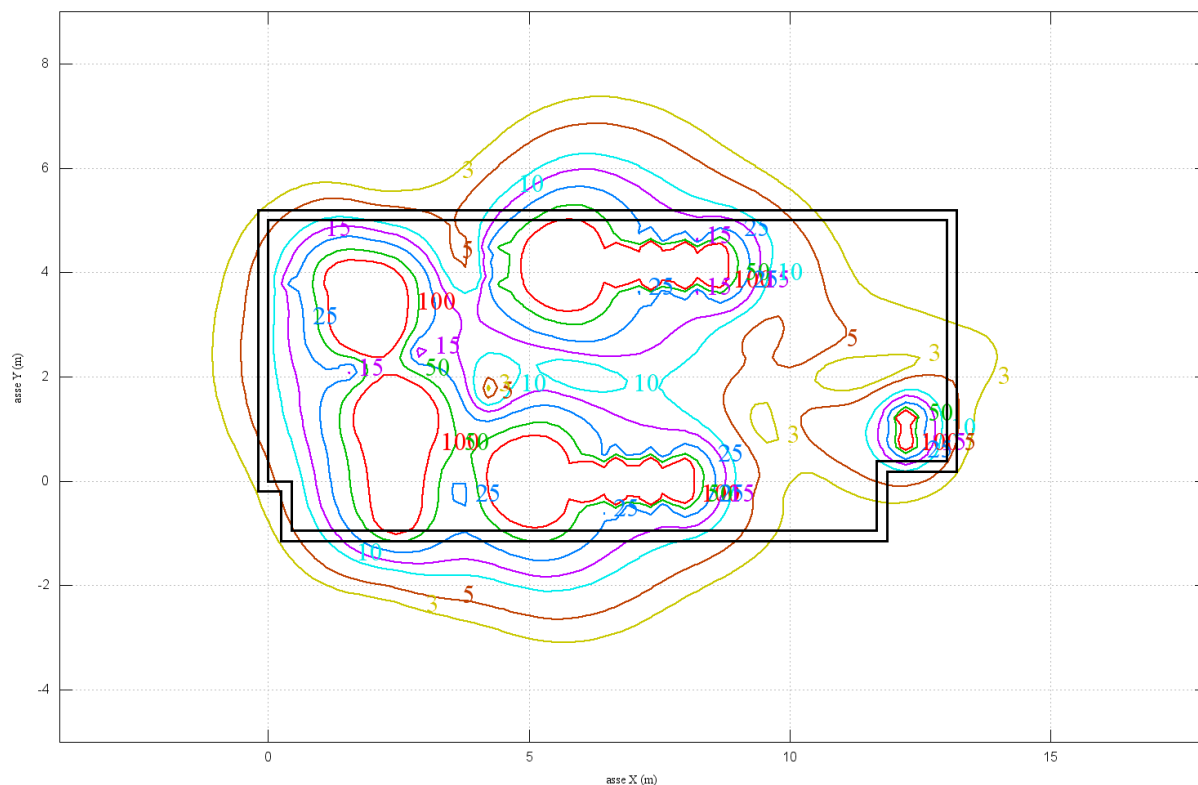
**Figura 3 Layout del locale Cabina Elettrica– vista 3D**

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  $\mu\text{T}$ , calcolati su diversi piani XY (paralleli al pavimento del locale Cabina Elettrica) per le seguenti quote:

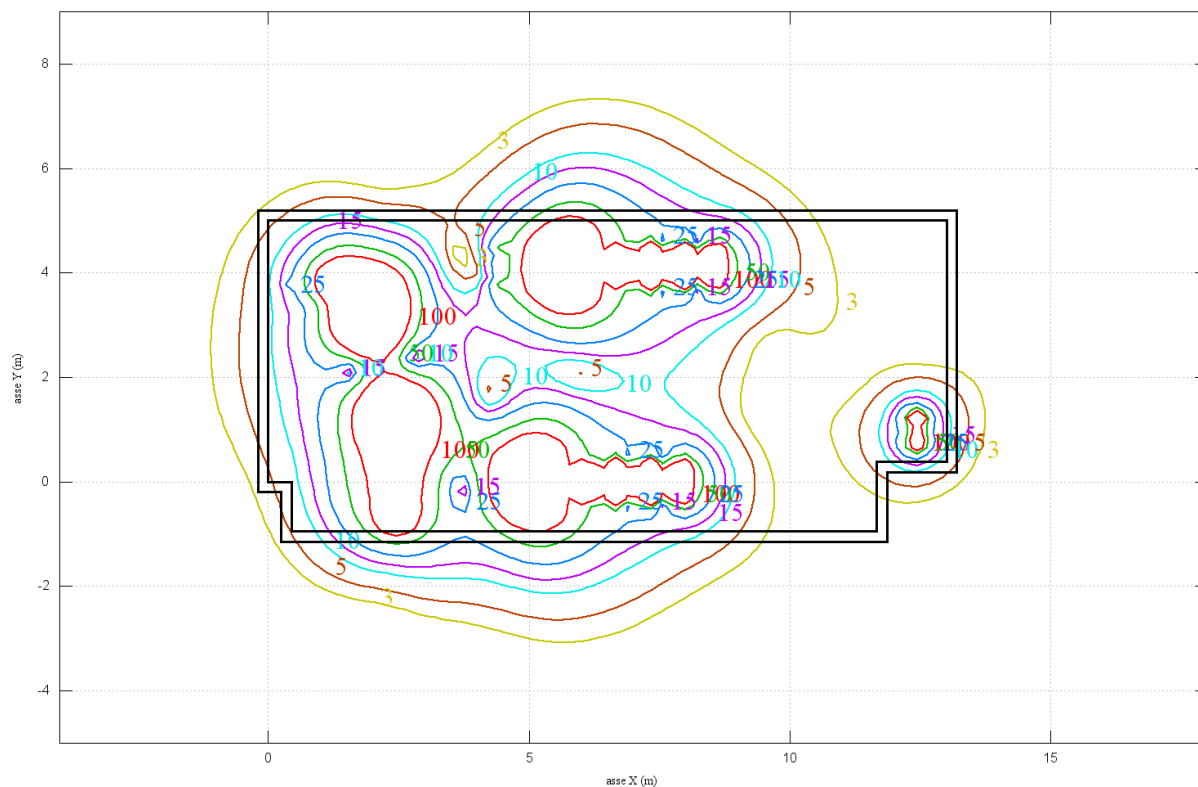
- $Z = 0,5$  corrispondente ad una quota di 0,5 metri a partire dal pavimento della cabina (Figura 4);
- $Z = 1,0$  corrispondente ad una quota di 1,0 metro a partire dal pavimento della cabina (Figura 5);
- $Z = 1,5$  corrispondente ad una quota di 1,5 metri a partire dal pavimento della cabina (Figura 6);
- $Z = 4,2$  corrispondente ad una quota di 4,2 metri a partire dal pavimento della cabina e coincidente con il calpestio del locale al piano sovrastante (Figura 7);

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



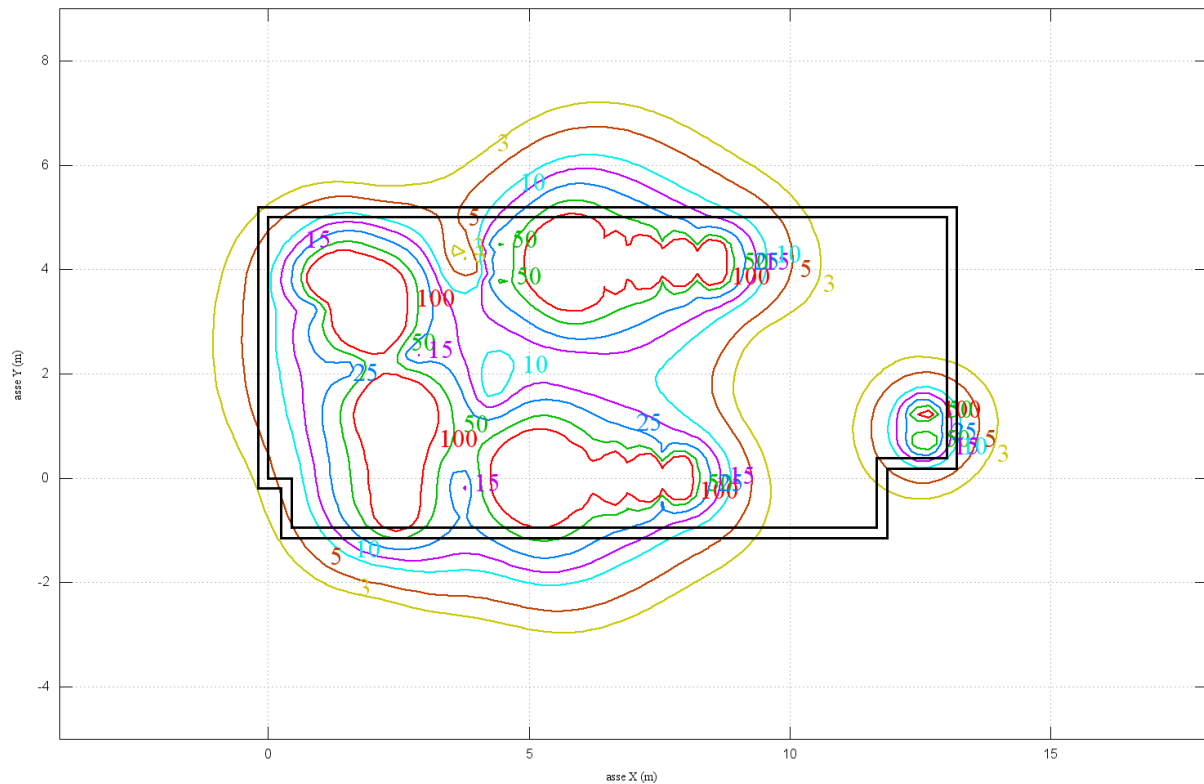
**Figura 4** Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per Z = 0,5 m

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



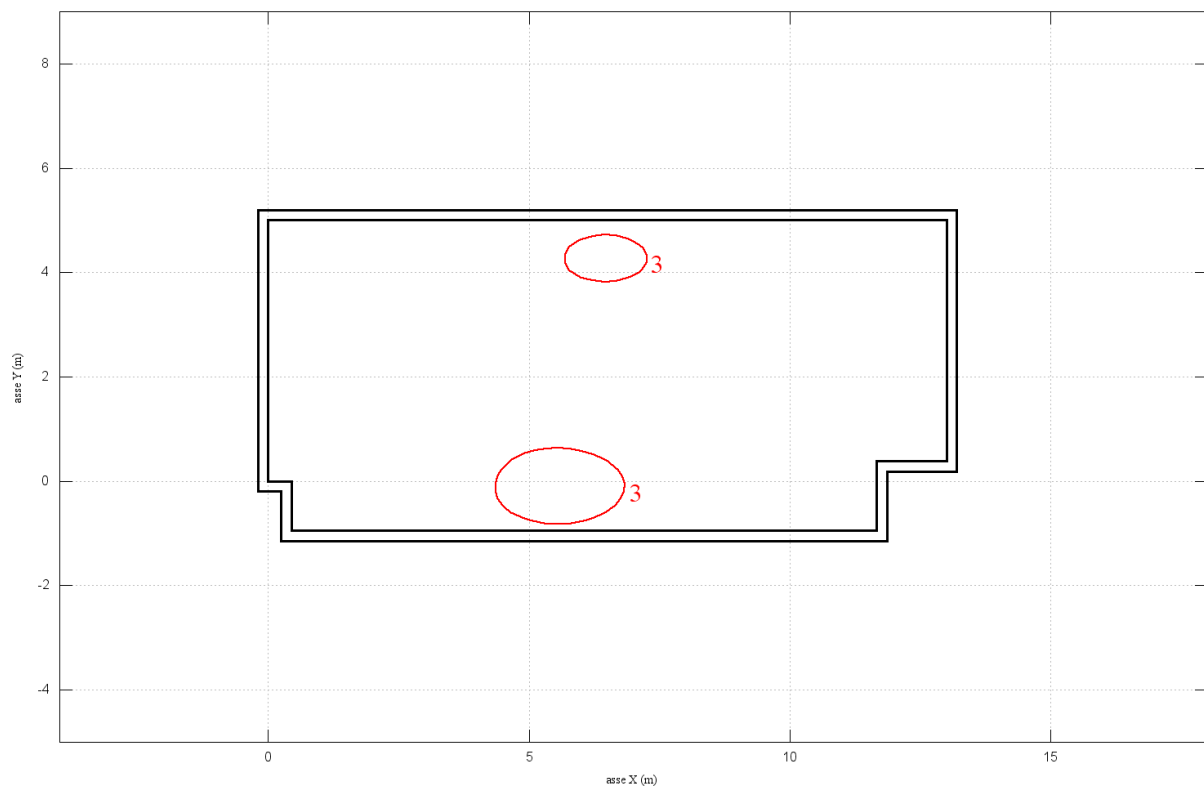
**Figura 5** Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per Z = 1,0 m

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



**Figura 6 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per Z = 1,5 m**

Cabina - calcolo su piano xy - quote Z=4,2 m



**Figura 7 Curve isolivello d'induzione magnetica calcolate su un piano XY per Z = 4,20 m**

## 4.2. Report

Una nuova funzionalità del software di calcolo tridimensionale MAGIC® consente di stampare il report delle informazioni imputate nello stesso che consentono di ottenere le curve isolivello del paragrafo precedente. Sotto se ne riportano i dati:

### ---TENSIONE DI FUNZIONAMENTO---

Bassa Tensione [V]: 230

Media Tensione [V]: 20000

-----

### --- TRASFORMATORE MT/BT 1 ---

Tipo: Olio

Potenza nominale [kVA]: 630

Corrente [A]: 1194,9 (230V ponderato a 472,5kVA)

-----

### --- Quadro Media Tensione 1 ---

Tipo di QMT: Isolato in aria, interruttori in vuoto o in SF6

Numero Celle: 8

Cella 1 [A]: 18,18

Cella 2 [A]: 0

Cella 3 [A]: 700

Cella 4 [A]: 300

Cella 5 [A]: 98,84

Cella 6 [A]: 98,84

Cella 7 [A]: 98,84

Cella 8 [A]: 98,84

--- Quadro Media Tensione 2 ---

Tipo di QMT: Isolato in aria, interruttori in vuoto o in SF6

Numero Celle: 8

Cella 1 [A]: 0

Cella 2 [A]: 700

Cella 3 [A]: 300

Cella 4 [A]: 95,45

Cella 5 [A]: 95,45

Cella 6 [A]: 95,45

Cella 7 [A]: 95,45

Cella 8 [A]: 0

-----  
--- Quadro Bassa Tensione 1 ---

Tipo di QBT: Power Center, sbarre verticali

Numero Celle: 2

Cella 1 [A]: 1194,9

Cella 1 [A]: 1194,9

--- Quadro Bassa Tensione 2 ---

Tipo di QBT: Power Center, sbarre verticali

Numero Celle: 5

Cella 1 [A]: 1194,9

Cella 1 [A]: 298,72

Cella 1 [A]: 298,72

Cella 1 [A]: 298,72

Cella 1 [A]: 298,72

--- LINEA MT 1 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 700

--- LINEA MT 2 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 700

--- LINEA MT 3 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio

Corrente [A]: 18,18

--- LINEA MT 4 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 98,84

--- LINEA MT 5 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 98,84

--- LINEA MT 6 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 98,84

--- LINEA MT 7 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 98,84

--- LINEA MT 8 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 98,84

--- LINEA MT 9 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 300

--- LINEA MT 10 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 95,45

--- LINEA MT 11 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 95,45

--- LINEA MT 12 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 95,45

--- LINEA MT 13 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 95,45

--- LINEA MT 14 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio (elicordata)

Corrente [A]: 300

-----

--- LINEA BT 1 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio

Corrente [A]: 1194,9

--- LINEA BT 2 ---

Tipo di Linea: Terna a trifoglio

Corrente [A]: 1194,9

## 5. Conclusioni

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

- In prossimità della cabina, sul medesimo piano della stessa, vi sono dei livelli di induzione magnetica superiori ai 3  $\mu\text{T}$  che invadono il garage privato nelle direzioni Nord, Sud ed Ovest. Risulta quindi necessario prevedere opere di mitigazione del campo magnetico in tali direzioni;
- La galleria pedonale soprastante la cabina è caratterizzata da livelli di induzione magnetica inferiori ai 100  $\mu\text{T}$ . Non risulta quindi necessario prevedere opere di mitigazione in tale direzione;
- I negozi soprastanti la cabina sono caratterizzati da livelli di induzione magnetica inferiori ai 3  $\mu\text{T}$ . Non risulta quindi necessario prevedere opere di mitigazione del campo magnetico in tale direzione.

Visti i risultati ottenuti dall'analisi di impatto ambientale, è stata prevista l'adozione di un'opera di mitigazione in grado di abbattere i valori di campo magnetico generati dalla sovrapposizione delle sorgenti precedentemente descritte. Tale sistema di mitigazione è stato identificato nella linea di prodotti schermanti della scrivente ditta **BEShielding S.r.l.**, tipologia **WPL/PLT e WHCM-A/HCM-A** con i relativi accessori.

In particolare, sono state previste le seguenti opere di mitigazione:

- ***Schermatura su parte delle pareti interne e su parte del soffitto della Cabina Elettrica, ove necessario.***

Il sistema schermante previsto dovrà essere installato con appositi fissaggi.

Le opere di schermatura previste tramite l'apposizione di piastre BEShielding di tipo WPL/PLT si dovranno realizzare con lo strato di materiale ad elevata conducibilità posto a vista.

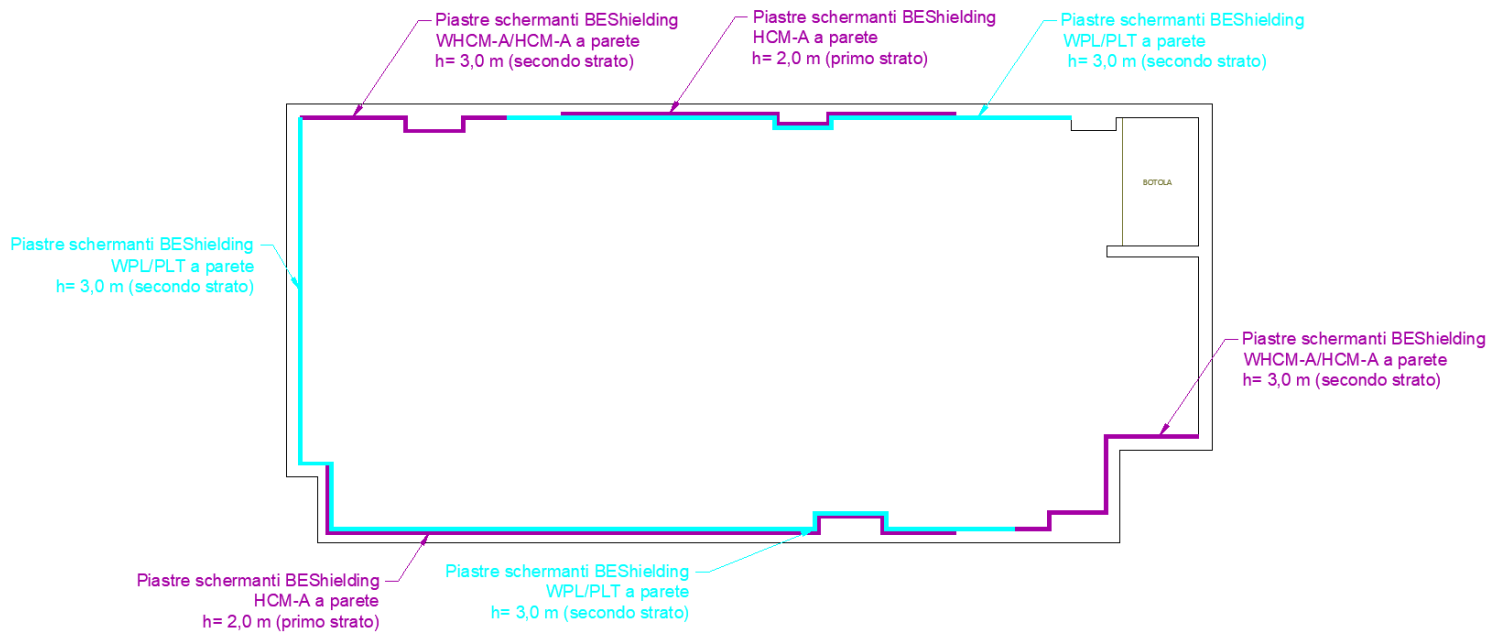
La continuità elettrica tra le piastre schermanti sarà ottenuta mediante saldatura non strutturale.

Il sistema schermante è progettato per ridurre i valori di induzione magnetica al di sotto dell'limite 3 $\mu\text{T}$ , come richiesto dalla committenza, negli ambienti attigui alla Cabina Elettrica.

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.



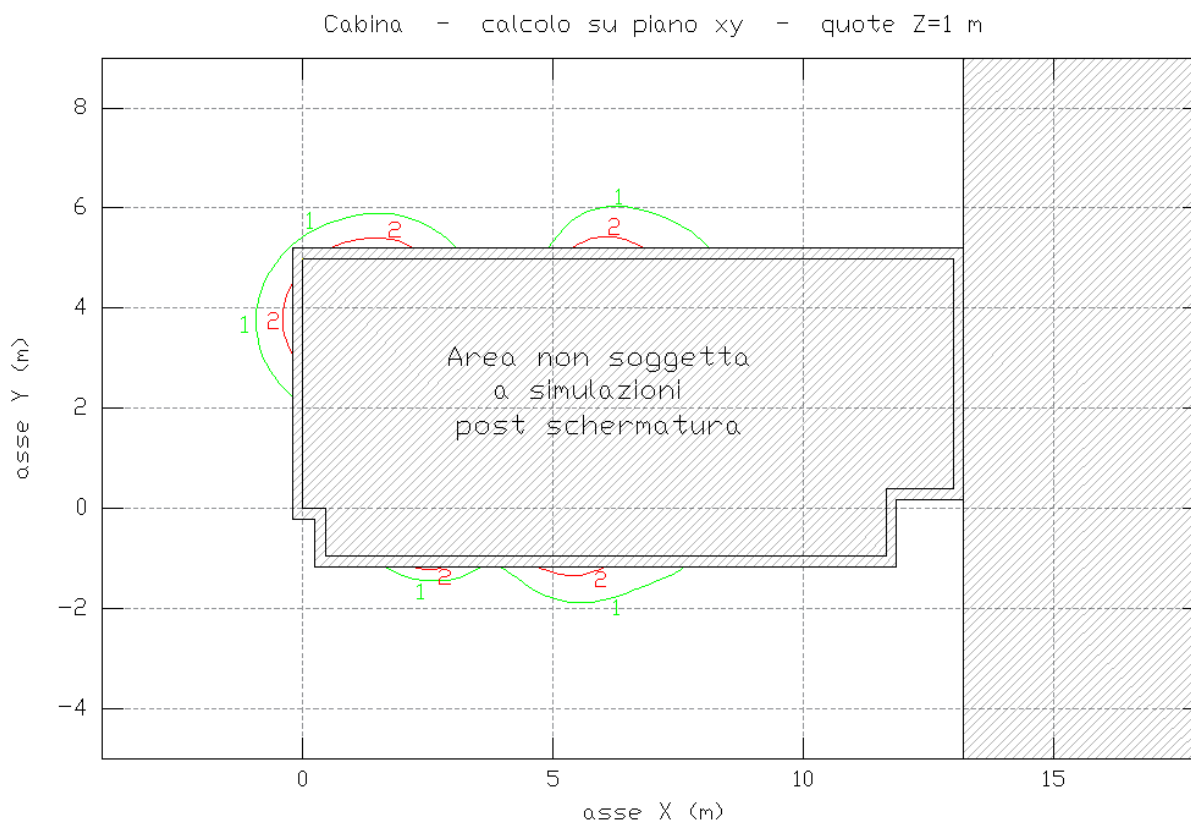
## 6. Area schermatura



**Figura 8 Layout di schermatura**

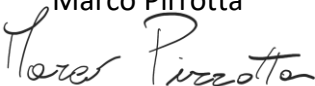
## 7. Situazione a seguito della mitigazione


Nell'immagine di seguito riportata, sono rappresentate le curve isolivello, relative a quanto presumibilmente accadrà a seguito delle opere di mitigazione.



**Figura 9 Curve isolivello d'induzione magnetica post schermatura Z=1,0 m**

Come visibile dall'immagine sopra riportata, i valori limite dell'obiettivo di qualità e il limite di esposizione dei 100 $\mu$ T istantanei, risultano rispettati nei locali sensibili, a seguito delle opere di mitigazione.

BEShielding Srl  
Technical Department  
Marco Pirrotta  


BEShielding Srl  
Project Manager Senior  
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.

## 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.

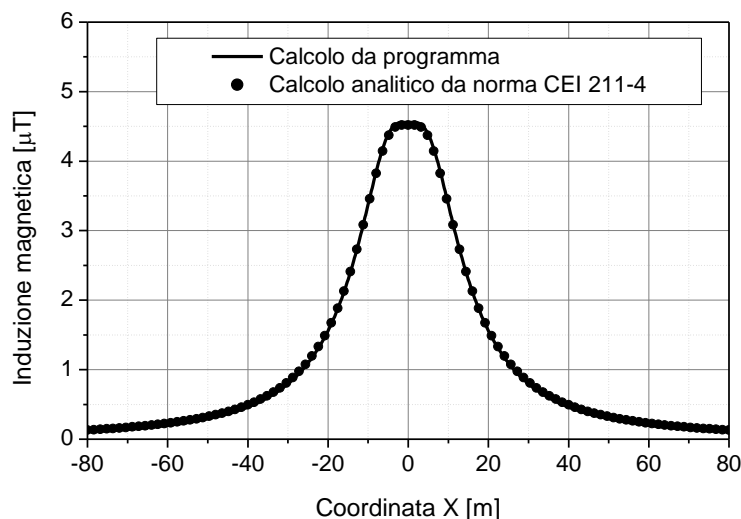


Figure 1 Induzione magnetica al suolo in prossimità di una linea aerea a doppia terna su semplice palificazione con corrente di 310: confronto tra MAGIC® e formula analitica CEI 211-4

*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

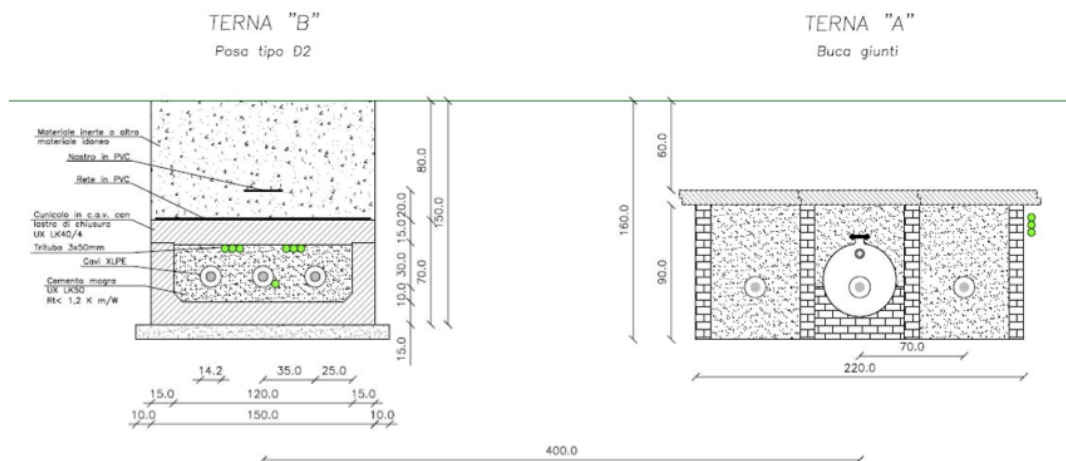


Figure 2 Affiancamento tra due linee interrate AT

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.

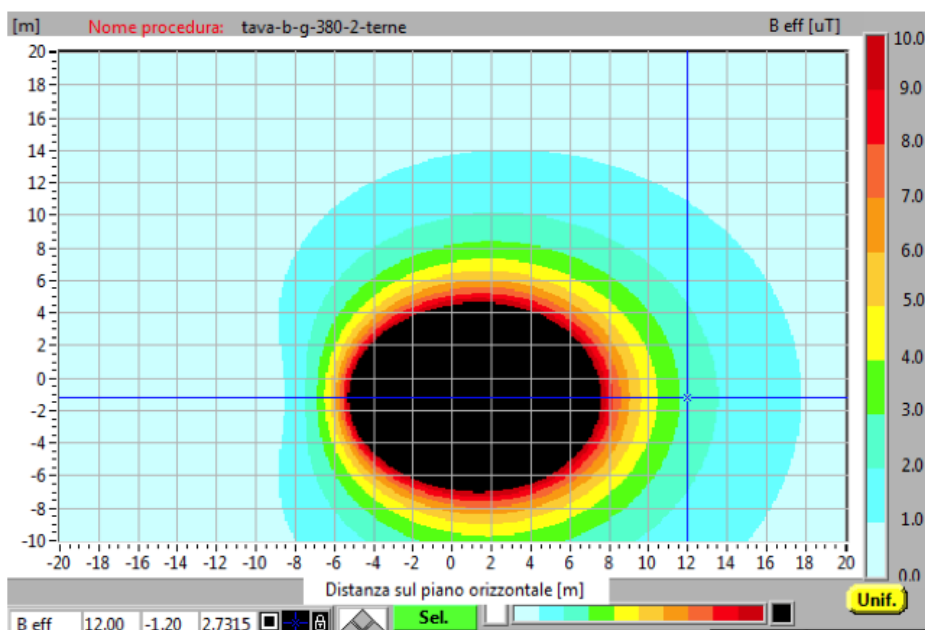
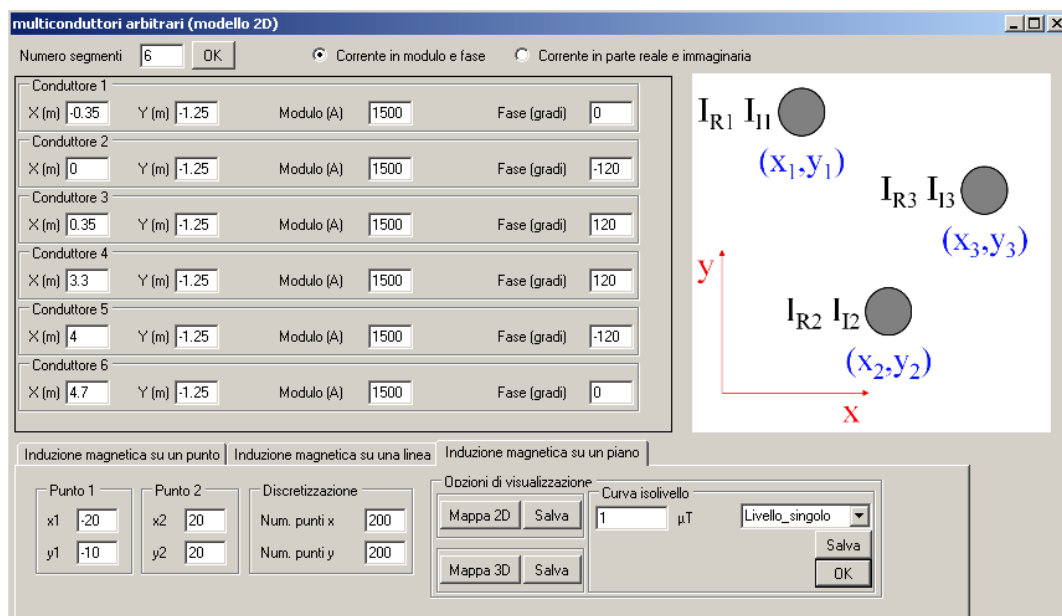


Figure 3 Mappa cromatica delle induzioni magnetiche calcolata mediante software CESI

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

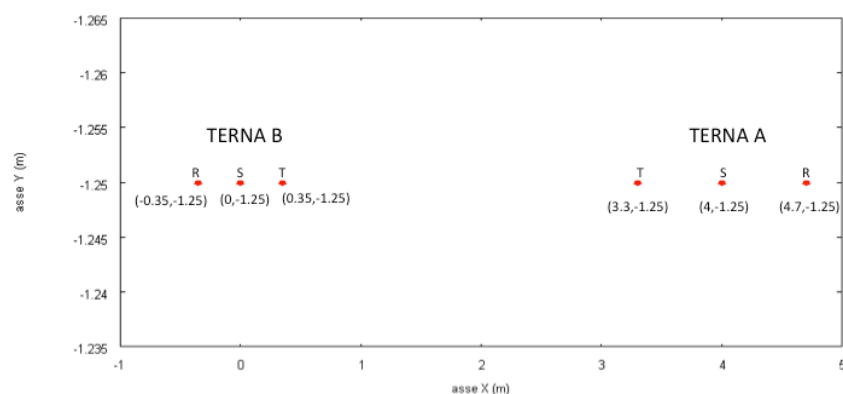
- Terne parallele
- Multiconduttori 2D

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.



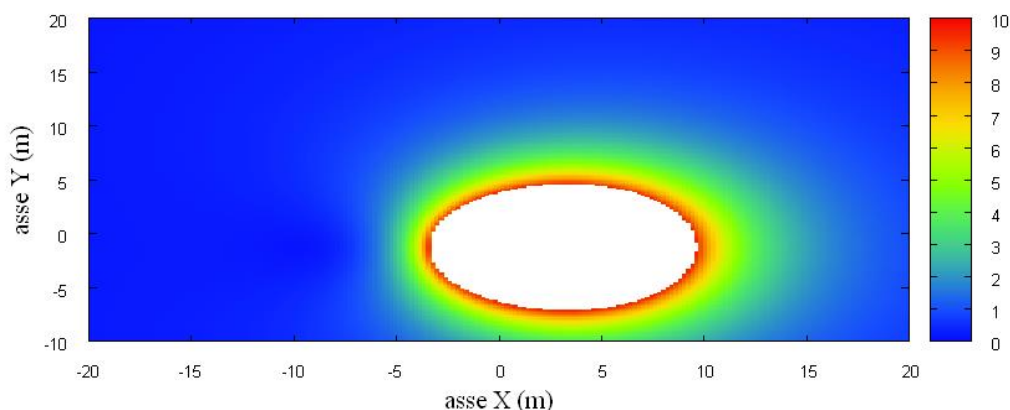
**Figure 4** Schermata di ingresso modulo “multiconduttori arbitrari (modello 2D)”: dati definizione geometria e sorgenti

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



**Figure 5** Geometria sorgenti

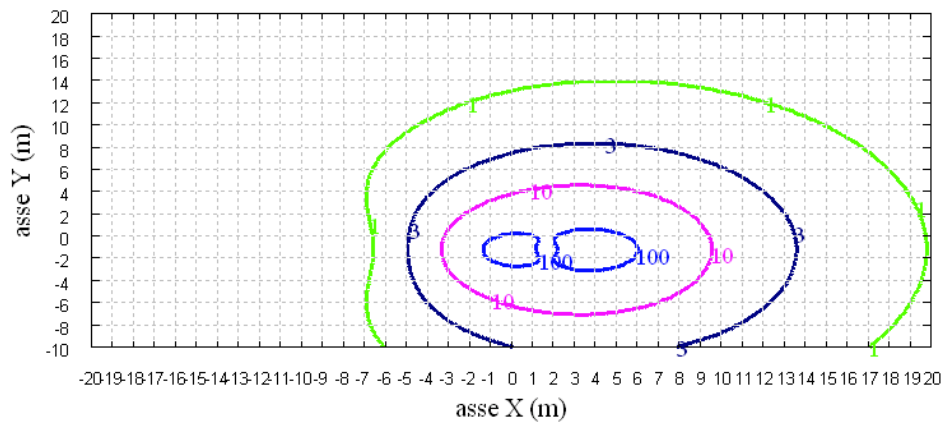
In Fig. 6 è riportata la mappa cromatica dell’induzione magnetica ottenuta dal software MAGIC® (valori in microT):



**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®.



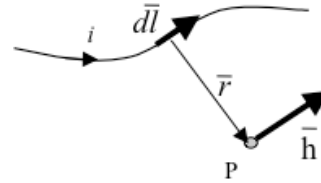
**Figure 7** Linee isolivello dell'induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) da software MAGIC®

*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.

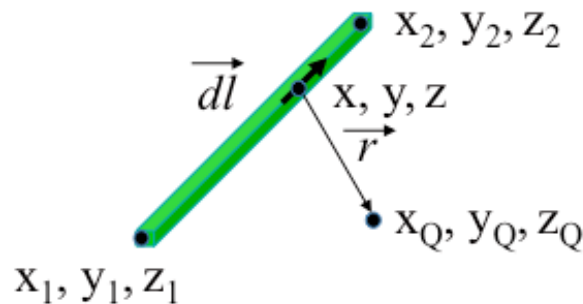


Figure 8 Modello del segmento.

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.

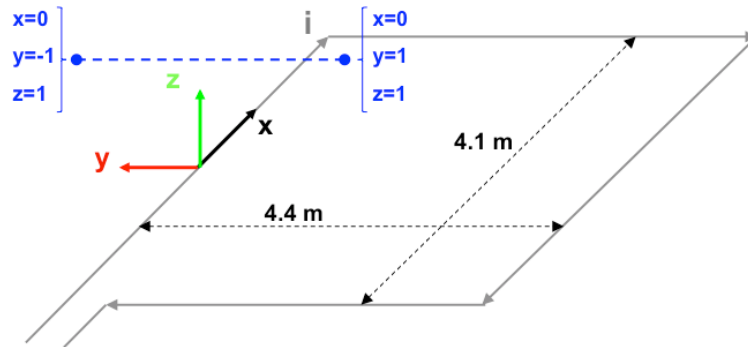


Figure 9 Schema di spira quadrata.

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.

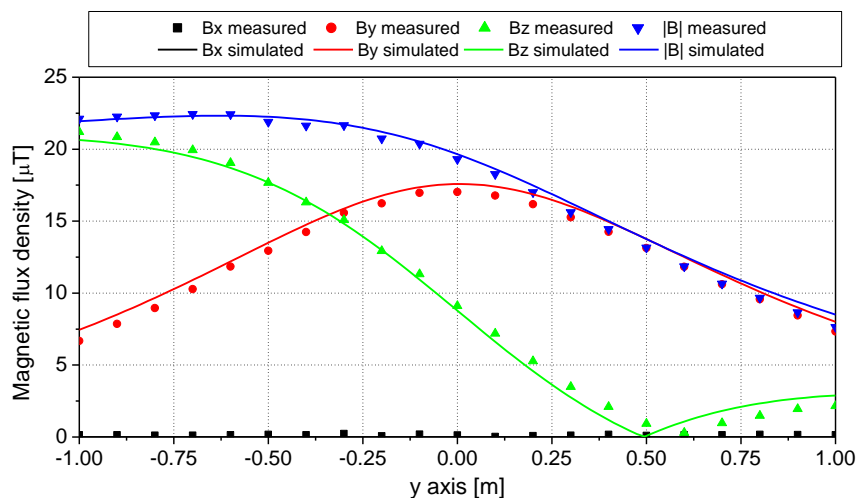


Figure 10 Induzione magnetica misurata e calcolata mediante software MAGIC®.

*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.

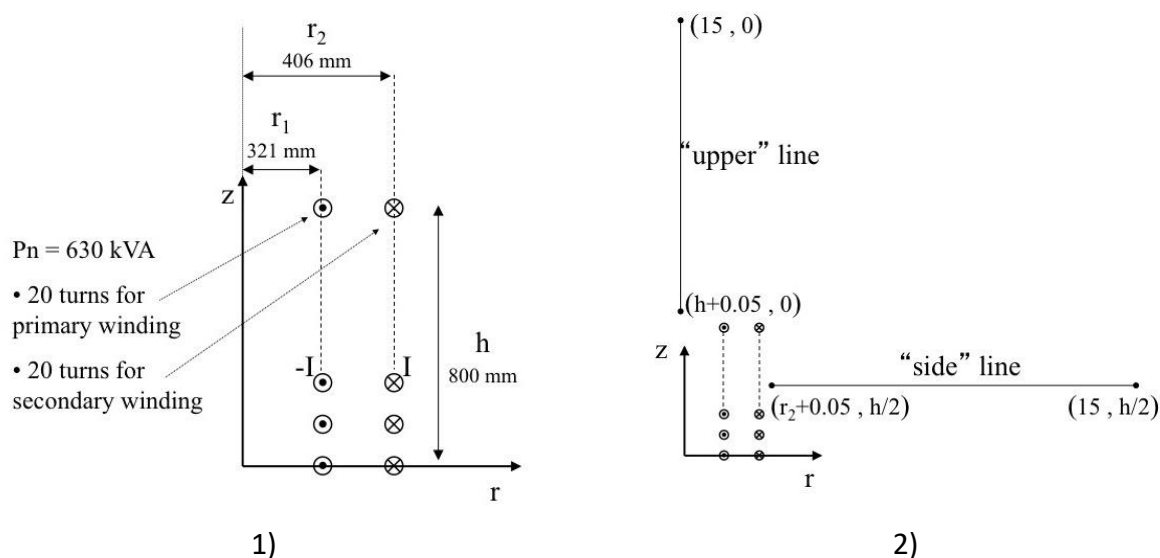


Figure 11 Geometria del sistema (1) e linee di calcolo (2)

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  $N_2$ ).

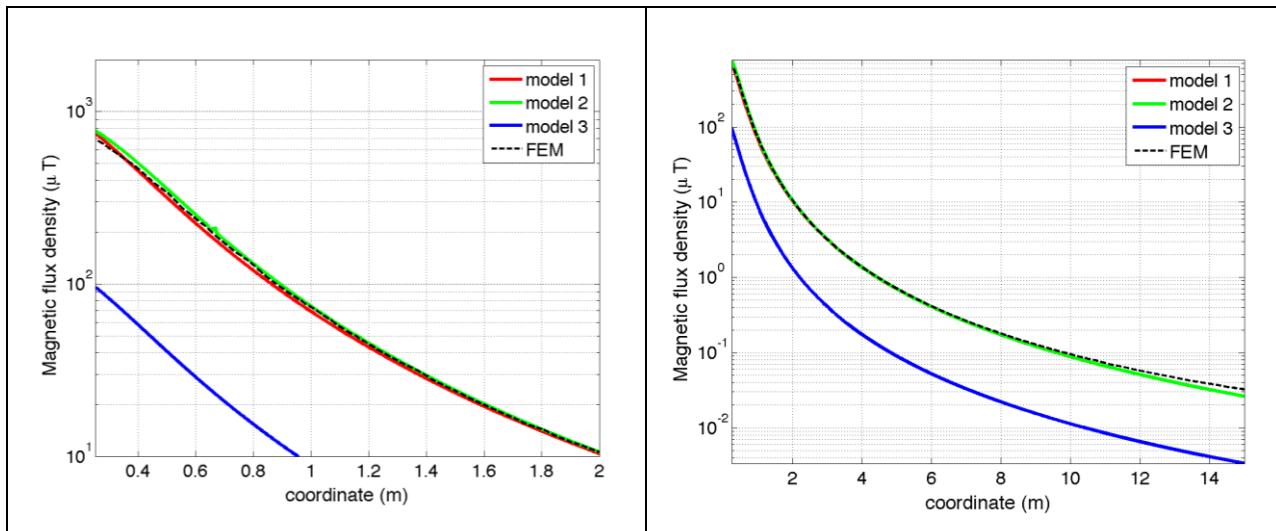


Figure 12 Induzione magnetica lungo la linea laterale

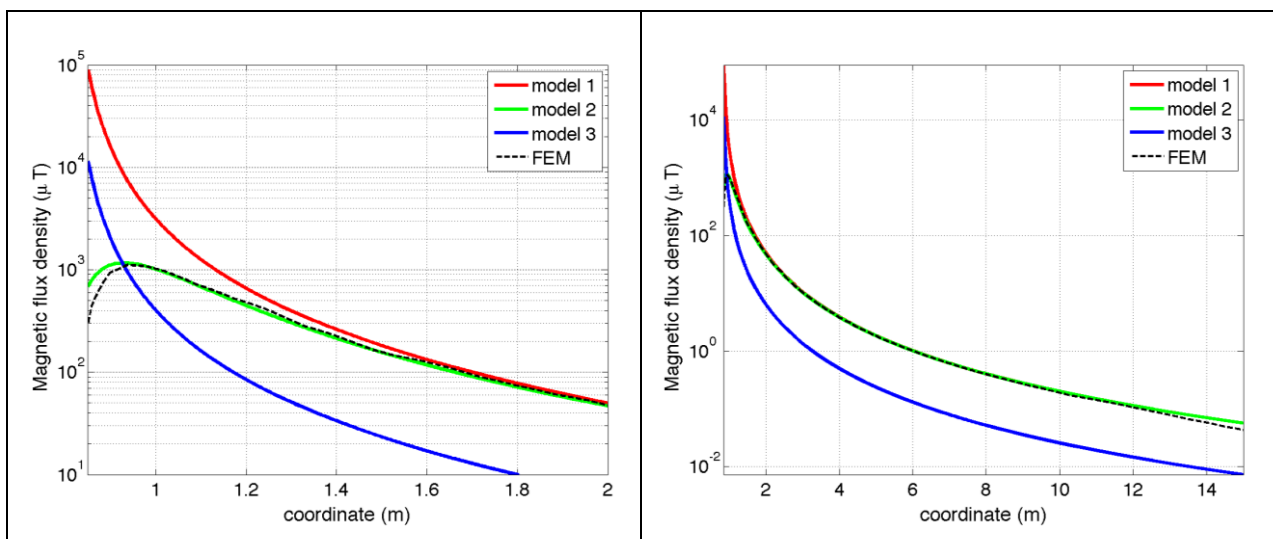


Figure 13 Induzione magnetica lungo la linea superiore

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.**

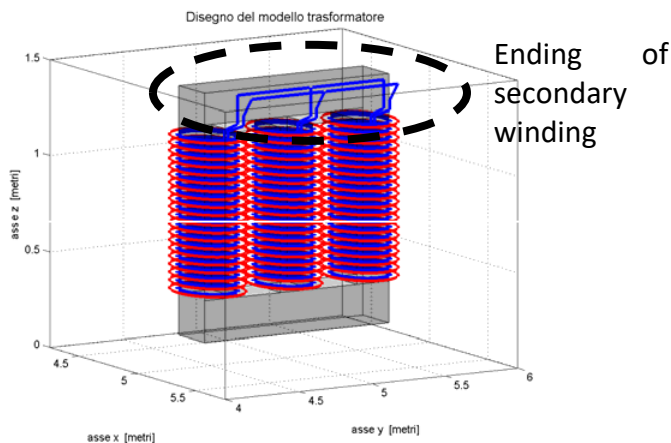


Figure 14 Connessioni elettriche considerate ai lati BT.

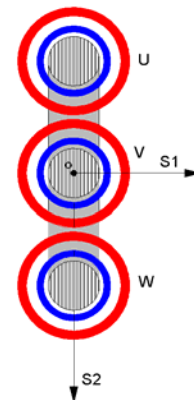


Figure 15 Linee di calcolo S1 ed S2

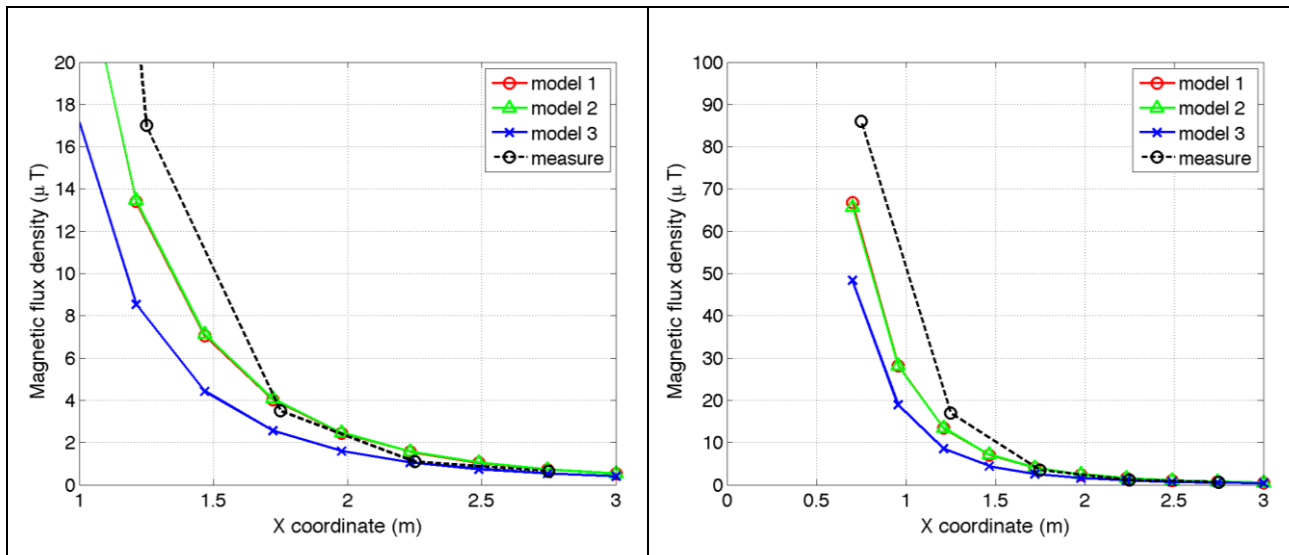


Figure 16 Confronto tra misure modelli lungo la linea S1

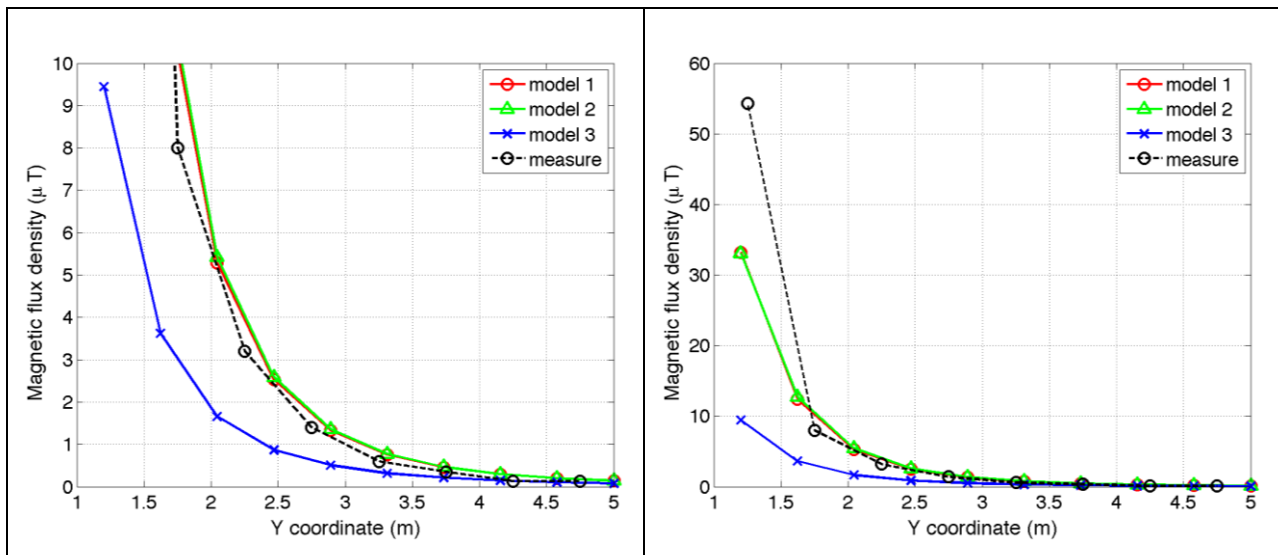


Figure 17 Confronto tra misure modelli lungo la linea S2

## 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.