

COMUNI DI:
SAN GAVINO MONREALE
GONNOSFANADIGA
GUSPINI

PROVINCIA: SUD SARDEGNA
REGIONE: SARDEGNA

FATTORIA SOLARE "SA PEDRERA"
AGROFOTOVOLTAICO DI 48,177 MW_p

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI - CAMPO AGROFOTOVOLTAICO - CAVIDOTTO MT

Tipo Elaborato	Codice Elaborato	Data	Scala CAD	Formato	Foglio / di	Scala
REL.	0121_R.17	27/04/2022	-	A4	1/59	-

PROPONENTE

EF AGRI SOCIETA' AGRICOLA a r.l.
Via Del Brennero, 111
38121 - Trento (TN)

SVILUPPO



SET SVILUPPO s.r.l.
Corso Trieste, 19
00198 - Roma (RM)

PROGETTAZIONE

Ing. Marco Marsico



Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	27/04/2022	Prima Emissione	Ing. M. Marsico	Ing. M. Marsico	Ing. M. Marsico

1. INTRODUZIONE	3
1.1. Campo di forza	3
1.2. Fondo naturale di radiazione elettromagnetica	4
1.3. Radiazione elettromagnetica dovuta al progresso tecnologico	4
1.3.1. Trasporto e distribuzione dell'energia elettrica	5
1.3.2. Impianti per radio telecomunicazione	6
1.4. Il campo magnetico	6
1.5. Lo spettro elettromagnetico	8
1.6. Effetti delle radiazioni	8
1.6.1. Radiazioni ionizzanti	8
1.6.2. Radiazioni non ionizzanti	9
1.7. Effetti termici e non-termici	9
1.8. Effetti del campo magnetico a 50 Hz e normative	9
1.9. Studi epidemiologici	10
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	12
2.1. Le linee guida internazionali	12
2.2. Raccomandazioni e direttive europee	13
2.3. La normativa italiana	13
2.4. La legislazione italiana	13
2.5. DM 29/05/08 (fasce di rispetto per elettrodotti)	15
3. METODOLOGIA DI CALCOLO	17
3.1. Valutazione delle fasce di rispetto	17
3.2. Valutazione del volume di rispetto dell'obiettivo di qualità	17
3.3. Linee elettriche a media tensione	17
3.4. Induzione magnetica infrastrutture elettriche	18
3.4.1. Moduli Fotovoltaici	18
3.4.2. Inverter	18
3.4.3. Elettrodotti interrati	19
3.4.4. Cabine elettriche	21
3.4.5. Software Magic®	21
4. ANALISI E CALCOLO INDUZIONE MAGNETICA	22
4.1. Linee MT in cavo interrato con cavi unipolari posati a trifoglio	22
4.1.1. Elettrodotto tra la Cabina di raccolta MT e la sottostazione	22
4.1.4. Casi particolari	34

4.2. Linee BT in cavo interrato con cavi unipolari posati a trifoglio.....	38
4.3. Cabina di raccolta MT	41
4.4. MVPS 1 ~ 8	45
4.5. MVPS 9 ~ 15.....	49
4.6. MVPS 16	53
5. CONCLUSIONI.....	58

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è riferita al **progetto denominato "Fattoria Solare Sa Pedrera" impianto agrofotovoltaico di 48,177 MWp** che prevede l'utilizzo di strutture fotovoltaiche elevate dal suolo e ad inseguimento solare integrate da un piano agronomico finalizzato al miglioramento fondiario dell'area d'intervento. Il progetto mira alla valorizzazione del patrimonio agricolo tramite la coltivazione in sinergia con la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile senza consumo di suolo.

L'impianto agrofotovoltaico sarà connesso alla Rete di Trasmissione Nazionale tramite:

- la realizzazione di una nuova Stazione di elevazione a 150 kV denominata "Cabina Utente Sa Pedrera", nei pressi della esistente Cabina Primaria di Guspini.
- la Cabina Utente sarà connessa tramite un cavo AT 150 kV con il nuovo stallo utente (c.d. Impianto di rete) nella Cabina Primaria di Guspini;
- un cavidotto interrato di circa 9 km, costituito da tre linee a media tensione a 30kV interrate, che collegherà l'impianto agrofotovoltaico alla Cabina Utente.

Il progetto interessa il comune di San Gavino Monreale (SU) per l'impianto agrofotovoltaico, e i comuni di Gonnosfanadiga (SU) e Guspini (SU) per la parte di connessione riguardante il cavidotto e la cabina utente.

Oggetto della presente relazione, è il calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dalle componenti elettriche dall'impianto agrofotovoltaico e dal cavidotto MT mentre per le opere di connessione MT/AT e AT, Cabina Utente e Impianto di rete, si rimanda all'elaborato "0121_R.E.08_Relazione campi elettrici e Magnetici_Rev00" del quale, in tale relazione, se ne riportano solo le conclusioni.

Nei capitoli seguenti verranno:

- Illustrate sinteticamente le considerazioni scientifiche alla base degli standard di sicurezza in materia di campi elettromagnetici;
- Presentanti i livelli tipici di campo magnetico a 50 Hz che si possono riscontrare in prossimità delle sorgenti presenti nell'ambiente esterno;
- Esposta la normativa europea e nazionale di riferimento;
- Descritte le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche interessate dal progetto e le metodologie di calcolo;
- Calcolati i valori di campo magnetico per le sorgenti derivanti dalla realizzazione del progetto (cabine elettriche e elettrodotti aerei o interrati).

1.1. Campo di forza

Un Campo di forza in fisica è una regione di spazio attorno ad un oggetto particolare (detto sorgente del campo) nella quale si manifestano forze su altri oggetti.

Seguono esempi di campi di forze:

	Campo gravitazionale	Campo elettrico	Campo magnetico
Generato da:	qualsiasi oggetto dotato di massa	qualsiasi oggetto dotato di carica elettrica	qualsiasi conduttore percorso da corrente elettrica
È una regione di spazio nella quale si manifestano forze che agiscono su:	altri oggetti dotati di massa	altri oggetti dotati di carica elettrica	altri conduttori percorsi da corrente elettrica

1.2. Fondo naturale di radiazione elettromagnetica

Sulla Terra è presente un fondo naturale di radiazione elettromagnetica di origine cosmica, (prodotto dal sole e dalle stelle), e di origine atmosferica, dovuto a fenomeni meteorologici (scariche elettrostatiche). Le radiazioni elettromagnetiche si propagano nello spazio sotto forma di onde (onde elettromagnetiche), le cui caratteristiche dipendono dalla frequenza, ossia dal numero di oscillazioni compiute in un secondo, che si misura in cicli al secondo o Hertz (Hz). Maggiore è la frequenza, maggiore è l'energia trasportata dall'onda.

L'insieme di tutte le possibili onde elettromagnetiche, in funzione della frequenza, costituisce lo spettro elettromagnetico. Al suo interno si possono distinguere due grandi zone, quella delle radiazioni ionizzanti (IR), che hanno un'energia tale da rompere i legami atomici che tengono unite le molecole e quella delle radiazioni non ionizzanti (NIR), che non hanno energia sufficiente per ionizzare la materia: è in questa regione dello spettro che si parla comunemente di campi elettromagnetici.

Un campo elettromagnetico è costituito da due grandezze che variano periodicamente nel tempo: il campo elettrico e il campo magnetico. Il primo si definisce come una proprietà o perturbazione dello spazio, dovuta alla presenza di cariche elettriche, la sua intensità si misura in Volt per metro (V/m). Analogamente, il campo magnetico è legato alla presenza di cariche elettriche in movimento (correnti elettriche) e la sua intensità si esprime in ampère per metro (A/m) o in microtesla (μT).

1.3. Radiazione elettromagnetica dovuta al progresso tecnologico

Accanto alle sorgenti naturali, il progresso tecnologico ha introdotto un contributo sostanziale dovuto alle sorgenti legate alle attività umane. L'uso sempre crescente delle nuove tecnologie ha infatti portato, negli ultimi decenni, ad un aumento della presenza di sorgenti di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, rendendo di sempre maggiore attualità la problematica dell'esposizione alle radiazioni non ionizzanti.

Le principali sorgenti artificiali di campi elettromagnetici nell'ambiente sono gli impianti per la distribuzione e l'utilizzo di energia elettrica, insieme agli apparati per radiotelecomunicazione, che operano a frequenze comprese tra 0 e 300 GHz. Più precisamente, i sistemi per la trasmissione, distribuzione e utilizzo dell'energia elettrica funzionano nell'intervallo di frequenze compreso tra 0 e 300 Hz, ed i campi elettromagnetici da essi prodotti sono chiamati ELF (Extremely Low Frequency: campi a frequenza estremamente bassa o semplicemente a bassa frequenza), mentre gli impianti per radio telecomunicazione operano nell'intervallo di frequenze da 100 kHz a 300 GHz e generano campi elettromagnetici RF (campi a radiofrequenza, microonde o semplicemente ad alta frequenza).

1.3.1. Trasporto e distribuzione dell'energia elettrica

I sistemi di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica, comunemente detti elettrodotti, sono costituiti dalle linee elettriche e dalle stazioni e cabine di trasformazione elettrica. Le caratteristiche principali di una linea elettrica sono la tensione di esercizio, che si misura in chilovolt (kV) e la corrente trasportata, che si esprime in ampère (A). La tensione di esercizio, che determina l'intensità del campo elettrico generato, è un parametro costante all'interno della linea. Le tensioni di esercizio delle linee elettriche in Italia sono 0.4 kV per la bassa tensione, 15, 20 e 30 kV per la media tensione, 132, 150, 220 e 380 kV per l'alta e altissima tensione. La corrente trasportata, parametro dal quale dipende l'intensità del campo magnetico generato, è variabile nel tempo in funzione delle richieste di energia e mediamente può assumere valori da alcuni ampère a qualche migliaio di ampère, a seconda della linea elettrica.

Gli elettrodotti distribuiti sul territorio italiano danno luogo nel loro complesso alla rete elettrica nazionale, che è articolata in una rete di trasmissione e in tre reti di distribuzione ad alta, media e bassa tensione. La Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) comprende le reti di trasmissione ad altissima tensione (AAT: 380 kV e 220 kV) e ad alta tensione (AT: 132 kV e 150 kV) e le stazioni elettriche AAT/AT (380-220/150-132 kV). La RTN costituisce l'ossatura principale della rete elettrica nazionale e svolge il ruolo di interconnessione degli impianti di produzione nazionale e di collegamento con la rete elettrica internazionale. La Rete di Distribuzione ad alta tensione (AT: 132-150 kV) collega le stazioni elettriche AAT/AT e le centrali di produzione alle cabine primarie (CP) AT/MT (150-132/30-15 kV) ubicate nel territorio provinciale e precisamente nelle aree interessate dai più elevati fabbisogni di potenza ed energia elettrica. La Rete di distribuzione a media tensione (MT: 15, 20, 30 kV) serve a garantire l'energia elettrica per le diverse aree territoriali ed i diversi settori produttivi. Tale rete è composta da linee principali denominate "dorsali" (la cui alimentazione è garantita dalle cabine primarie), che interessano, di norma, il territorio di più Comuni e servono ad alimentare grandi clienti, e da linee secondarie dette "derivazioni" (derivate appunto dalle dorsali medesime), che di norma interessano i

singoli territori comunali. Le linee dorsali collegano tra loro le cabine secondarie MT/BT (15 o 20/0,4 kV). Infine la Rete di distribuzione a bassa tensione (BT: 400-230 V) costituisce il sistema di distribuzione al servizio delle piccole utenze (abitazione, commercio, artigianato, piccola industria e similari). L'alimentazione delle linee a bassa tensione che interessano il territorio è garantita dalle cabine secondarie MT/BT.

1.3.2. Impianti per radio telecomunicazione

Le principali sorgenti di campi elettromagnetici ad alta frequenza nell'ambiente sono gli impianti per radio telecomunicazione (stazioni radio base, sistemi di diffusione radiotelevisiva, ponti radio, radar, ecc.); una delle caratteristiche principali delle sorgenti RF, da cui dipende il campo elettrico generato, è la potenza immessa in antenna, espressa in Watt (W). Nei centri abitati assumono particolare importanza gli impianti fissi per la telefonia mobile o stazioni radio base (SRB).

1.4. Il campo magnetico

Il campo magnetico si misura in Tesla (T); si usano soprattutto i sottomultipli:

millitesla	mT	un millesimo di Tesla
microtesla	μ T	un milionesimo di Tesla
nanotesla	nT	un miliardesimo di Tesla

Il campo magnetico prodotto da una corrente continua è costante nel tempo e si dice campo magnetostatico (Figura 1); il campo magnetico prodotto da una corrente alternata varia con l'andamento di una sinusoide nel tempo e si dice campo magnetico alternato o oscillante (Figura 2); la frequenza del campo (misurata in Hertz, simbolo Hz) indica quante volte la sinusoide si ripete ogni secondo; in questa relazione si tratteranno unicamente di campi magnetici oscillanti a 50 Hz.

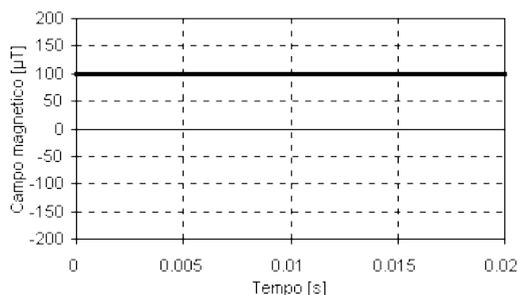


Figura 1: Campo magnetico corrente continua

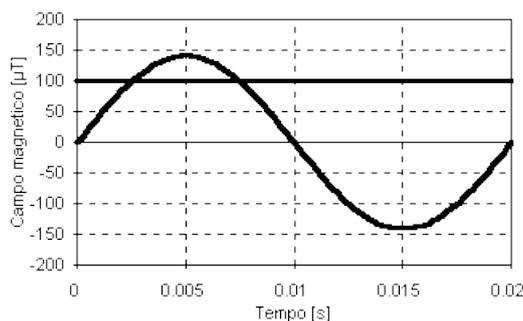


Figura 2: Campo magnetico corrente alternata

L'intensità di un campo magnetico oscillante si esprime attraverso il suo valore efficace, dato dall'intensità di un campo magnetostatico di pari contenuto energetico; si può dimostrare che essa è pari al 70% circa del valore di picco. Una delle caratteristiche più importanti del campo magnetico alternato è la sua capacità di provocare, o indurre, correnti elettriche all'interno degli oggetti conduttori esposti, come per esempio un organismo umano.

IN SINTESI:

- Il campo magnetico è generato da una qualunque corrente elettrica, come quella che scorre in un elettrodotto ad alta tensione o nell'impianto elettrico domestico o in un apparecchio utilizzatore;
- Il campo magnetico si manifesta come forza che agisce su altre correnti elettriche;
- Il campo magnetico si misura in Tesla [T] e sottomultipli; se ha andamento oscillante nel tempo, la frequenza, misurata in Hertz [Hz], indica il numero delle oscillazioni in un secondo;
- Il campo magnetico oscillante è in grado di provocare correnti elettriche negli oggetti conduttori esposti, quindi anche in un organismo umano.

1.5. Lo spettro elettromagnetico

Al variare della frequenza, l'onda elettromagnetica assume delle proprietà caratteristiche. Poiché ad ogni onda è associata un'energia trasportata, e questa è proporzionale alla frequenza, le onde ad alta frequenza trasporteranno una maggiore quantità di energia.

Lo spettro può essere suddiviso in sette regioni principali, con frequenza ed energia crescente:

Nome	Intervallo di frequenze	Sorgenti
Basse frequenze	0 - 104 Hz	Elettrodotti, elettrodomestici
Radiofrequenze	104 – 108 Hz	Antenna radio e televisive
Microonde	108 – 1011 Hz	Forni a microonde, telefoni cellulari
Infrarosso	1011 – 1013 Hz	Lampade termiche, fonti di calore
Visibile	1013 – 1014 Hz	Luce solare, lampade
Ultravioletto	1014 – 1017 Hz	Lampade UV
Raggi X, raggi gamma	1017 – 1020 Hz	Radiografia medica, raggi cosmici

1.6. Effetti delle radiazioni

La frequenza di 1015 Hz (nel campo dell'ultravioletto) divide le radiazioni in ionizzanti e non-ionizzanti.

1.6.1. Radiazioni ionizzanti

Le radiazioni ionizzanti sono quelle che hanno frequenza superiore a 1015 Hz, e comprendono l'UV lontano, raggi X e raggi gamma.

Sono gravemente dannose per la salute umana: essendo onde ad altissima energia sono in grado di generare ionizzazione, ovvero la rottura dei legami covalenti molecolari, e quindi di danneggiare i DNA delle cellule.

1.6.2. Radiazioni non ionizzanti

Le radiazioni non ionizzanti hanno frequenza inferiore a 1015 Hz, e comprendono i campi delle basse frequenze, radiofrequenze, microonde e infrarosso. La quantità di energia trasportata, e quindi trasferita ai tessuti umani quando questi vengono irradiati, non è sufficiente a rompere i legami chimici delle molecole. Vi sono però dei dubbi sulla loro innocuità, come vedremo in dettaglio.

1.7. Effetti termici e non-termici

Gli effetti biologici dei campi elettromagnetici dipendono principalmente dalla potenza trasportata dalla radiazione.

L'energia trasportata da un'onda elettromagnetica che attraversa un tessuto biologico viene dissipata all'interno del tessuto stesso sotto forma di calore. Il campo magnetico oscillante induce nel tessuto una corrente elettrica che dissipa potenza a causa delle proprietà dielettriche del mezzo.

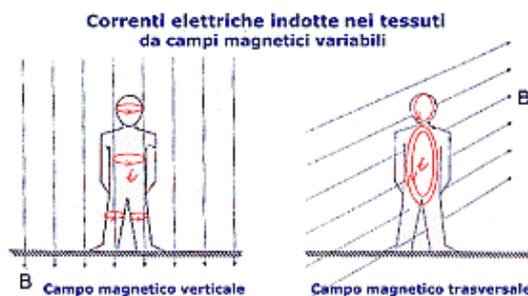


Figura 3: Correnti elettriche indotte nei tessuti

Campi elettromagnetici con densità di potenza superiore a 10 mW/cm^2 possono provocare danni biologici per effetto termico: gli effetti acuti del campo magnetico sono dovuti all'induzione di corrente elettrica nei tessuti (fino a 10 A/m^2 per campi magnetici molto intensi), e vanno da interferenze nella percezione sensoriale (visiva e tattile), alla fibrillazione ventricolare, fino al riscaldamento dei tessuti.

1.8. Effetti del campo magnetico a 50 Hz e normative

La sperimentazione su volontari ha permesso di accertare quali sono gli effetti immediati ed oggettivi provocati dalla corrente indotta in un individuo esposto al campo magnetico a 50 Hz. I più significativi sono riportati in tabella, elencati in ordine decrescente di intensità.

Effetti acuti del campo magnetico		
Effetto	Campo magnetico	Densità di corrente

Riscaldamento dei tessuti (0,4 W/kg)	1.600.000 μ T	10.000 mA/m ²
Induzione di extrasistole (rischio di fibrillazione)	130.000 μ T	800 mA/m ²
Percezione sensoriale, magnetofosfeni	16.000 μ T	100 mA/m ²
Normativa italiana	100 μ T	0,6 mA/m ²
Soglia di attenzione epidemiologica	0,2 μ T	-

Si ipotizza che le radiofrequenze e i campi a basse frequenze, anche se emessi con potenza inferiore a 10 mW/cm², possano causare danni biologici con effetti non termici. Sulla possibile dannosità dei campi elettromagnetici sono tuttora in corso molti studi medici che cercano di individuare una correlazione tra l'esposizione prolungata a campi, anche deboli, e l'insorgenza di malattie (tra cui tumori infantili), e allo stesso tempo di scoprire il funzionamento biologico dell'interazione tra campi elettromagnetici e sistemi biologici.

1.9. Studi epidemiologici

Le commissioni tecniche nazionali ed internazionali che hanno redatto le proposte di normativa non hanno ritenuto di poter tenere conto degli studi epidemiologici per formulare i limiti di esposizione. I motivi di tale scelta - che è stata più volte ribadita anche dall'Organizzazione Mondiale della Sanità - non sono oggetto di questa relazione; però occorre chiarire alcuni concetti:

Le commissioni hanno redatto normative da applicarsi esclusivamente alle esposizioni acute.	Non è vero: i testi delle varie norme precisano esplicitamente che i limiti per la popolazione si applicano ad esposizioni di durata indefinita, anche se raccomandano di applicare criteri cautelativi ispirati al principio ALARA e al concetto di evitare le esposizioni non necessarie.
Nel redigere le normative le commissioni hanno del tutto ignorato i risultati degli studi epidemiologici.	Non è vero: i risultati di tali studi vengono citati, analizzati, confrontati e commentati in dettaglio nei documenti che descrivono l'attività svolta dalle commissioni.

I commissari hanno deliberatamente voluto mantenere un atteggiamento compiacente nei confronti delle grandi aziende produttrici e distributrici di energia elettrica.	La composizione delle commissioni internazionali, che raccolgono esperti da un gran numero di paesi e da tipologie di istituzioni diverse, personalità spesso all'apice della carriera, sono una buona garanzia di comportamento super partes.
---	--

Le persone particolarmente esposte sono quelle che abitano, lavorano o comunque risiedono per lunghi periodi nelle vicinanze di elettrodotti ad alta tensione.

Studi epidemiologici, condotti a partire dalla fine degli anni '70, suggeriscono che i campi elettromagnetici a bassa frequenza possano essere considerati come "probabili cancerogeni", anche se l'associazione tra esposizione a tali campi e l'insorgenza di tumori appare di modesta entità e non è sufficiente a stabilire con certezza una correlazione tra esposizione ed effetto.

La prima ipotesi di cancerogenicità dei campi elettromagnetici a bassa frequenza (ELF, Extremely Low Frequency) fu formulata per la prima volta da Nancy Wertheimer e Ed Leeper nel 1979, con l'articolo "Electrical wiring configurations and childhood cancer" pubblicato sull'American Journal of Epidemiology.

Numerose successive indagini su residenti in abitazioni vicine a installazioni elettriche (esposti a campi magnetici di frequenza 50-60 Hz e intensità 0,2-0,4 μ T) hanno evidenziato un possibile aumento del rischio di leucemie e tumori cerebrali nei bambini; indagini su categorie di lavoratori professionalmente esposti hanno evidenziato un aumento di rischio di leucemie e di tumori mammari nella donna.

Altri studi, altrettanto ben condotti, hanno dato risultati negativi o contraddittori: i casi di tumori si sono dimostrati solo in alcuni casi leggermente superiori alla media, e non attribuibili con certezza all'esposizione a radiazioni.

La correlazione tra l'esposizione cronica a campi elettromagnetici a bassa frequenza e l'insorgere di certi tipi di tumori, in particolare leucemie infantili, è quindi ancora incerta. Inoltre non vi sono ancora conferme sperimentali dell'azione dei campi a basse frequenze sul materiale genetico cellulare, né è stata ancora formulata una convincente ipotesi di meccanismo biologico che spieghi l'effetto di questi campi sulle cellule.

Si ipotizza invece un'azione non tanto diretta (l'energia trasportata dalle onde elettromagnetiche è troppo bassa per rompere anche il più debole legame chimico), quanto piuttosto di promozione dell'insorgenza dei tumori.

Infatti, perché si sviluppi un tumore, è necessaria per prima una mutazione genetica, dovuta a diversi fattori, come l'esposizione ad agenti genotossici (ad esempio l'esposizione a radiazioni ionizzanti) o un errore nella replicazione del DNA. Ma è comunque necessario che vi sia anche un'azione "epigenetica", ovvero capace di favorire la trasformazione di una cellula pre-cancerogena in cellula cancerogena.

Le modalità d'interazione delle radiazioni non ionizzanti con la materia ed i sistemi biologici, gli effetti di tali interazioni e le possibili applicazioni dipendono strettamente dalla frequenza e di conseguenza anche i riferimenti normativi sono differenziati.

IN SINTESI:

- L'esposizione al campo magnetico a 50 Hz di intensità superiore a circa 130.000 μT può avere conseguenze sanitarie gravissime;
- Non esistono effetti accertati per esposizioni al di sotto di circa 1.600 μT ;
- L'Italia è una delle poche nazioni ad avere una legge che prescrive un livello massimo ammissibile per le esposizioni al campo magnetico a 50 Hz; il valore previsto (100 μT) risulta notevolmente cautelativo rispetto agli effetti accertati.
- Le commissioni di esperti internazionali e l'Organizzazione Mondiale della Sanità hanno più volte ribadito che i risultati degli studi epidemiologici, sebbene non possano essere ignorati, non sono abbastanza consolidati e coerenti da poter essere utilizzati per identificare dei limiti di esposizione;
- L'adozione generalizzata di limiti di esposizione basati sulla SAR (Specific Absorption Rate) (0,2 μT) comporterebbe dover destinare ingenti risorse economiche all'abbattimento dei livelli di campo magnetico a 50 Hz nell'ambiente e nelle abitazioni; tali risorse dovrebbero inevitabilmente essere distolte da altri settori di prevenzione sanitaria, dove il loro utilizzo sarebbe stato probabilmente molto più efficace, anche in considerazione del limitato impatto sanitario che, pur se dovessero trovare conferma le ipotesi peggiori, risulterebbe associato alle esposizioni al campo magnetico a 50 Hz ai livelli consentiti dalle normative vigenti.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1. Le linee guida internazionali

- ✓ 644-1994 IEEE "Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines";
- ✓ ICNIRP Guidelines "1998 Health Physics Society "Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)".

2.2. Raccomandazioni e direttive europee

- ✓ Raccomandazione del Consiglio 1999/519/CE "Raccomandazione del Consiglio del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz";
- ✓ Direttiva 2004/40/CE, 29 aprile 2004 "Directive 2004/40/EC of the european parliament and of the council on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risk arising from physical agents (electromagnetic fields)".

2.3. La normativa italiana

- ✓ CEI 211-6 "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".
- ✓ CEI R014-001 "Guida per la valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza"
- ✓ CEI 11-60 "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV"
- ✓ CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche".

2.4. La legislazione italiana

- ✓ Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici";
- ✓ D.P.C.M. 08 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".

Questo decreto, per i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità sui campi elettromagnetici alla frequenza di 50 Hz, ha stabilito quanto segue:

100μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

A titolo di misura cautelativa per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10μT, da intendersi come mediana dei valori nell'arco di 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree di gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco di 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Frequenza f = 50 Hz	Intensità di campo elettrico E [kV/m]	Induzione magnetica B [μ T]
Limite di esposizione * (da non superare mai)	5	100
Valore di attenzione ** (da non superare in ambienti abitativi già esistenti e comunque nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore)	-	10
Obiettivo di qualità ** (da non superare per i nuovi elettrodotti o le nuove abitazioni in prossimità di elettrodotti esistenti dove per nuovo si intende costruiti/e dopo il 13/09/2003)	-	3

* Valori efficaci

** Mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio

*Limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità fissati dal DPCM 08/07/2003
(G. U. Serie Generale n.199 del 28/08/2003)*

2.5. DM 29/05/08 (fasce di rispetto per elettrodotti)

Con il DM del 29 Maggio 2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti" viene approvata la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, in relazione a quanto previsto dal DPCM 8 Luglio 2003: uno degli scopi è la regolamentazione delle nuove installazioni e/o nuovi insediamenti presso elettrodotti o edifici esistenti. A tal fine occorre approntare i corretti strumenti di pianificazione territoriale come la previsione di fasce di rispetto, calcolate sulla base di parametri certi e stabili nel lungo periodo. Le fasce di rispetto sono infatti definite come "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: all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale scolastico sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore giorno". Tali fasce di rispetto sono variabili in funzione ai dati caratteristici di ogni tratta o campata considerata in relazione ai dati caratteristici della stessa. Al fine di facilitare la gestione territoriale è stato introdotto il concetto di Distanza di Prima Approssimazione (Dpa) quale: "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 delle fasce di rispetto".

Differenza simbolica tra fascia di rispetto e area (o distanza) di prima approssimazione:

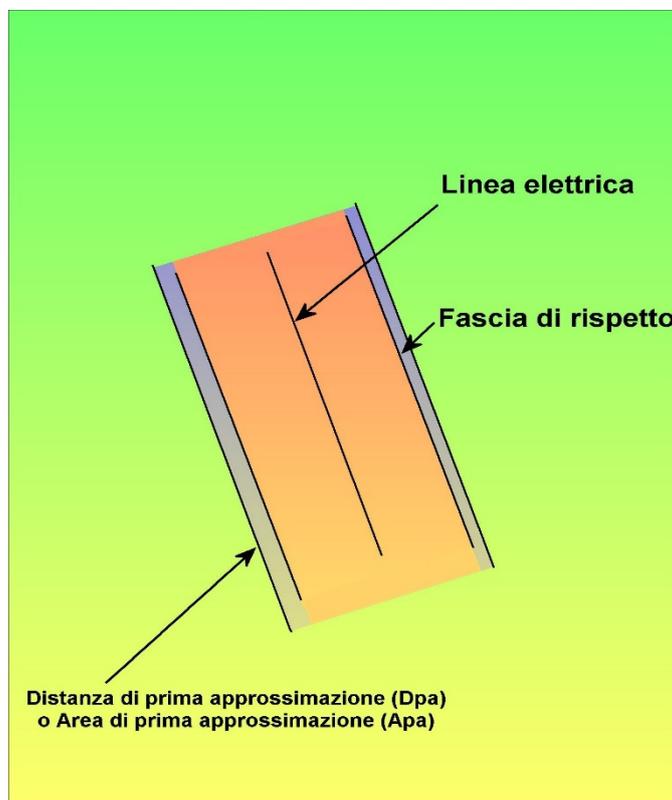


Figura 4: Fascia di rispetto, Dpa e Apa

La metodologia definita si applica alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti o in progetto, con esclusione delle linee a media tensione in cavo cordato ad elica, siano esse interrate o aeree, in quanto in questi casi le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal Decreto Interministeriale 21 Marzo 1988, No. 449 e del DMLLPP del 16 Gennaio 1991.

Tabella - Correnti per il calcolo delle fasce di rispetto nei diversi tipi di linee:

	Tipo di corrente da utilizzare per il calcolo della fascia di rispetto
Linee aeree con tensione superiore a 100 kV	Portata in corrente in servizio normale come definita dalla norma Cei 11-60 articolo 2.6: "È la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento". Deve essere calcolata per il periodo stagionale (caldo o freddo) in cui essa è più elevata.
Linee aeree con tensione inferiore a 100 kV	Portata in corrente in regime permanente fissata dai proprietari/gestori della linea in relazione ai carichi attesi con riferimento alle condizioni progettuali assunte per il dimensionamento dei conduttori.
Linee in cavo	Portata in regime permanente come definita dalla norma Cei 11-17 articolo 3.5 "massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato".

Tabella – Campo di applicazione del DM 29/05/08 (fasce di rispetto per elettrodotti):

Il DM 29/05/08 si applica a:	Elettrodotti (linee, cabine, stazioni) esistenti (solo se vicini a nuovi fabbricati) o in progetto, con linee aeree o interrate		
Il DM 29/05/08 <u>non</u> si applica a:	Linee esercite a frequenza diversa da quella di rete (50 Hz)	In tutti questi casi, la non applicabilità del decreto deriva dalla considerazione che le fasce di rispetto che si calcolerebbero sarebbero comunque inferiori alle distanze previste dal DI 449/88 e dal DM 16/01/91. Tali decreti prevedono delle distanze minime dei conduttori da fabbricati, terreni e acque non navigabili, in riferimento a possibili effetti sulla salute derivanti dai campi elettromagnetici prodotti dalle linee.	
	Linee definite di classe zero secondo il DI 449/88 ("le linee telefoniche, telegrafiche, per segnalazione e comando a distanza in servizio di impianti elettrici, le quali abbiano tutti o parte dei loro sostegni in comune con linee elettriche di trasporto o di distribuzione o che, pur non avendo con queste alcun sostegno in comune, siano dichiarate appartenenti a questa categoria in sede di autorizzazione")		
	Linee definite di prima classe secondo il DI 449/88 ("le linee di trasporto o distribuzione di energia elettrica, la cui tensione nominale è inferiore o uguale a 1000 V e le linee in cavo per illuminazione pubblica in serie la cui tensione nominale è inferiore o uguale a 5000 V")		
	Linee MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree)		
	Tipologia linea	Distanza dai fabbricati [m]	Altezza minima da terreni e specchi d'acqua non navigabili [m]
	Classe zero e prima	I conduttori devono essere inaccessibili dai fabbricati senza l'aiuto di mezzi speciali o senza deliberato proposito	5
	MT a 15-20kV	3,15	6
	Linee in cavo aereo di qualsiasi classe	Non è richiesta nessuna distanza	5

3. METODOLOGIA DI CALCOLO

3.1. Valutazione delle fasce di rispetto

La regione di calcolo deve avere un'estensione almeno pari a quella del sito di interesse.

Devono essere effettuate tutte le sezioni del campo magnetico a partire dalla quota più bassa del sito di interesse fino oltre l'altezza dei conduttori (nel caso di linee interrate dalla quota più bassa a quella più alta di interesse).

L'estensione della fascia di rispetto è la massima distanza dall'asse della linea, proiettata al suolo verticalmente (filo a piombo), alla quale si calcolano i 3 μT . Per tale valutazione si utilizzano i parametri normativi.

3.2. Valutazione del volume di rispetto dell'obiettivo di qualità

Il volume di rispetto dell'obiettivo di qualità è racchiuso dall'isosuperficie di campo magnetico a 3 μT . Per tale valutazione si utilizzano i parametri di cui al paragrafo 3.1 con la mediana nelle 24 ore come corrente di calcolo.

Per la determinazione di detto volume, si calcola la distanza massima dall'asse della linea a cui compaiono i 3 μT per almeno tre altezze ritenute significative: due metri dal suolo, altezza in gronda dell'edificio più alto aumentata di 2 m, altezza relativa alla massima estensione del volume.

Nel caso di linee elettriche interrate vengono fornite tutte le distanze di cui sopra oltre alla valutazione effettuata a livello del suolo.

3.3. Linee elettriche a media tensione

La struttura da considerare per il calcolo, comunicata dal gestore, può venire verificata mediante sopralluogo.

Per le linee aeree l'estensione della fascia di rispetto per le varie tipologie di sostegni è riportata nella seguente tabella. Il calcolo è stato effettuato in base alle tipologie di traliccio fornite dal gestore rappresentative dei sostegni con la massima spaziatura tra i conduttori e con le portate massime dichiarate dal gestore.

Tipologia	Estensione della fascia	Note	Portata di calcolo
Sostegno Stelo Semplice Terna	7.1 m / 7.6 m	(lato 1 cond. / lato 2 cond.)	350 A

Sostegno Stelo Doppia Terna	10.7 m	(struttura simmetrica)	350 A
Sostegno Traliccio Semplice Terna	8.6 m / 9.1 m	(lato 1 cond. / lato 2 cond.)	350 A
Sostegno Traliccio Doppia Terna	11.5 m	(struttura simmetrica)	350 A
Cavo Cordato Aereo	1.0 m	(struttura simmetrica)	350 A

3.4. Induzione magnetica infrastrutture elettriche

Scopo del presente capitolo è quello di descrivere le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche che verranno installate e connesse.

In particolare, saranno valutate le emissioni elettromagnetiche derivanti dalle cabine elettriche – ovvero dalle MPVS e dalla Cabine di raccolta MT – e ai cavidotti previsti per la connessione dell'impianto alla Rete di Distribuzione come previsto in STMG.

3.4.1. Moduli Fotovoltaici

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente e tensione continue e non in corrente alternata; per cui la generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori di corrente (durante la ricerca del MPP da parte dell'inverter, e durante l'accensione o lo spegnimento) e sono comunque di brevissima durata. Nella certificazione dei moduli fotovoltaici alla norma CEI 82-8 (IEC 61215) non sono comunque menzionate prove di compatibilità elettromagnetica, poiché assolutamente irrilevanti.

3.4.2. Inverter

Gli inverter sono apparecchiature che al loro interno utilizzano un trasformatore ad alta frequenza per ridurre le perdite di conversione. Essi pertanto sono costituiti per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze. D'altro canto il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo).

A questo scopo gli inverter prescelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC) (CEI EN 50273 (CEI 95-9), CEI EN 61000-6-3 (CEI 210-65), CEI EN 61000-2-2 (CEI 110-10), CEI EN 61000-3-2 (CEI 110-31), CEI EN 61000-3-3 (CEI 110-28), CEI EN 55022 (CEI 110-5), CEI EN 55011 (CEI 110-6).

Tra gli altri aspetti queste norme riguardano:

- Livelli armonici: le direttive del gestore di rete prevedono un THD globale (non riferito al massimo della singola armonica) inferiore al 5% (inferiore all'8% citato nella norma CEI 110-10). Gli inverter presentano un THD globale contenuto entro il 3%;
- Disturbi alle trasmissioni di segnale operate dal gestore di rete in super-imposizione alla trasmissione di energia sulle sue linee;
- Variazioni di tensione e frequenza: la propagazione in rete di queste ultime è limitata dai relè di controllo della protezione di interfaccia asservita al dispositivo di interfaccia (le fluttuazioni di tensione e frequenze sono però causate per lo più dalla rete stessa, e quindi si rendono necessarie finestre abbastanza ampie per evitare una continua inserzione e disinserzione dell'impianto fotovoltaico);
- La componente continua immessa in rete: il trasformatore elevatore contribuisce a bloccare tale componente (il dispositivo di interfaccia di ogni inverter interviene in presenza di componenti continue maggiori dello 0,5% della corrente nominale);
- Le questioni di compatibilità elettromagnetica concernenti i buchi di tensione (fino ai 3 s in genere) sono in genere dovute al coordinamento delle protezioni effettuato dal gestore di rete locale.

3.4.3. Elettrodotti interrati

Per quanto riguarda il rispetto delle distanze da ambienti presidiati ai fini dei campi elettrici e magnetici, si è tenuto conto del limite di qualità dei campi magnetici, fissato dalla suddetta legislazione a 3 µT.

La tipologia di cavidotti presenti nell'impianto prevede all'interno del campo fotovoltaico l'utilizzo di soli cavi tripolari ad elica (disposti a trifoglio), per i quali vale quanto riportato nella norma CEI 106-11 e nella norma CEI 11-17.

Come illustrato nella suddetta norma CEI 106-11 la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione, dovuta alla cordatura, fa sì che l'obiettivo di qualità di 3µT, anche in condizioni limite con conduttori di sezione elevata, venga raggiunto già a brevissima distanza dall'asse del cavo stesso.

L'analisi che si applica è relativa alle linee in cavo interrato con cavi unipolari posati a trifoglio:

$$B = \frac{P * I}{R^2} * 0,1 * \sqrt{6}$$

Formula valida per $R \gg P$. Dove:

- B [µT] è l'induzione magnetica calcolata alla distanza R;

- P [m] è la distanza fra i conduttori disposti ai vertici di un triangolo (in caso di distanze differenti, P diventa la media delle distanze fra i conduttori);
- I [A] è la corrente, simmetrica ed equilibrata che attraversa i conduttori;
- R [m] è la distanza dal baricentro dei conduttori.

È anche possibile calcolare le distanze R' ed R₀:

$$R' = 0,286 * P * I$$

$$R' = d + h$$

Formula valida per R>>P. Dove:

- R' [m] è la distanza dal baricentro dei conduttori alla quale l'induzione magnetica si riduce al valore dell'obiettivo di qualità;
- P [m] è la distanza fra i conduttori disposti ai vertici di un triangolo (in caso di distanze differenti, P diventa la media delle distanze fra i conduttori);
- I [A] è la corrente, simmetrica ed equilibrata che attraversa i conduttori;
- d [m] è la profondità di posa;
- h [m] è l'altezza dal livello del suolo.

$$R_0 = \sqrt{(0.082 * P * I - d^2)}$$

Formula valida per R>>P. Dove:

- R₀ [m] è la distanza dall'asse della linea a livello del suolo alla quale l'induzione magnetica si riduce al valore dell'obiettivo di qualità;
- P [m] è la distanza fra i conduttori disposti ai vertici di un triangolo (in caso di distanze differenti, P diventa la media delle distanze fra i conduttori);
- I [A] è la corrente, simmetrica ed equilibrata che attraversa i conduttori;
- d [m] è la profondità di posa.

Si può prevedere infine un campo magnetico preesistente, in base alla area in cui si trova il campo fotovoltaico da analizzare. Di conseguenza:

$$B_{TOT} = B_0 + B$$

Dove:

- B_{TOT} [μ T] è l'induzione magnetica totale;
- B_0 [μ T] è l'induzione magnetica preesistente;
- B [μ T] è l'induzione magnetica dell'elettrodotto.

3.4.4. Cabine elettriche

Per quanto riguarda le cabine elettriche, sia di trasformazione che di raccolta, le principali sorgenti di emissione sono i trasformatori BT/MT e i quadri elettrici, sia BT che MT, all'interno dei quali confluiscono i cavi.

Occorre calcolare la Distanza di Prima Approssimazione (DPA), intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali), applicando la seguente formula:

$$DPA = 0,40942 * X^{0.5242} * \sqrt{I}$$

Dove:

- DPA [m] è la distanza di prima approssimazione;
- I [A] è la corrente nominale BT;
- x [m] è il diametro esterno del cavo ottenuto simulando una linea trifase con cavi paralleli in uscita dal trasformatore.

Tale formula è valida per cabine elettriche con un unico trasformatore, nonché per cabine elettriche di tipo box (dimensioni mediamente di 4 m x 2,4 m, altezze di 2,4 m e 2,7 m) oppure cabine secondarie di specifica tecnica DG2061 edizioni 7 e 8 (dimensioni di circa 5,6m x 2,4 m, altezza 2,4 m).

3.4.5. Software Magic®

L'analisi teorica sopra esposta, poiché utilizza formule approssimate, è valida per casi semplificati (un solo elettrodotto interrato, una cabina elettrica con un solo trasformatore, ecc.).

Per poter valutare l'induzione magnetica in casi più complessi, come elettrodotti interrati caratterizzati da più cavi elettrici o cabine non standardizzate (di differenti dimensioni, dotate di più trasformatori e quadri elettrici di media e bassa tensione, ecc.), si utilizzerà invece il software Magic®.

Magic® è un software sviluppato dalla BeShielding s.r.l. per il calcolo dei livelli di induzione magnetica generati dalle più ricorrenti sorgenti di induzione magnetica, ai fini della valutazione di impatto

ambientale e della determinazione delle fasce di rispetto. Permette di studiare singole sorgenti mediante configurazioni bidimensionali e tridimensionali attraverso l'integrazione della legge di Biot-Savart. Inoltre consente di analizzare sistemi complessi, come le cabine elettriche MT/BT, tenendo conto della tridimensionalità delle sorgenti, della loro reale posizione e della sovrapposizione degli effetti delle diverse componenti della cabina. Restituisce grafici lungo linee, mappe cromatiche e linee isolivello, che permettono di visualizzare l'andamento dell'induzione magnetica nello spazio.

4. ANALISI E CALCOLO INDUZIONE MAGNETICA

Nell'analisi effettuata è stata considerata la profondità di posa delle linee interrato pari a:

- 1,1 m per l'elettrodotto interrato che collega l'impianto alla sottostazione;
- 1,2 m per le linee MT interne al campo fotovoltaico;
- 1,1 ~ 1,2 m per le linee BT interne al campo fotovoltaico.

Sono altresì considerate una altezza dal livello del suolo pari a 1,5 m (altezza uomo) e un campo magnetico preesistente pari a $0,07 \mu\text{T}$.

4.1. Linee MT in cavo interrato con cavi unipolari posati a trifoglio

4.1.1. Elettrodotto tra la Cabina di raccolta MT e la sottostazione

L'elettrodotto che collega la Cabina di raccolta MT e la sottostazione è costituito da una linea MT in cavo interrato con 3 terne di cavi unipolari posati a trifoglio (ARP1H5E $3 \times (3 \times 1 \times 500)$ mmq). Nelle immagini sottostanti sono mostrati i risultati ottenuti mediante lo studio software, ovvero la geometria dei conduttori, la mappa 2D dell'andamento dell'induzione magnetica nello spazio e le curve isolivello per il limite di esposizione ($100 \mu\text{T}$), il valore di attenzione ($10 \mu\text{T}$) e l'obiettivo di qualità ($3 \mu\text{T}$):

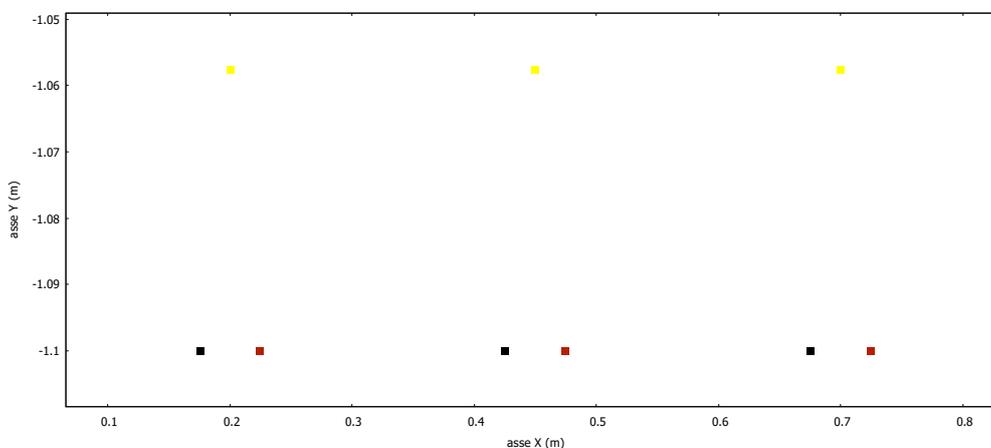


Figura 5: Elettrodotto verso sottostazione, 3 terne, geometria

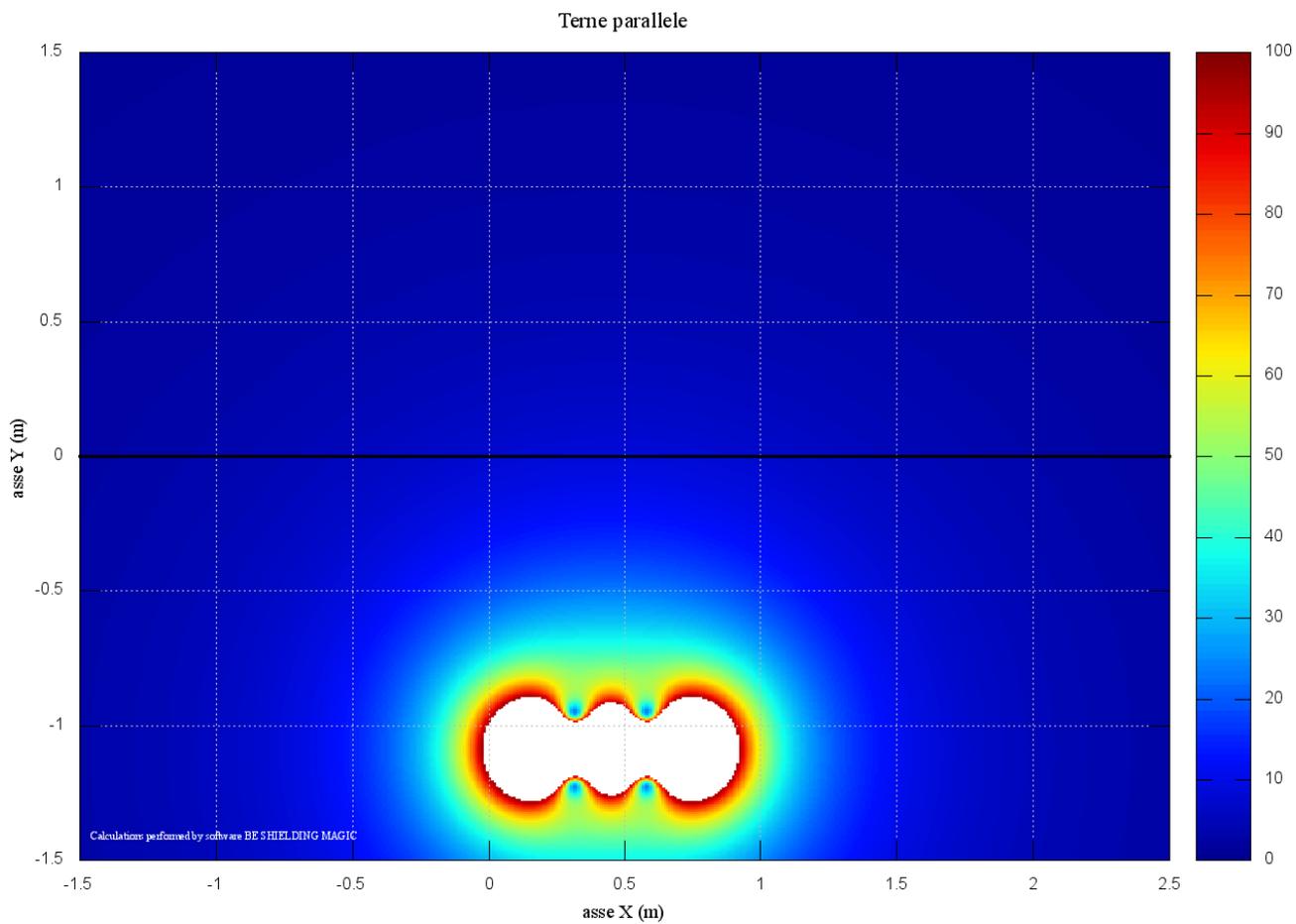


Figura 6: Elettrodotto verso sottostazione, 3 terne, mappa 2D

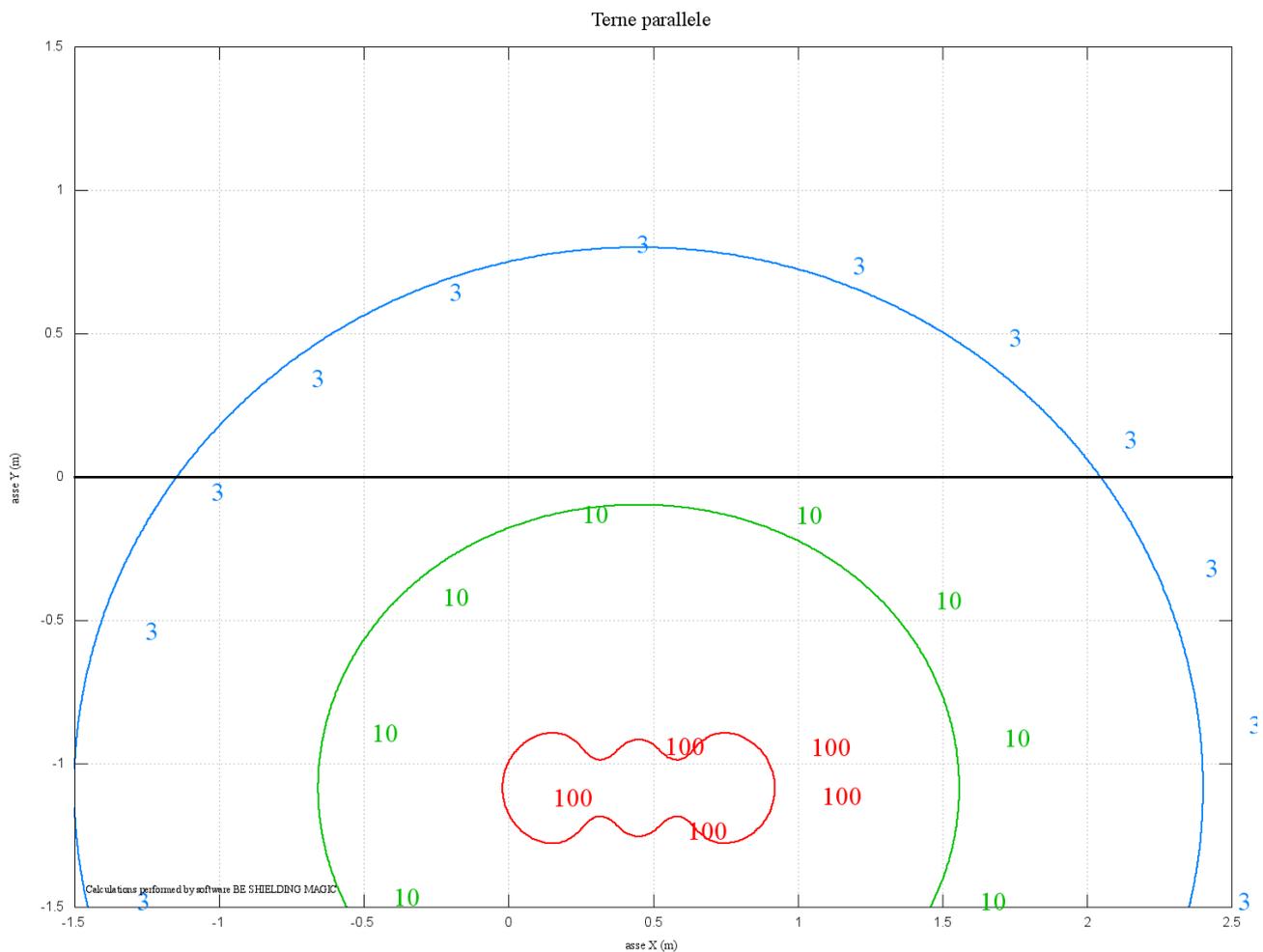


Figura 7: Elettrodotta verso sottostazione, 3 terne, curve isolivello

Le curve del limite di esposizione e il valore di attenzione si trovano al di sotto del livello del suolo (indicato dalla linea nera), pertanto risultano sempre verificati. L'obiettivo di qualità risulta dunque soddisfatto tra 0,5 e 1 m dal livello del suolo.

4.1.2. Sottocampo 1

Il Sottocampo 1 è composto da 8 MVPS connesse ad anello, denominate MVPS 1, MVPS 2, MVPS 3, MVPS 4, MVPS 5, MVPS 6, MVPS 7 e MPVS 8.

Si riporta di seguito una tabella contenente i dati utilizzati per il calcolo di una generica linea MT in cavo interrato con cavi unipolari posati a trifoglio (ARP1H5E 3x1x300 mmq), appartenente a tale sottocampo:

Potenza apparente	S [VA]	22400000
Tensione	V [V]	30000
Fattore di potenza	cos(Φ) [rad]	0,9
Corrente	I [A]	478,99
Diametro esterno cavo	Φ_{est} [mm]	43
Distanza fra i conduttori	P [m]	0,043
Distanza obiettivo di qualità	R' [m]	1,3
Profondità di posa	d [m]	1
Altezza dal livello del suolo	h [m]	0,3
Distanza dall'asse della linea	R0 [0]	0,83
Induzione magnetica preesistente	B0 [μT]	0,07
Induzione magnetica totale ad altezza uomo	Btot (h = 1,5 m) [μT]	0,88
VERIFICA LIMITE ESPOSIZIONE		VERIFICATO
VERIFICA VALORE DI ATTENZIONE		VERIFICATO
VERIFICA OBIETTIVO DI QUALITÀ		VERIFICATO

Si riportano di seguito i risultati ottenuti mediante lo studio software, suddivisi caso per caso:

- **ELETTRODOTTO INTERRATO CON 1 TERNA DI CAVI DISPOSTA A TRIFOGLIO**

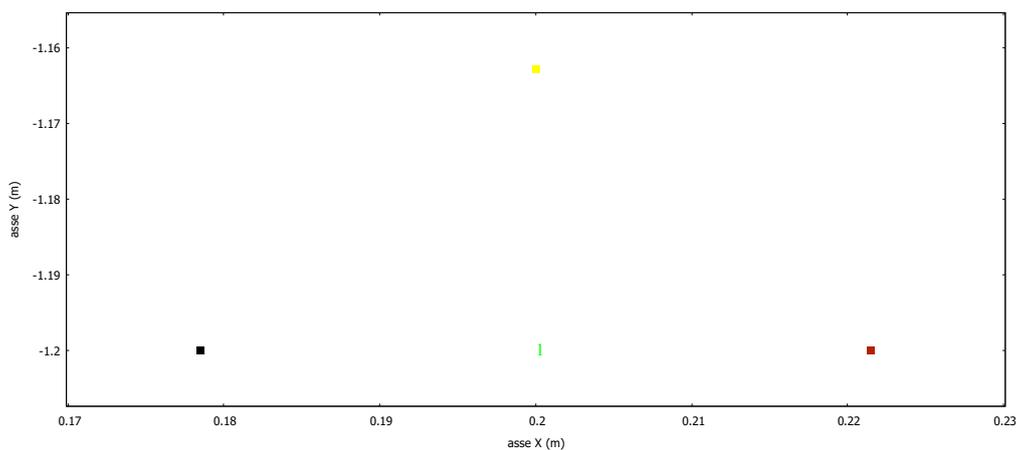


Figura 8: Sottocampo 1, 1 terna, geometria

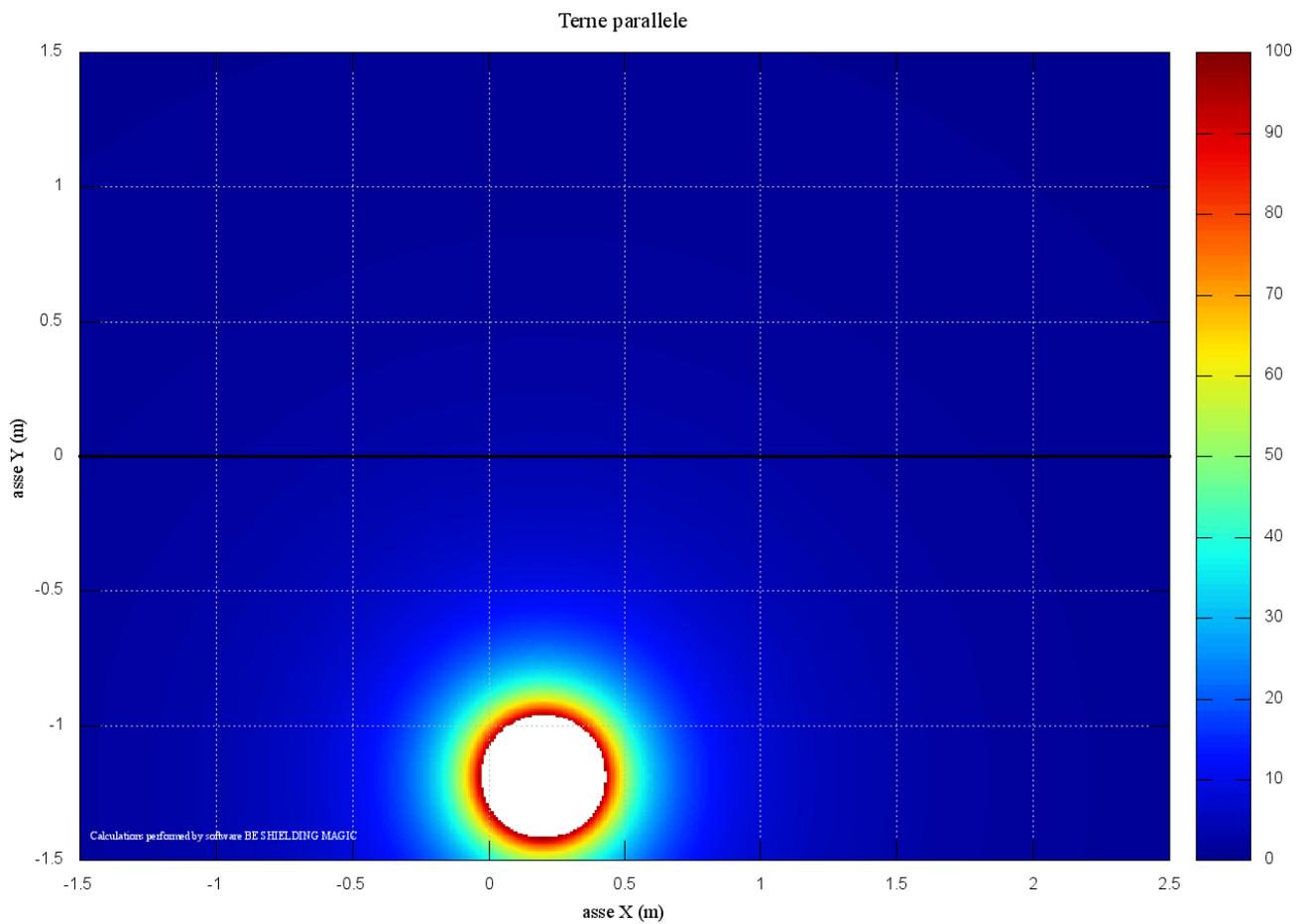


Figura 9: Sottocampo 1, 1 terna, mappa 2D

Terne parallele

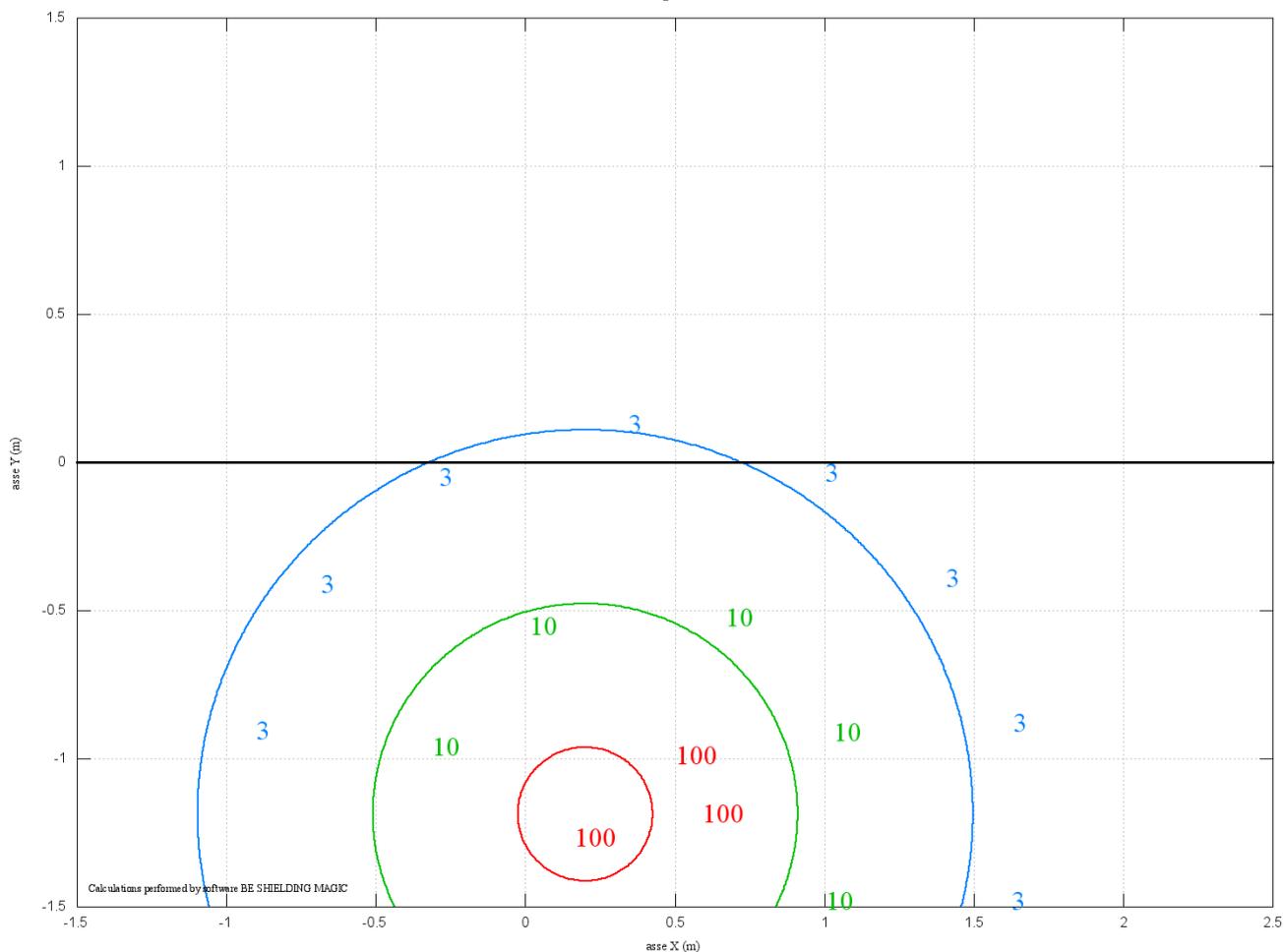


Figura 10: Sottocampo 1, 1 terna, curve isolivello

L'obiettivo di qualità risulta soddisfatto tra 0 e 0,5 m dal livello del suolo (indicato dalla linea nera).

- **ELETTRODOTTO INTERRATO CON 2 TERNE DI CAVI PARALLELE DISPOSTE A TRIFOGLIO**

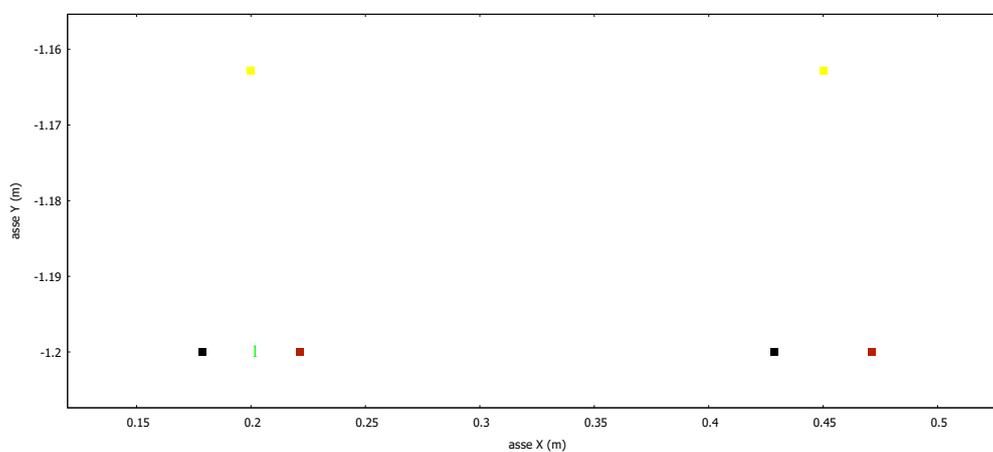


Figura 11: Sottocampo 1, 2 terne, geometria

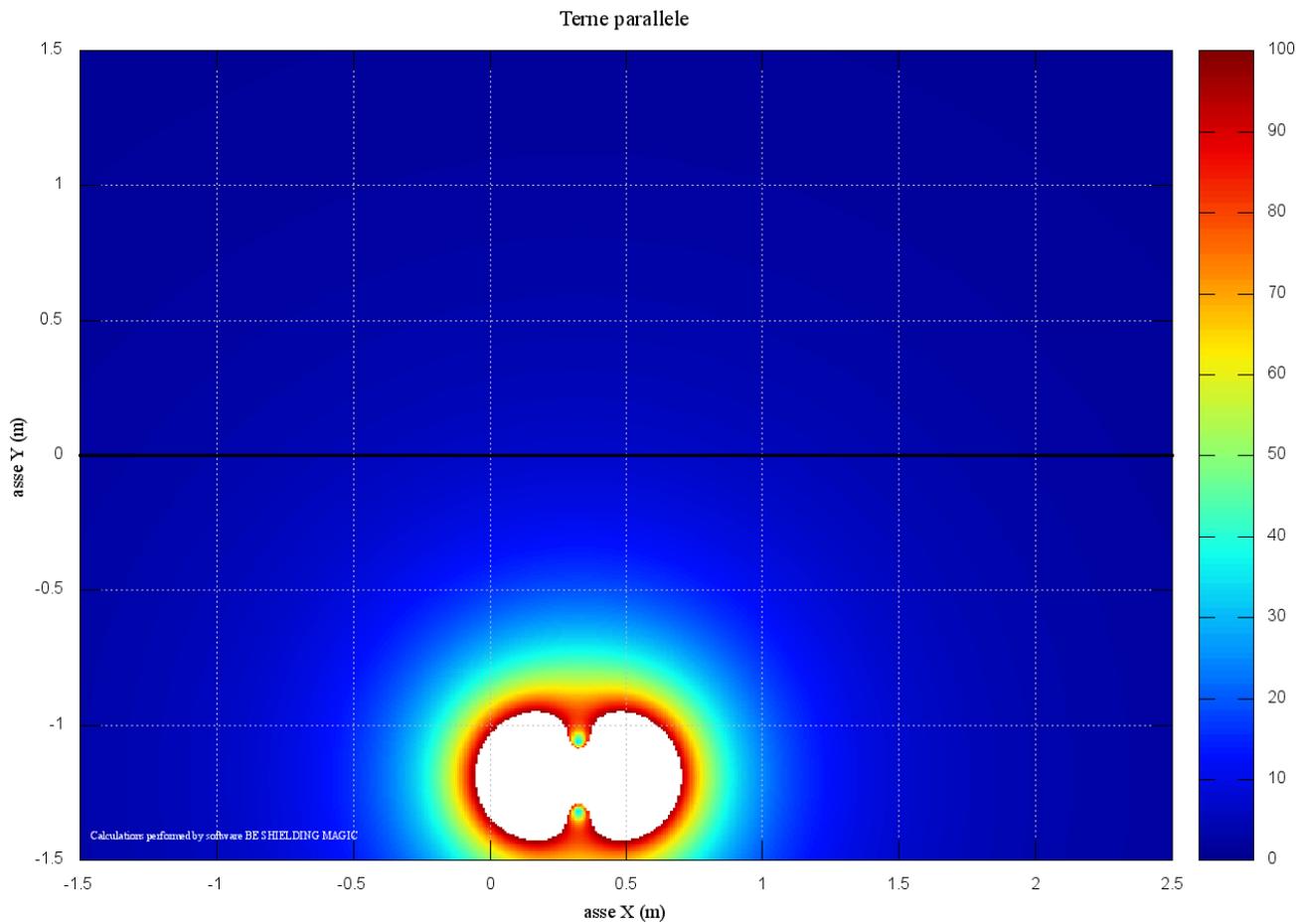


Figura 12: Sottocampo 1, 2 terne, mappa 2D

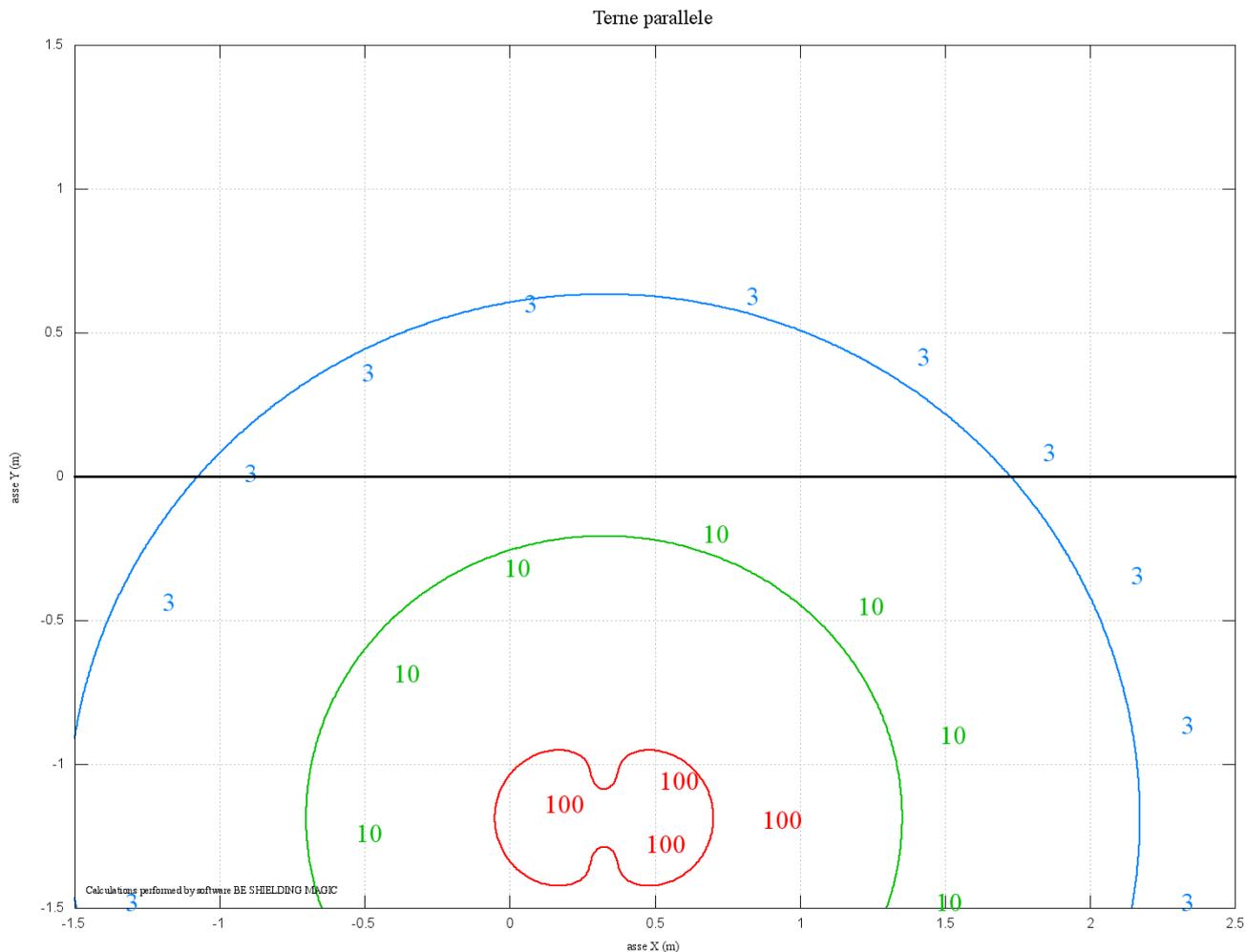


Figura 13: Sottocampo 1, 2 terne, curve isolivello

L'obiettivo di qualità risulta soddisfatto tra 0,5 e 1 m dal livello del suolo (indicato dalla linea nera).

4.1.3. Sottocampo 2

Il Sottocampo 1 è composto da 8 MVPS connesse ad anello, denominate MVPS 9, MVPS 10, MVPS 11, MVPS 12, MVPS 13, MVPS 14, MVPS 15 e MPVS 16.

Si riporta di seguito una tabella contenente i dati utilizzati per il calcolo di una generica linea MT in cavo interrato con cavi unipolari posati a trifoglio (ARP1H5E 3x1x300 mmq), appartenente a tale sottocampo:

Potenza apparente	S [VA]	20650000
Tensione	V [V]	30000
Fattore di potenza	cos(Φ) [rad]	0,9
Corrente	I [A]	441,57
Diametro esterno cavo	Φ_{est} [mm]	43
Distanza fra i conduttori	P [m]	0,043
Distanza obiettivo di qualità	R' [m]	1,25
Profondità di posa	d [m]	1
Altezza dal livello del suolo	h [m]	0,25
Distanza dall'asse della linea	R0 [0]	0,75
Induzione magnetica preesistente	B0 [μT]	0,07
Induzione magnetica totale ad altezza uomo	Btot (h = 1,5 m) [μT]	0,81
VERIFICA LIMITE ESPOSIZIONE		VERIFICATO
VERIFICA VALORE DI ATTENZIONE		VERIFICATO
VERIFICA OBIETTIVO DI QUALITÀ		VERIFICATO

Si riportano di seguito i risultati ottenuti mediante lo studio software, suddivisi caso per caso:

- **ELETTRODOTTO INTERRATO CON 1 TERNA DI CAVI DISPOSTA A TRIFOGLIO**

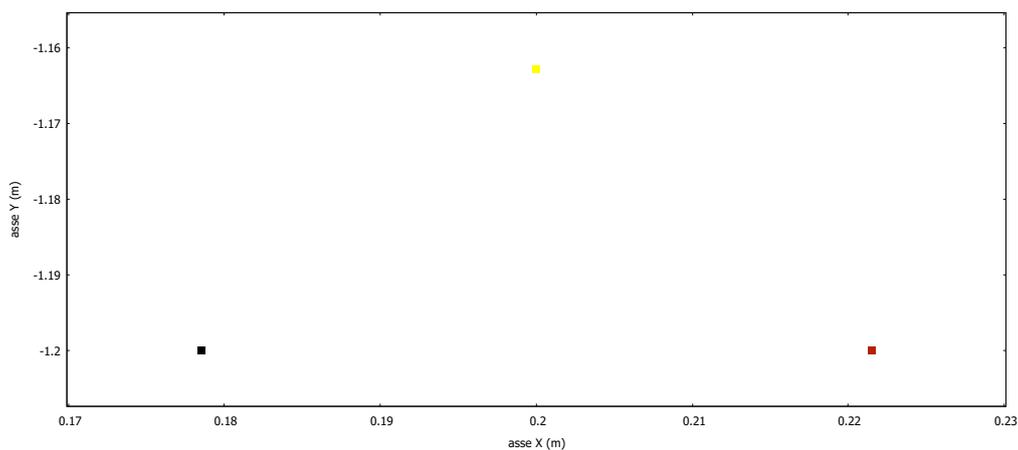


Figura 14: Sottocampo 2, 1 terna, geometria

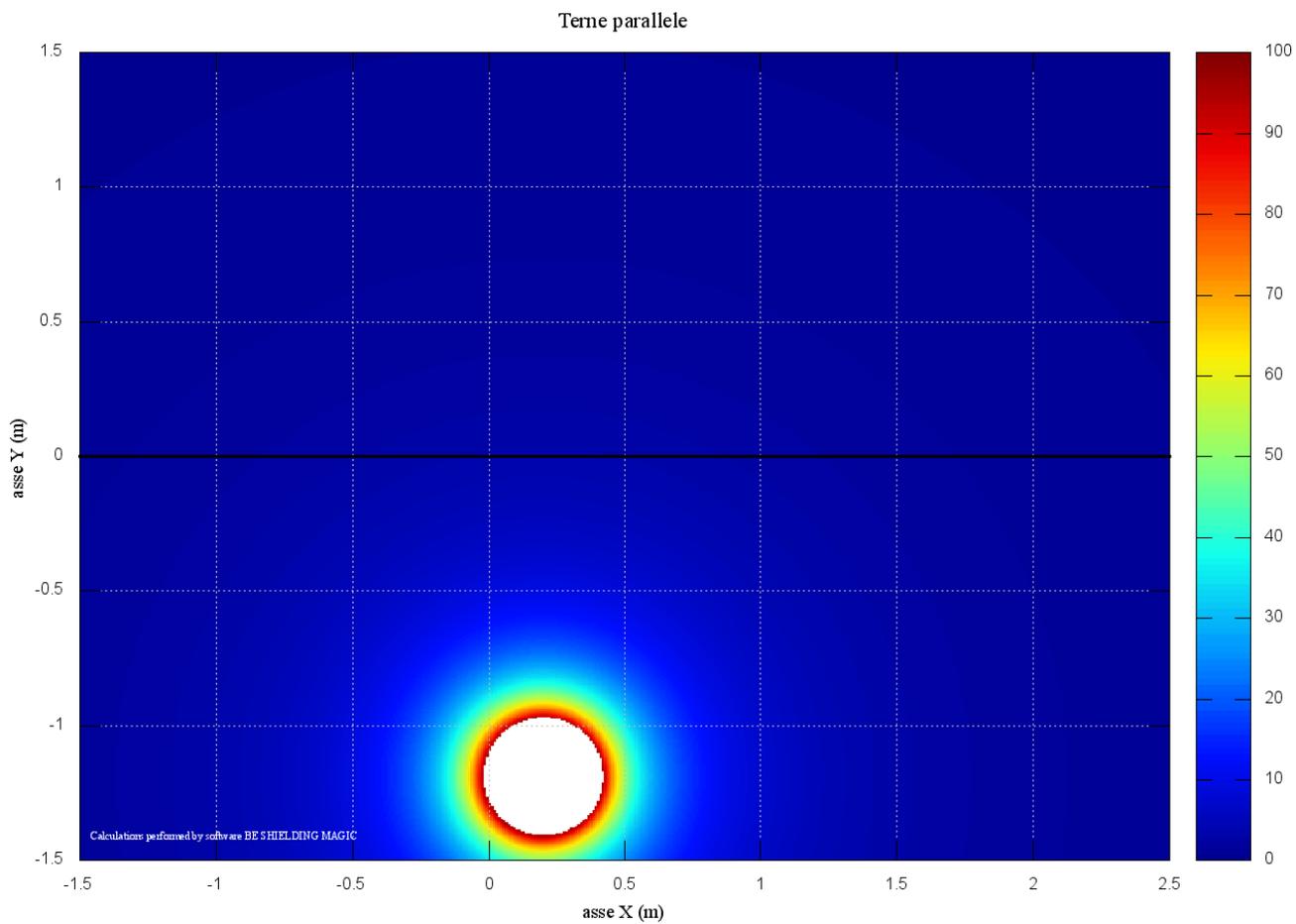


Figura 15: Sottocampo 2, 1 terna, mappa 2D

Terne parallele

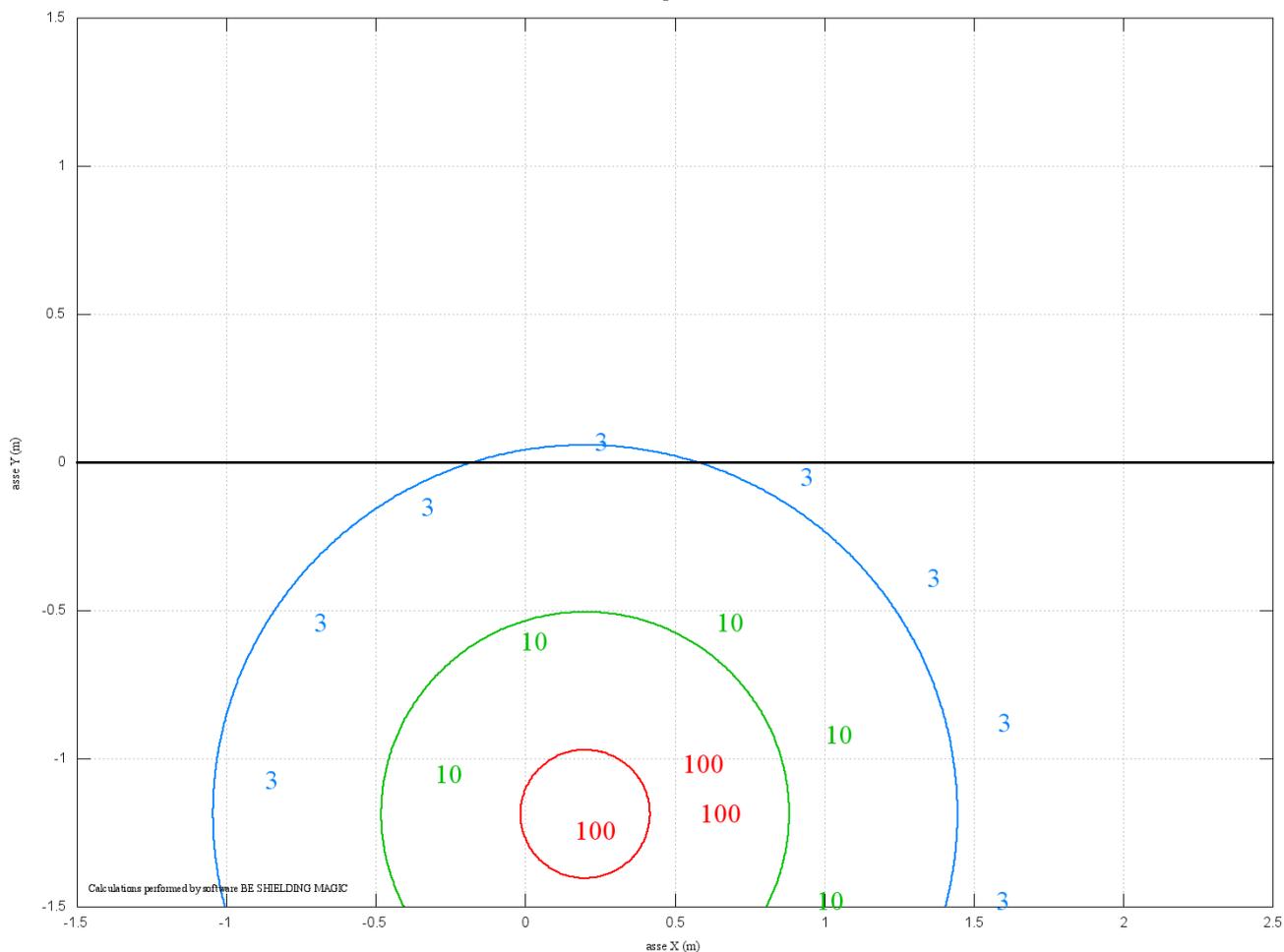


Figura 16: Sottocampo 2, 1 terna, curve isolivello

L'obiettivo di qualità risulta soddisfatto tra 0 e 0,5 m dal livello del suolo (indicato dalla linea nera).

- **ELETTRODOTTO INTERRATO CON 2 TERNE DI CAVI PARALLELE DISPOSTE A TRIFOGLIO**

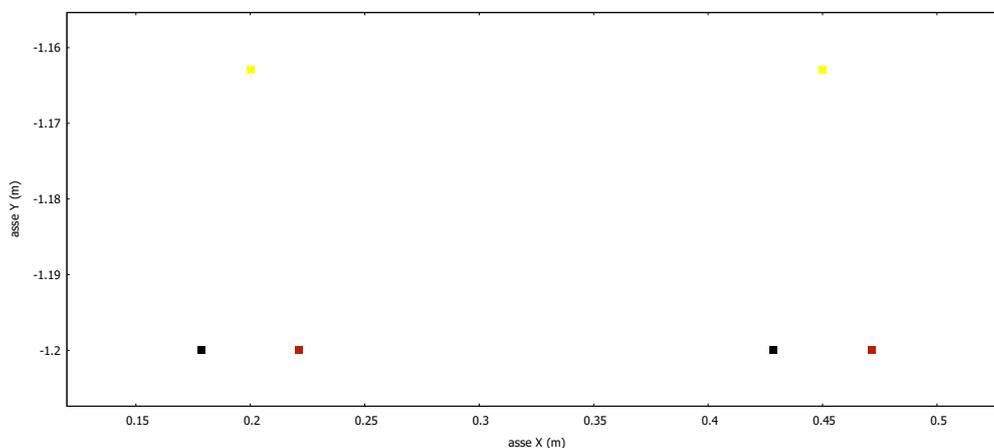


Figura 17: Sottocampo 2, 2 terne, geometria

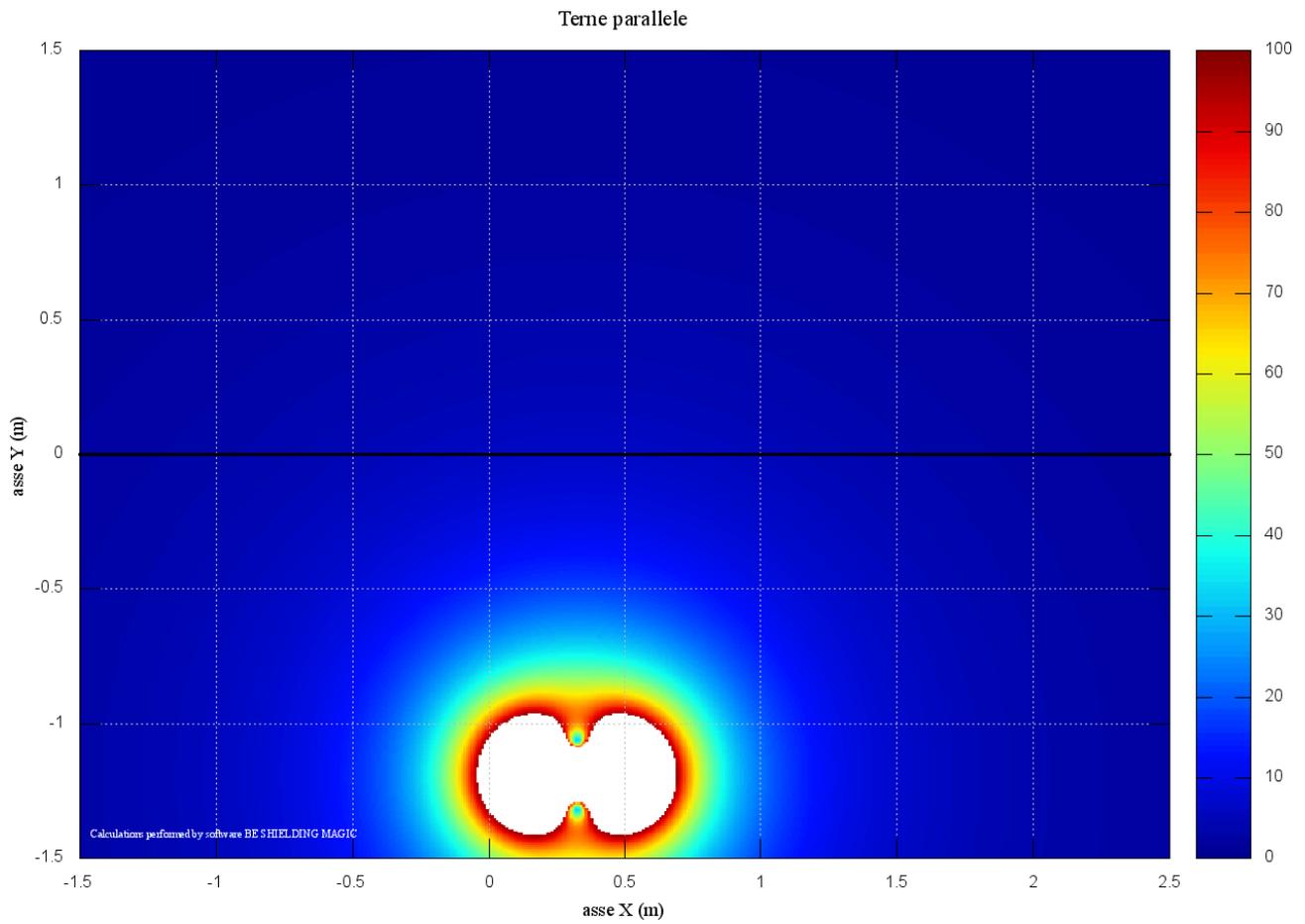


Figura 18: Sottocampo 2, 2 terne, mappa 2D

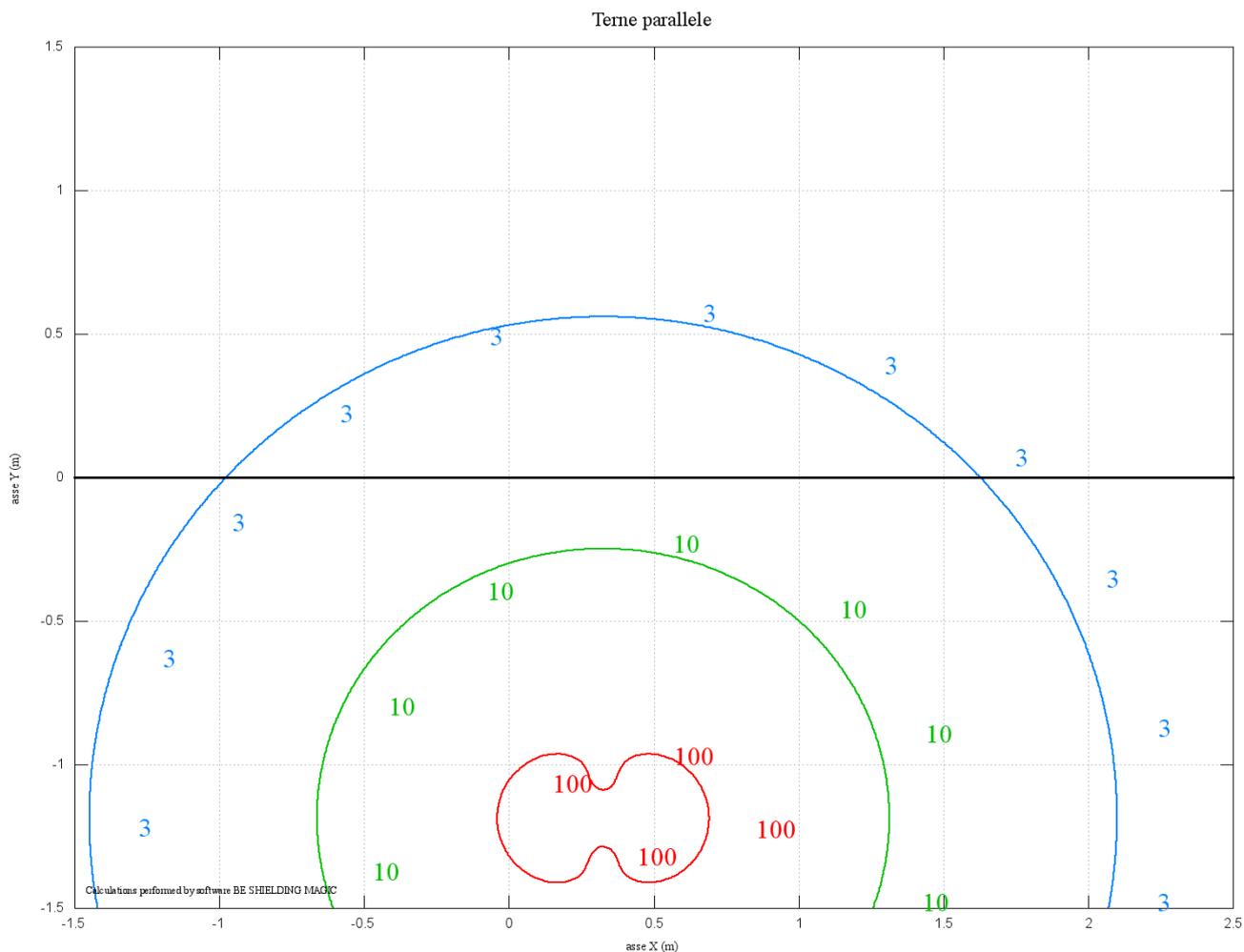


Figura 19: Sottocampo 2, 2 terne, curve isolivello

L'obiettivo di qualità risulta soddisfatto tra 0,5 e 1 m dal livello del suolo (indicato dalla linea nera).

4.1.4. Casi particolari

Nell'area di impianto sono presenti casi più complessi, dove i cavi appartenenti al Sottocampo 1 e al Sottocampo 2 condividono lo stesso elettrodotto, mostrati nelle tavole di progetto.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti mediante lo studio software, suddivisi caso per caso:

- **ELETTRODOTTO INTERRATO CON 3 TERNE DI CAVI PARALLELE DISPOSTE A TRIFOGLIO**

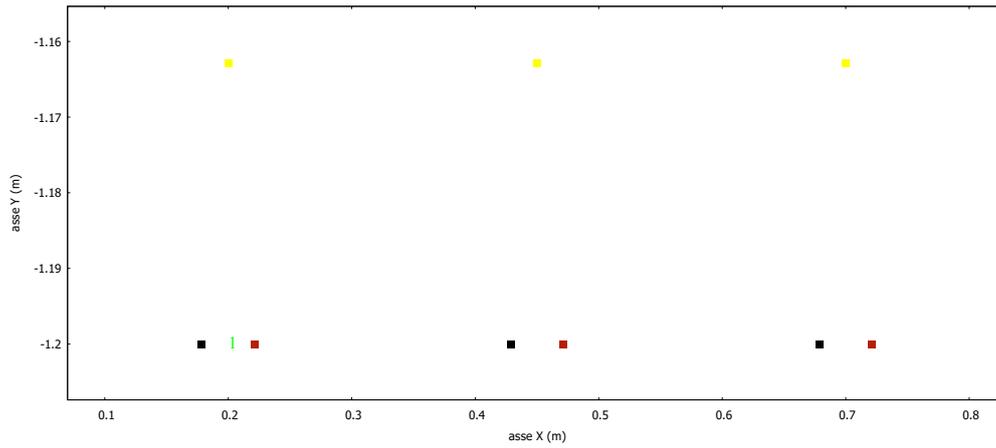


Figura 20: 3 terne, geometria

Terne parallele

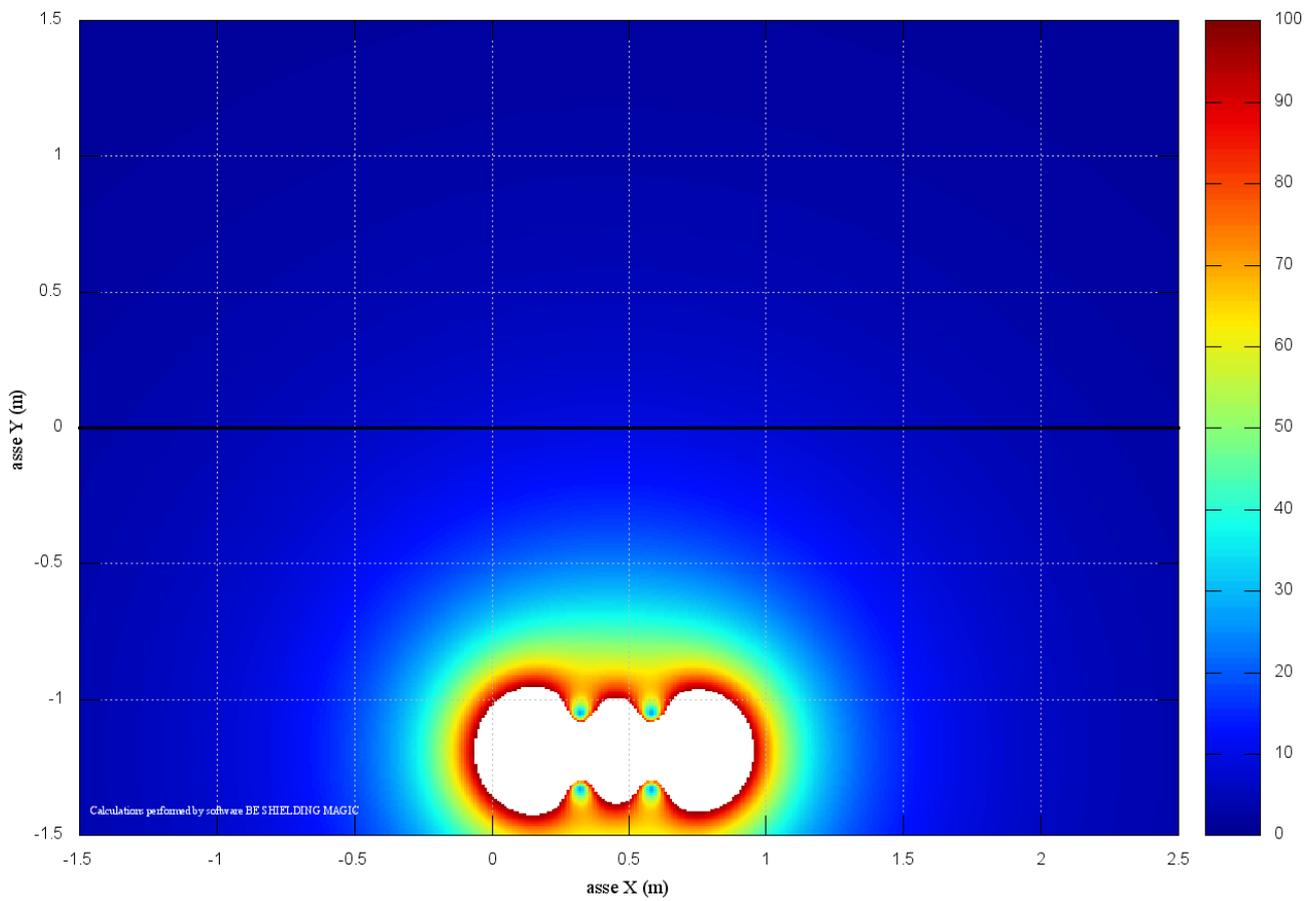


Figura 21: 3 terne, mappa 2D

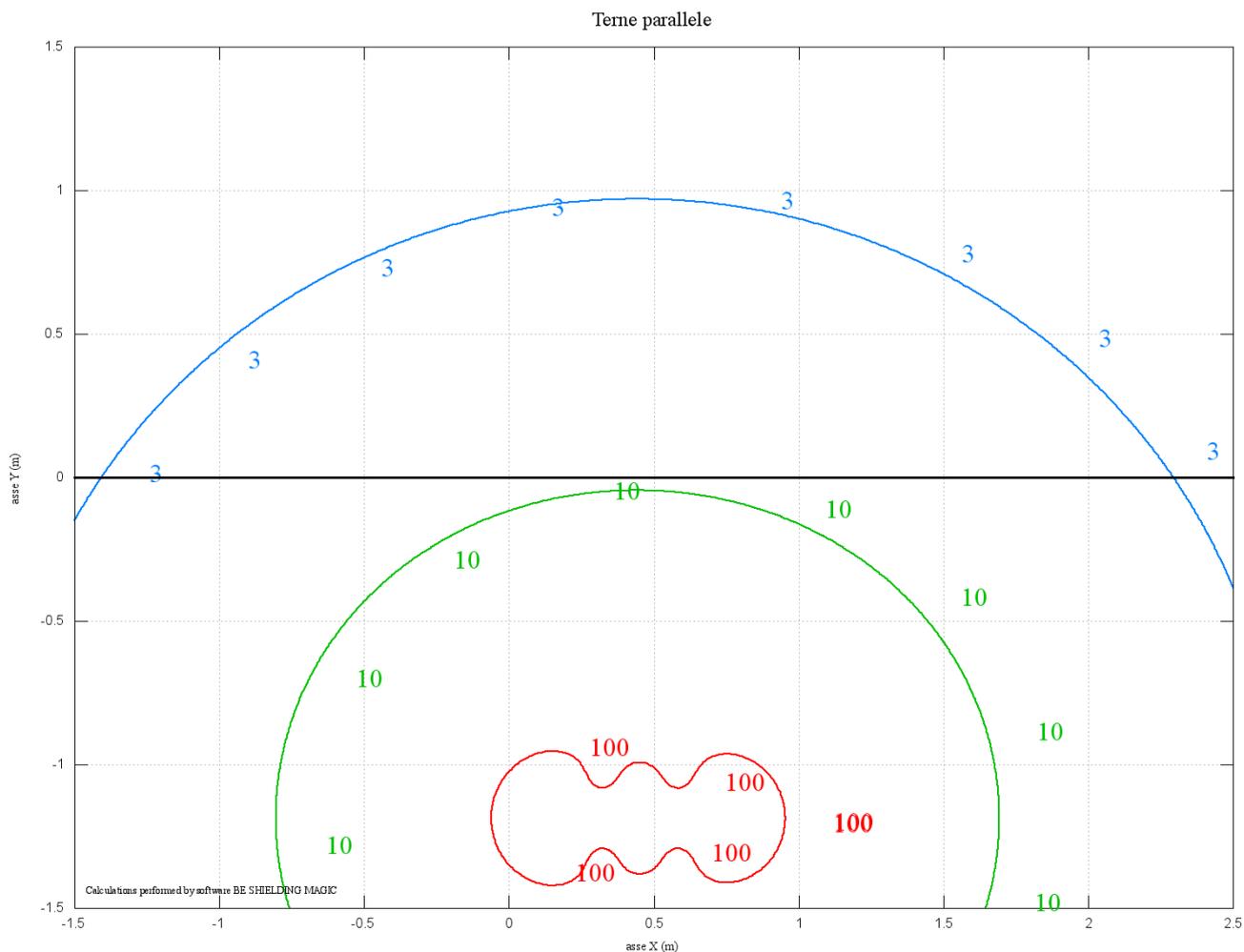


Figura 22: 3 terne, curve isolivello

L'obiettivo di qualità risulta soddisfatto tra 0,5 e 1 m dal livello del suolo (indicato dalla linea nera).

- **ELETTRODOTTO INTERRATO CON 4 TERNE DI CAVI PARALLELE DISPOSTE A TRIFOGLIO**

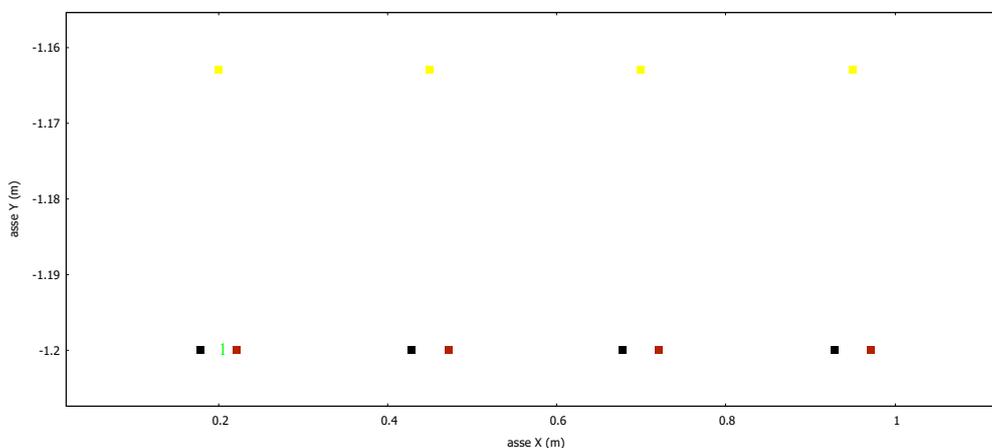


Figura 23: 4 terne, geometria

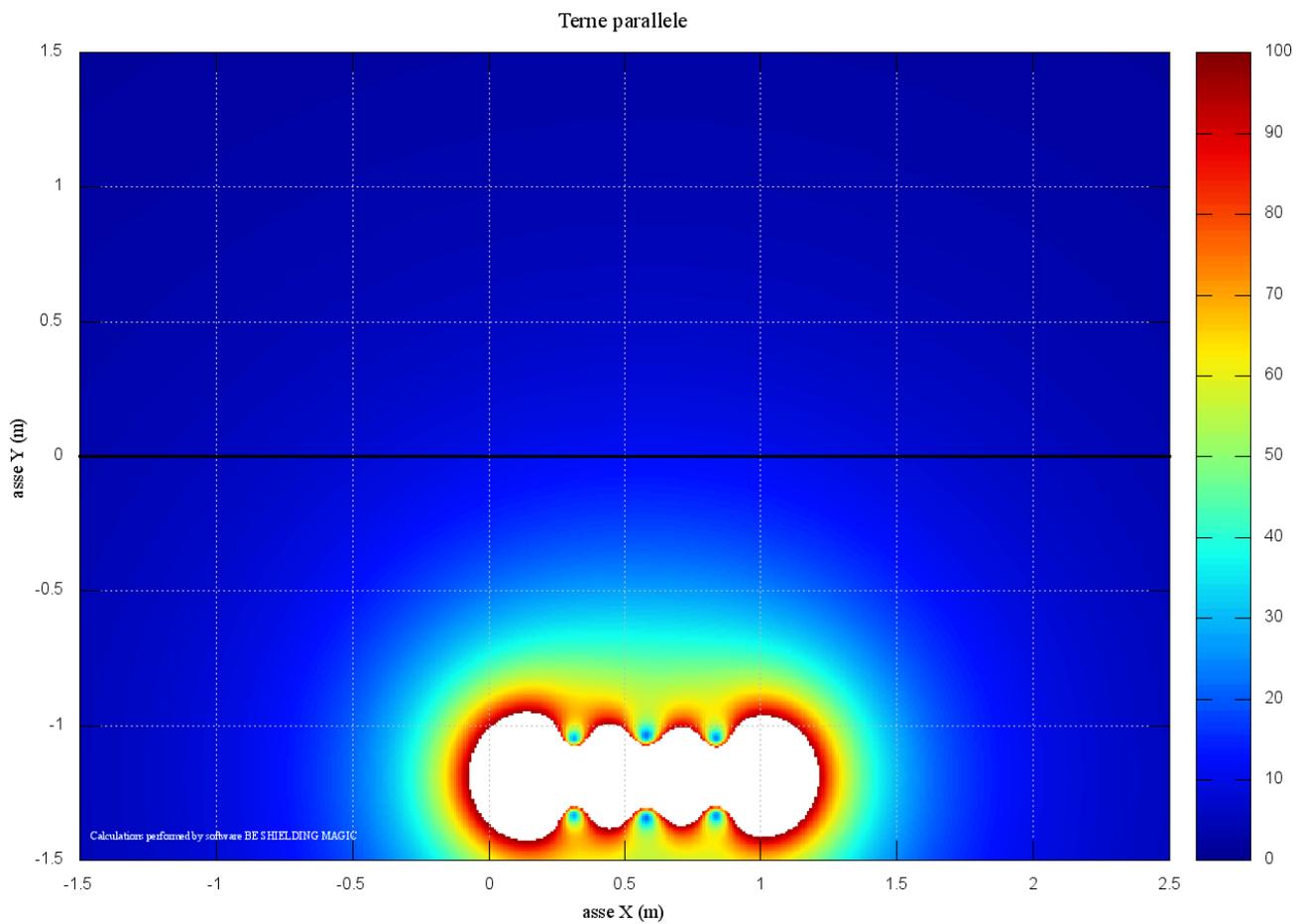


Figura 24: 4 terne, mappa 2D

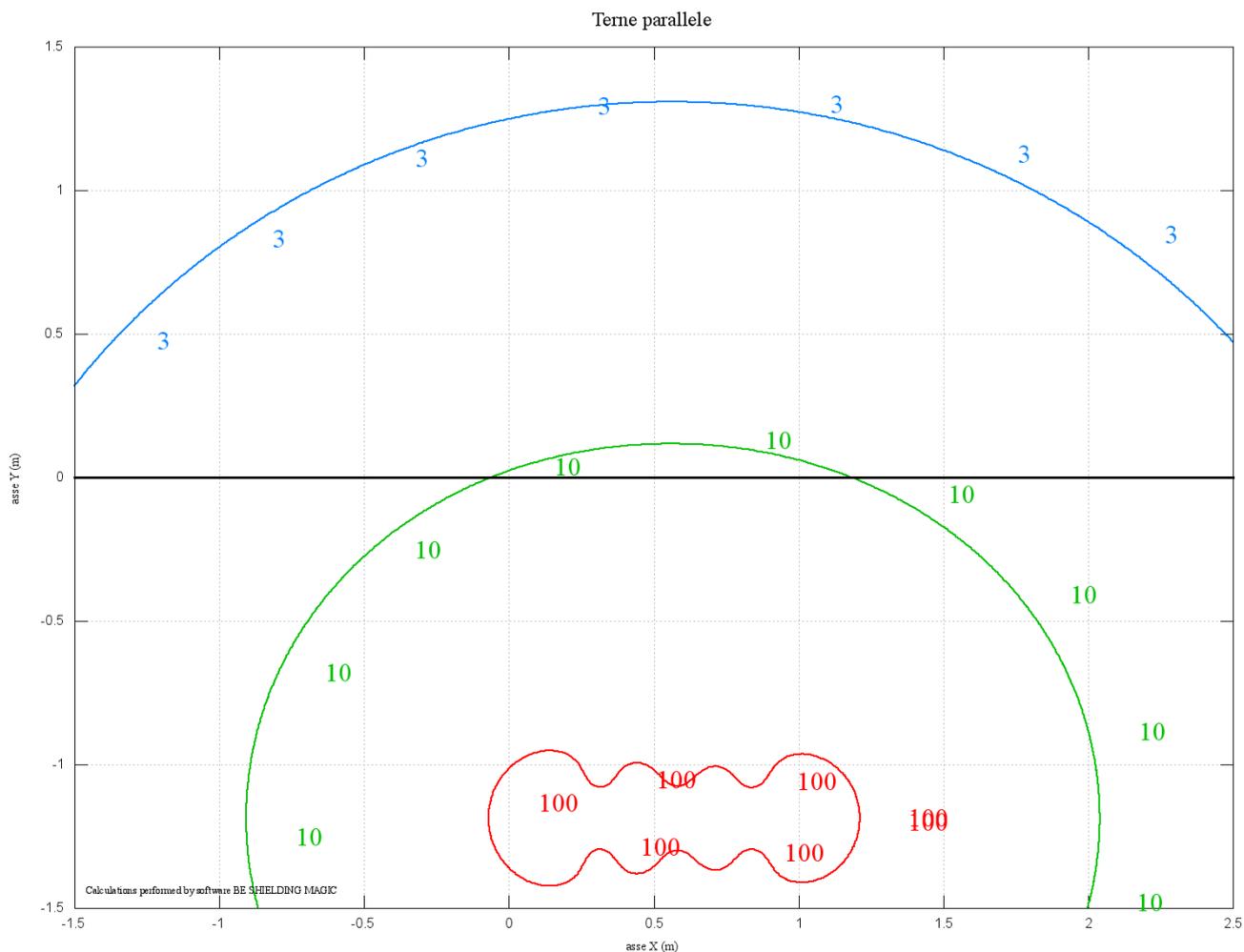


Figura 25: 4 terne, curve isolivello

L'obiettivo di qualità risulta soddisfatto tra 1 e 1,5 m dal livello del suolo (indicato dalla linea nera). Si noti che in corrispondenza dell'asse dell'elettrodotta, tra 0 e 0,5 m dal livello del suolo si raggiunge il valore di attenzione.

4.2. Linee BT in cavo interrato con cavi unipolari posati a trifoglio

4.2.1. MVPS 16

Alla MVPS 16 fanno capo 7 inverter SMA SHP 150.

Si riporta di seguito una tabella contenente i dati utilizzati per il calcolo di una generica linea BT in cavo interrato con cavi unipolari posati a trifoglio (FG7R 3x1x95 mmq), che collega un inverter SMA SHP 150 alla MVPS 16:

Potenza apparente	S [VA]	150000
Tensione	V [V]	600
Fattore di potenza	cos(Φ) [rad]	0,9
Corrente	I [A]	151
Diametro esterno cavo	Φ_{est} [mm]	19,4
Distanza fra i conduttori	P [m]	0,0194
Distanza obiettivo di qualità	R' [m]	0,49
Profondità di posa	d [m]	0,8
Altezza dal livello del suolo	h [m]	-0,31
Distanza dall'asse della linea	R0 [0]	0
Induzione magnetica preesistente	B0 [μ T]	0,07
Induzione magnetica totale ad altezza uomo	Btot (h = 1,5 m) [μ T]	0,21
VERIFICA LIMITE ESPOSIZIONE		VERIFICATO
VERIFICA VALORE DI ATTENZIONE		VERIFICATO
VERIFICA OBIETTIVO DI QUALITÀ		VERIFICATO

Nelle tavole di progetto è mostrato come i 7 inverter SMA SHP 150 giungono alla MVPS 16. Il caso peggiore in termini di induzione magnetica è quello in cui sono presenti 6 terne di cavi interrati disposti a trifoglio su due livelli, a tre a tre parallele.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti mediante lo studio software per il caso peggiore:

- ***ELETTRODOTTO INTERRATO CON 6 TERNE DI CAVI PARALLELE DISPOSTE A TRIFOGLIO SU 2 LIVELLI***

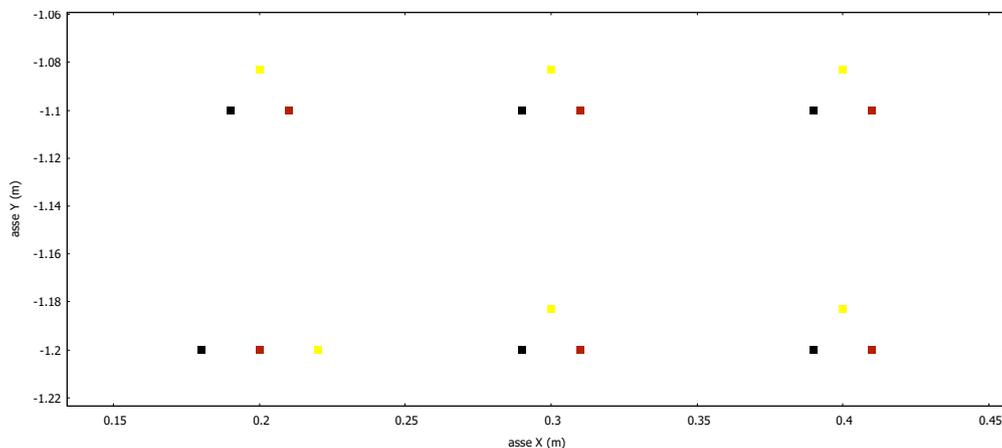


Figura 26: 6 terne, geometria

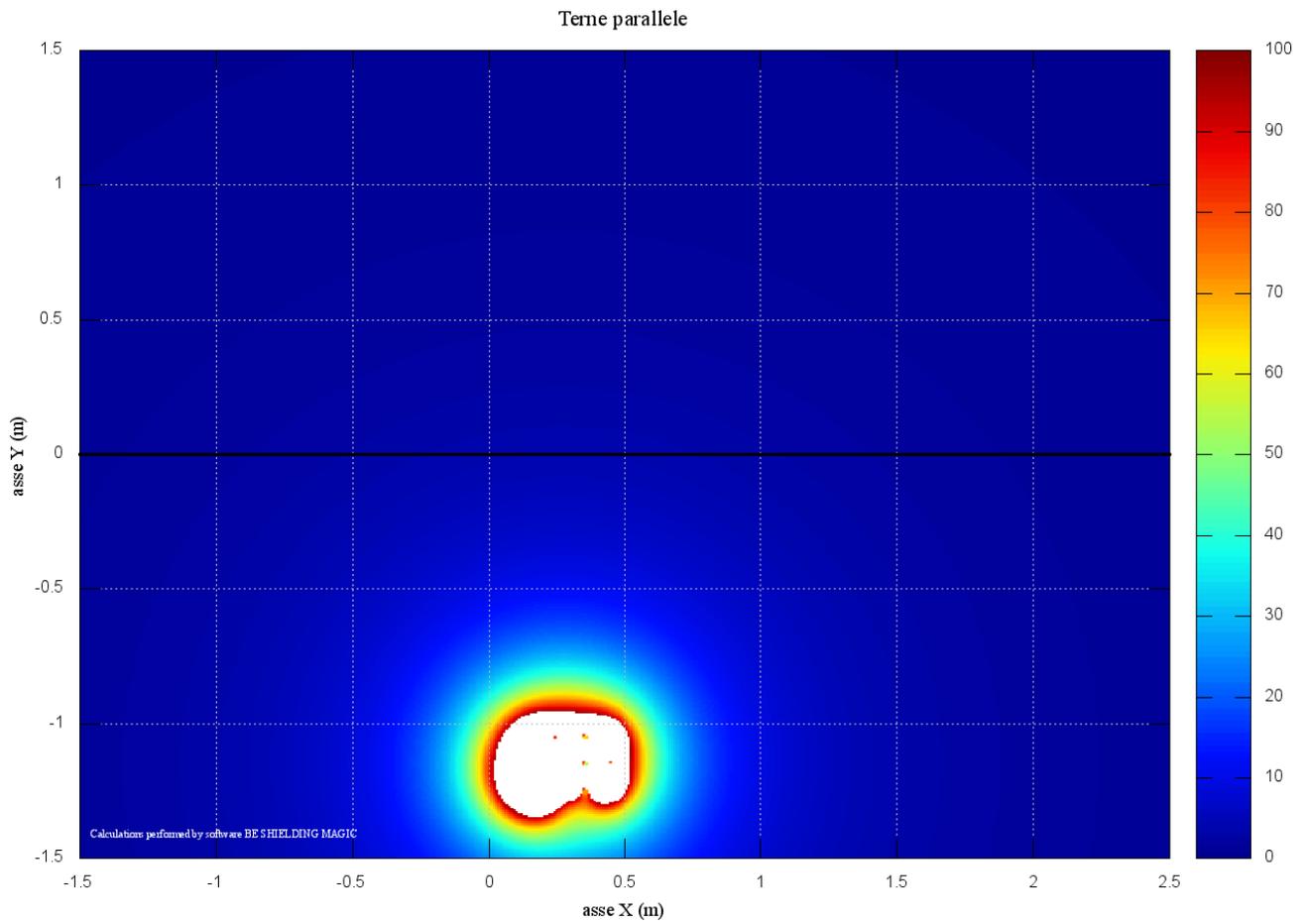


Figura 27: 5 terre, mappa 2D

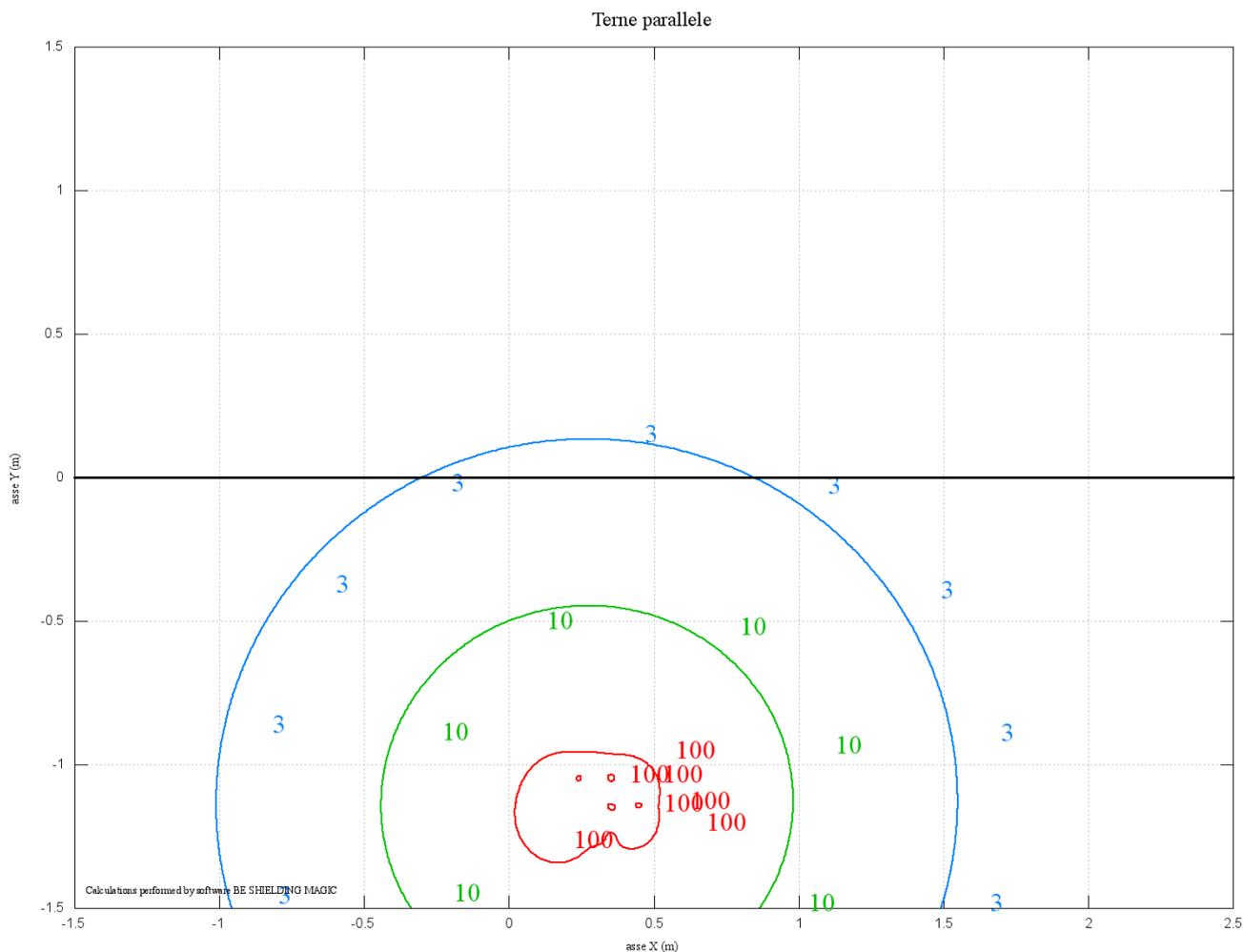


Figura 28: 6 terne, curve isolivello

L'obiettivo di qualità risulta soddisfatto tra 0 e 0,5 m dal livello del suolo (indicato dalla linea nera).

4.3. Cabina di raccolta MT

Per il calcolo della distanza di prima approssimazione dalla Cabina di raccolta MT, sono state considerate le sorgenti di induzione magnetica elencate:

- Trafo MT/BT da 50 kVA a secco, a servizio degli ausiliari (massima corrente circolante dell'avvolgimento secondario pari a 80,19 A);
- QMT 1 con 3 celle, dal quale parte la linea verso la sottostazione (corrente massima circolante nella linea pari a 306,85 A);
- QMT 2 con 5 celle, al quale fanno capo le linee ad anello dei Sottocampi 1 e 2 e la linea a servizio degli ausiliari (corrente massima circolante nelle linee del Sottocampo 1 pari a 478,99 A, nelle linee del Sottocampo 2 pari a 441,57 A e nella linea a servizio degli ausiliari pari a 80,19 A);

- QBT a servizio degli ausiliari (corrente massima circolante nelle sbarre pari a 80,19 A).

Si riportano di seguito i risultati ottenuti mediante lo studio software a livello del suolo ($h = 0$ m) e ad altezza uomo ($h = 1,5$ m):

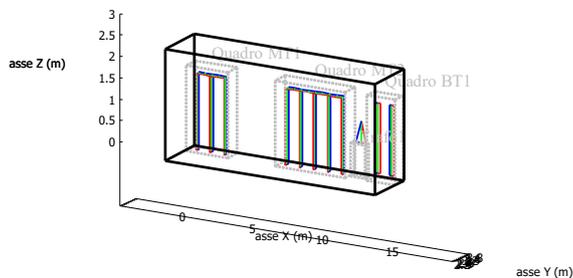


Figura 29: Cabina di raccolta MT, geometria

- **CABINA DI RACCOLTA MT ($h = 0$ m)**

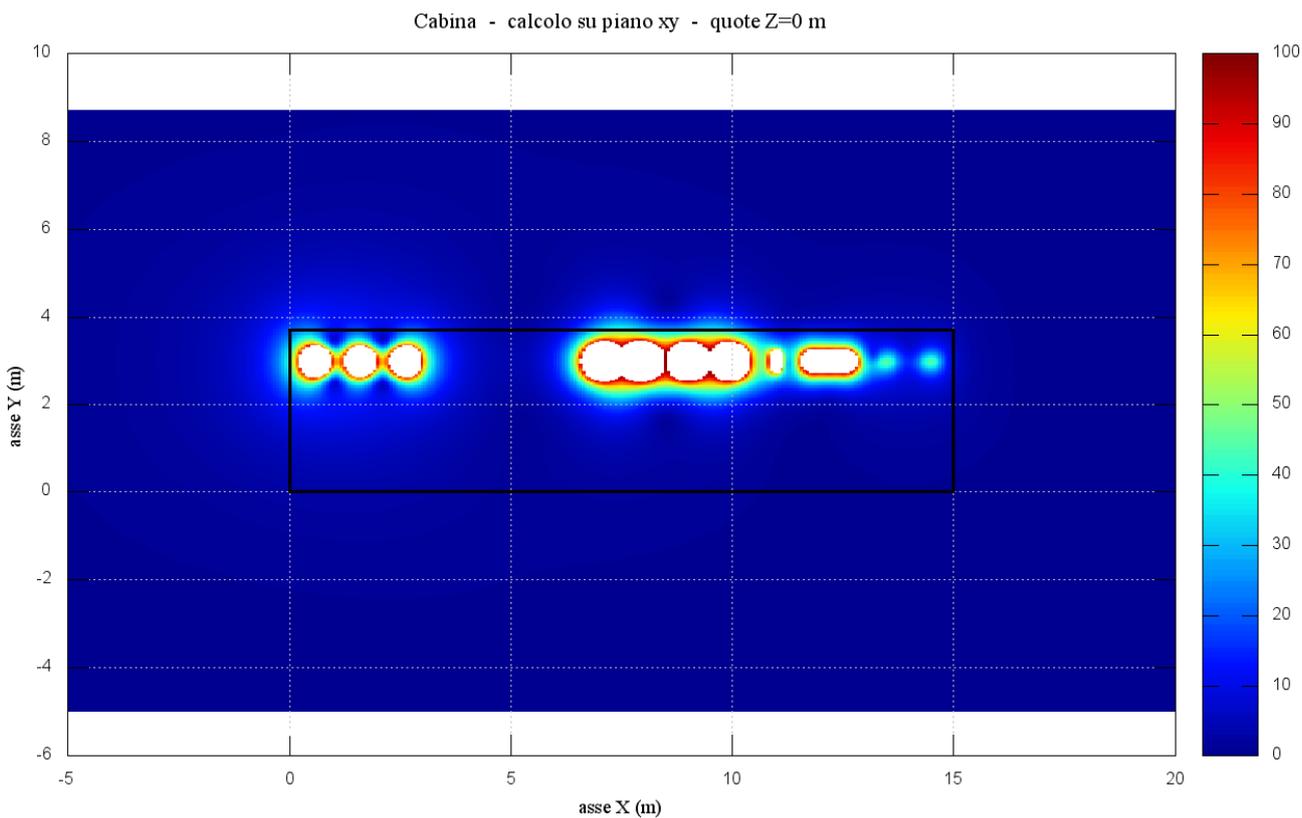


Figura 30: Cabina di raccolta MT, $h = 0$ m, mappa 2D

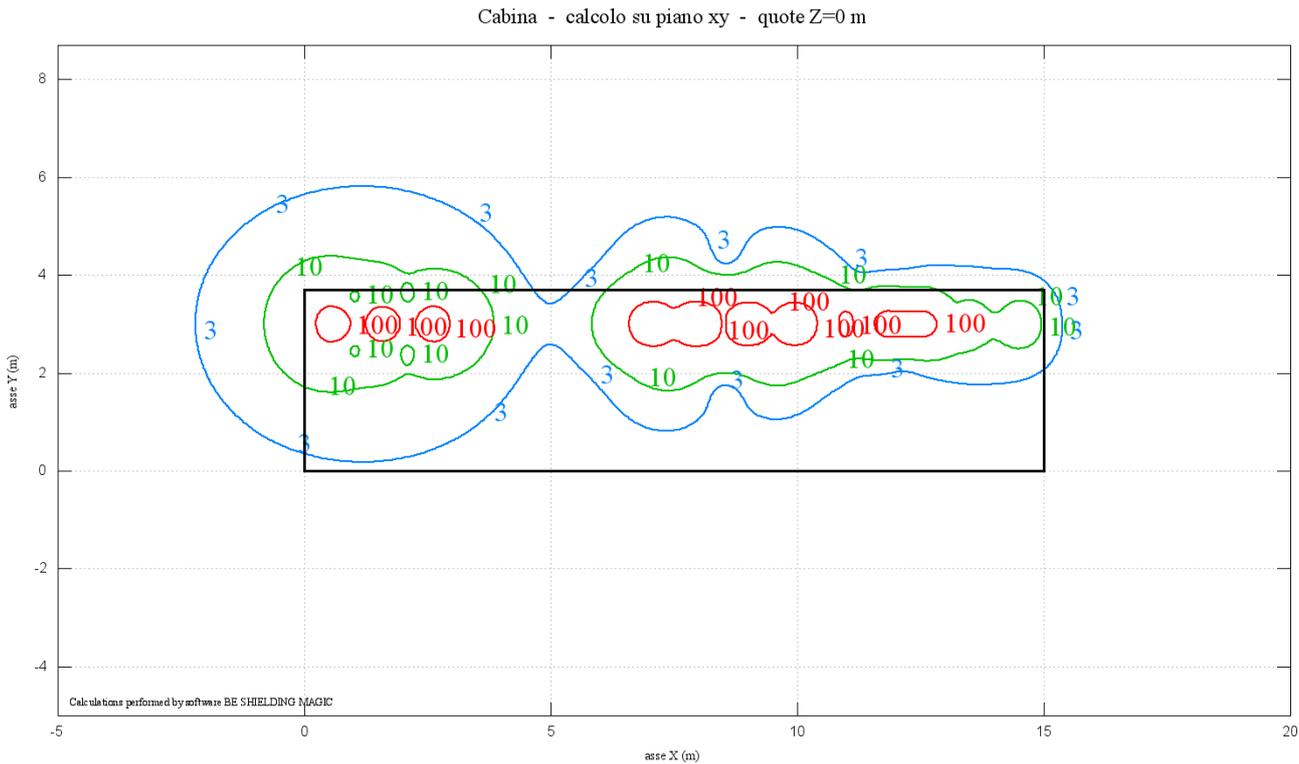


Figura 31: Cabina di raccolta MT, $h = 0$ m, curve isolivello

La DPA dalle pareti (indicate dalla linea nera) risulta 0 m dalla parete anteriore, circa 2 m dalla parete posteriore, circa 2,5 m dalla parete laterale sinistra e circa 0,5 m dalla parete laterale destra.

- **CABINA DI RACCOLTA MT ($h = 1,5$ m)**

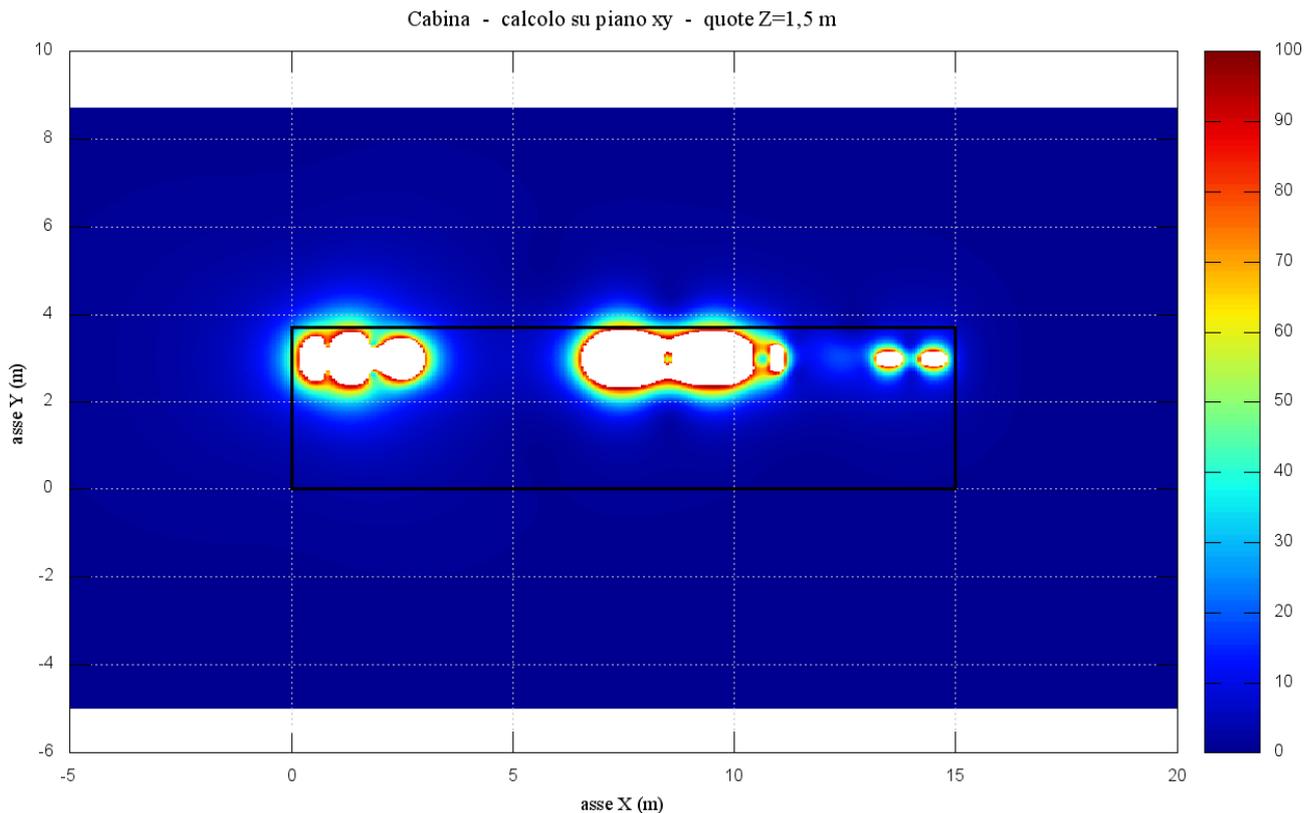


Figura 32: Cabina di raccolta MT, h = 1,5 m, mappa 2D

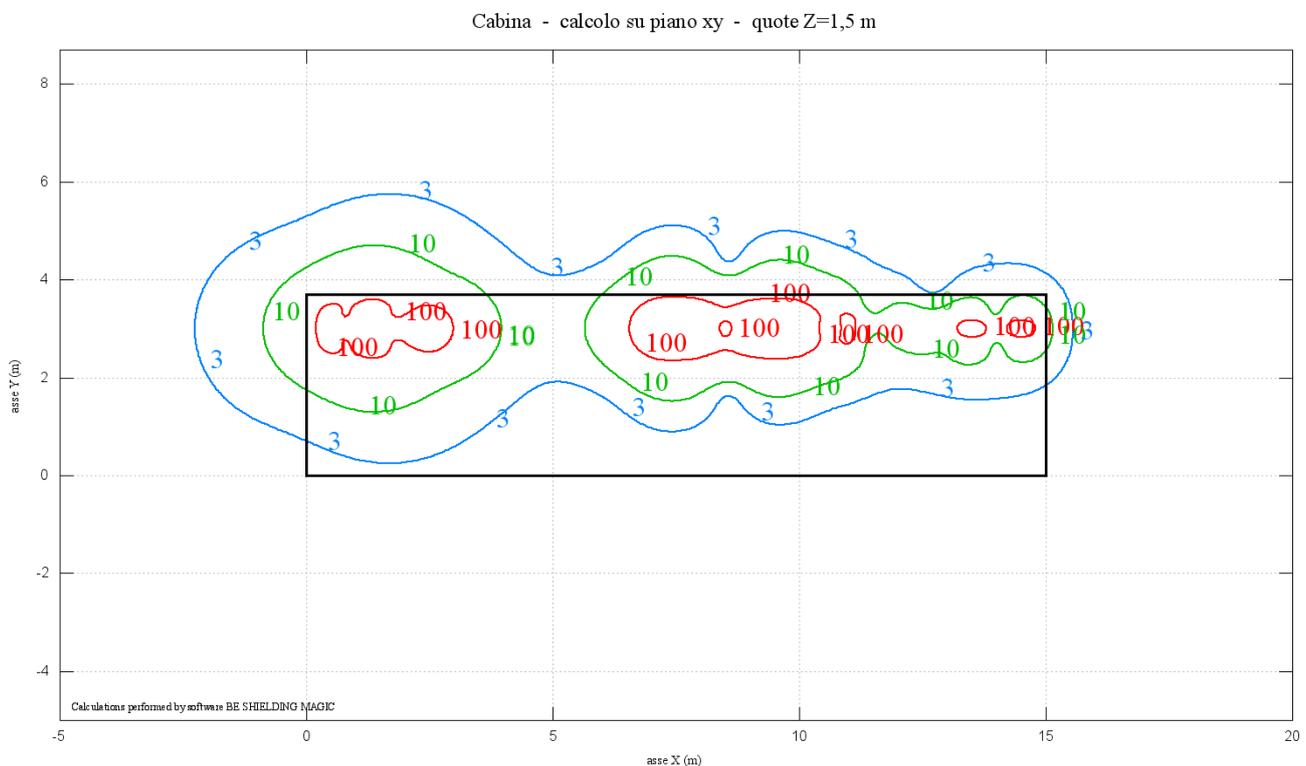


Figura 33: Cabina di raccolta MT, h = 1,5 m, curve isolivello

La DPA dalle pareti (indicate dalla linea nera) risulta 0 m dalla parete anteriore, circa 2 m dalla parete posteriore, circa 2,5 m dalla parete laterale sinistra e circa 0,5 m dalla parete laterale destra.

4.4. MVPS 1 ~ 8

Per il calcolo della distanza di prima approssimazione valido per le MVPS da 1 a 8, sono state considerate le sorgenti di induzione magnetica elencate:

- Trafo MT/BT da 3500 kVA in olio (massima corrente circolante dell'avvolgimento secondario pari a 2566 A);
- Trafo MT/BT da 30 kVA a secco, a servizio degli ausiliari (massima corrente circolante dell'avvolgimento secondario pari a 48,11 A);
- QMT 1 con 2 celle, dal quale entra ed esce la linea ad anello del Sottocampo 2 (corrente massima circolante nella linea pari a 478,99 A);
- QBT (corrente massima circolante nelle sbarre pari a 2566 A).

Si riportano di seguito i risultati ottenuti mediante lo studio software a livello del suolo ($h = 0$ m) e ad altezza uomo ($h = 1,5$ m):

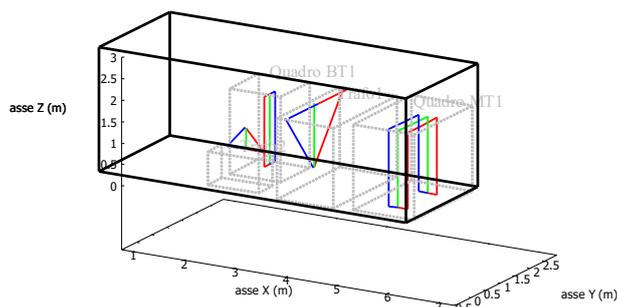


Figura 34: MVPS 1 ~ 8, geometria

- **MVPS 1 ~ 8 ($h = 0$ m)**

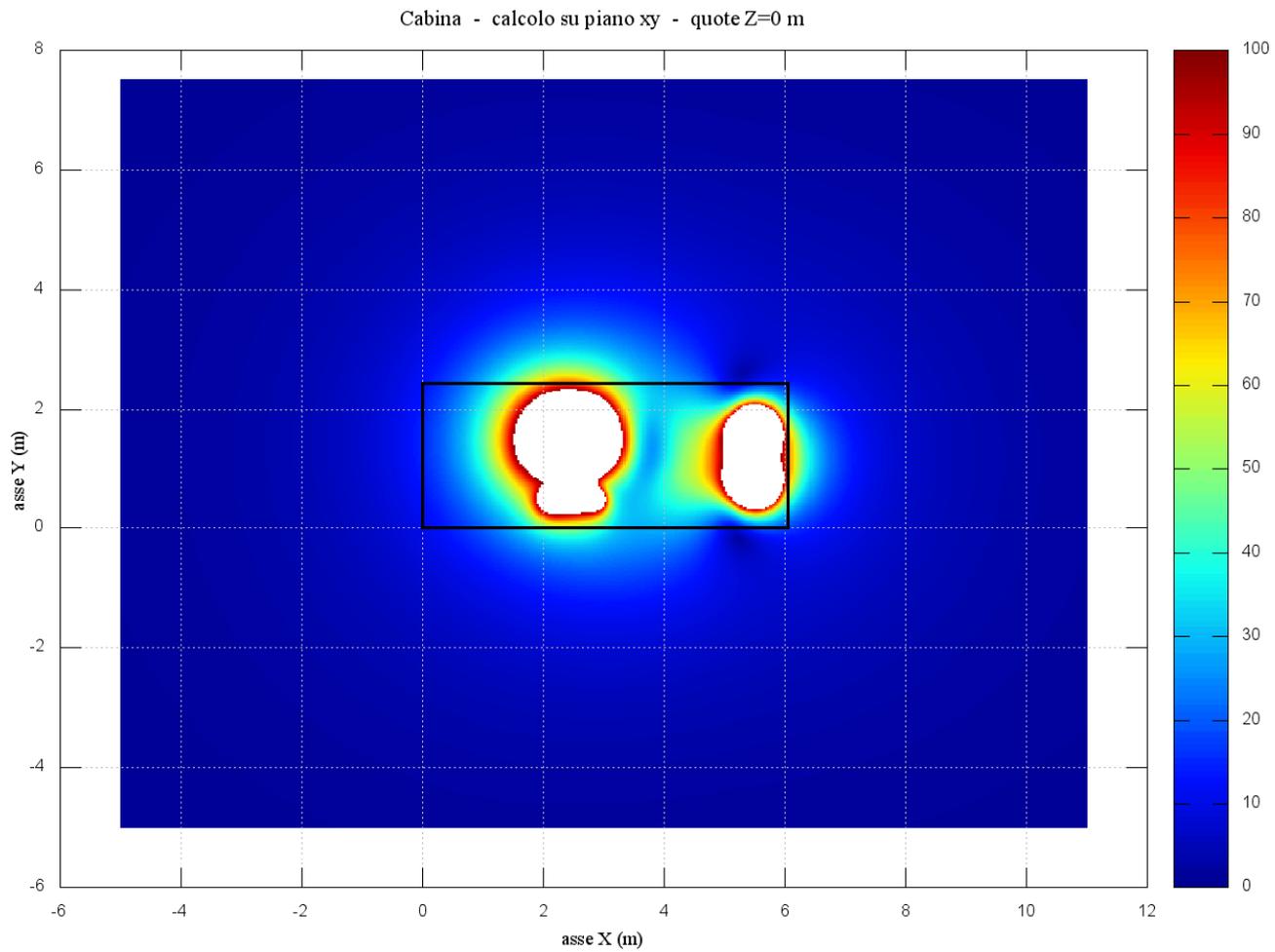


Figura 35: MVPS 1 ~ 8, h = 0 m, mappa 2D

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

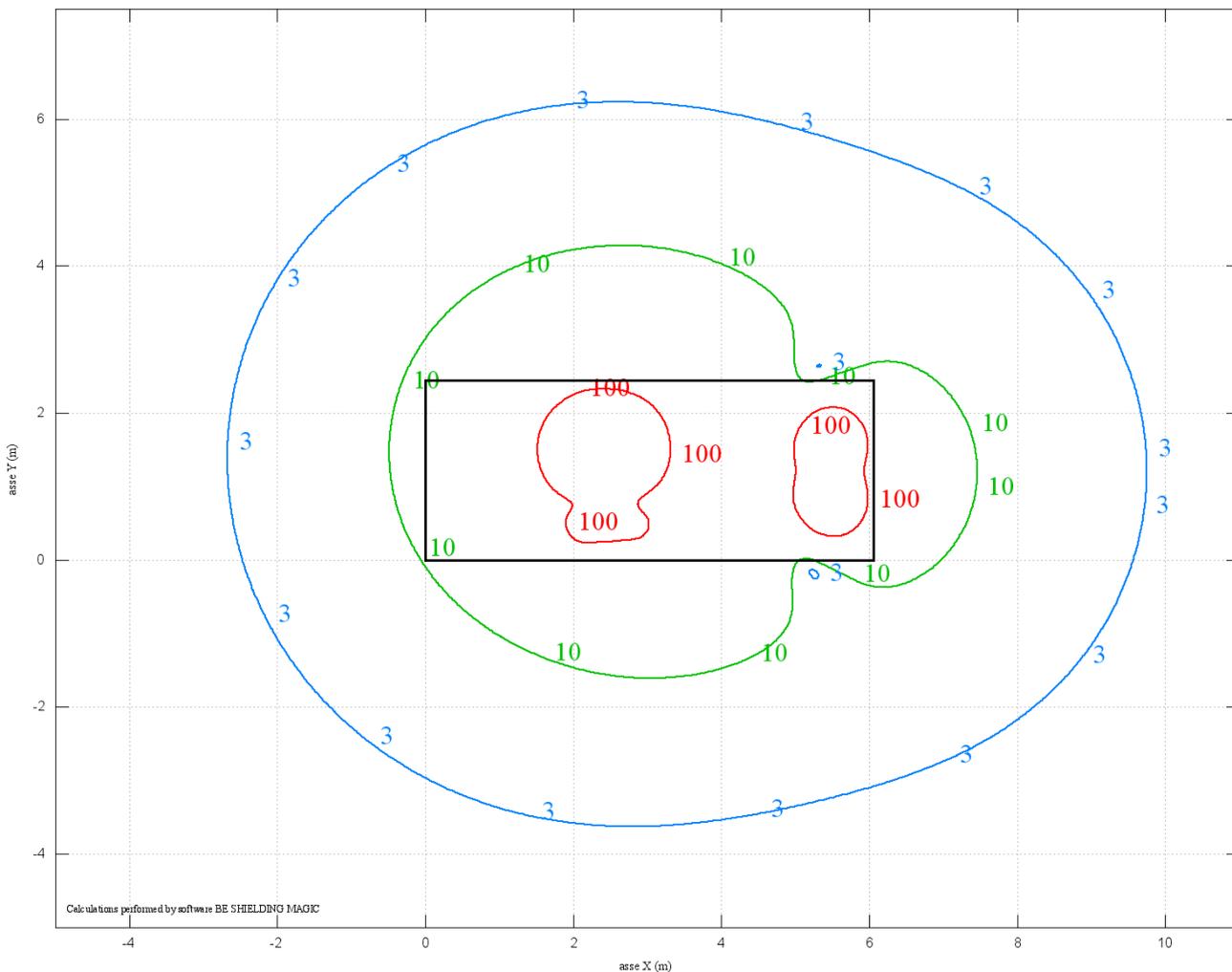


Figura 36: MVPS 1 ~ 8, h = 0 m, curve isolivello

La DPA dalle pareti (indicate dalla linea nera) risulta circa 4 m dalla parete anteriore, circa 4 m dalla parete posteriore, circa 3 m dalla parete laterale sinistra e circa 4 m dalla parete laterale destra.

- **MVPS 1 ~ 8 (h = 1,5 m)**

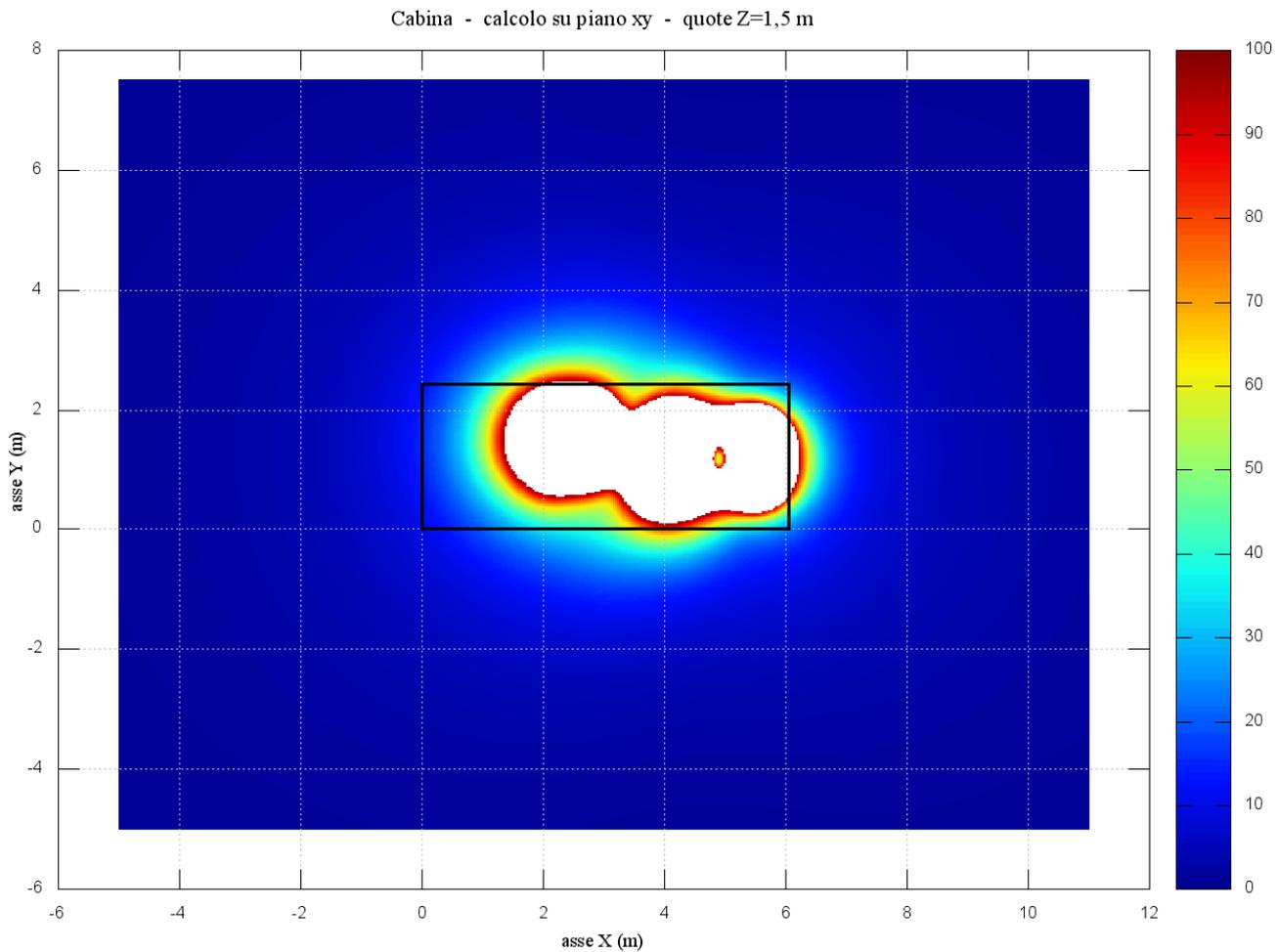


Figura 37: MVPS 1 ~ 8, h = 1,5 m, mappa 2D

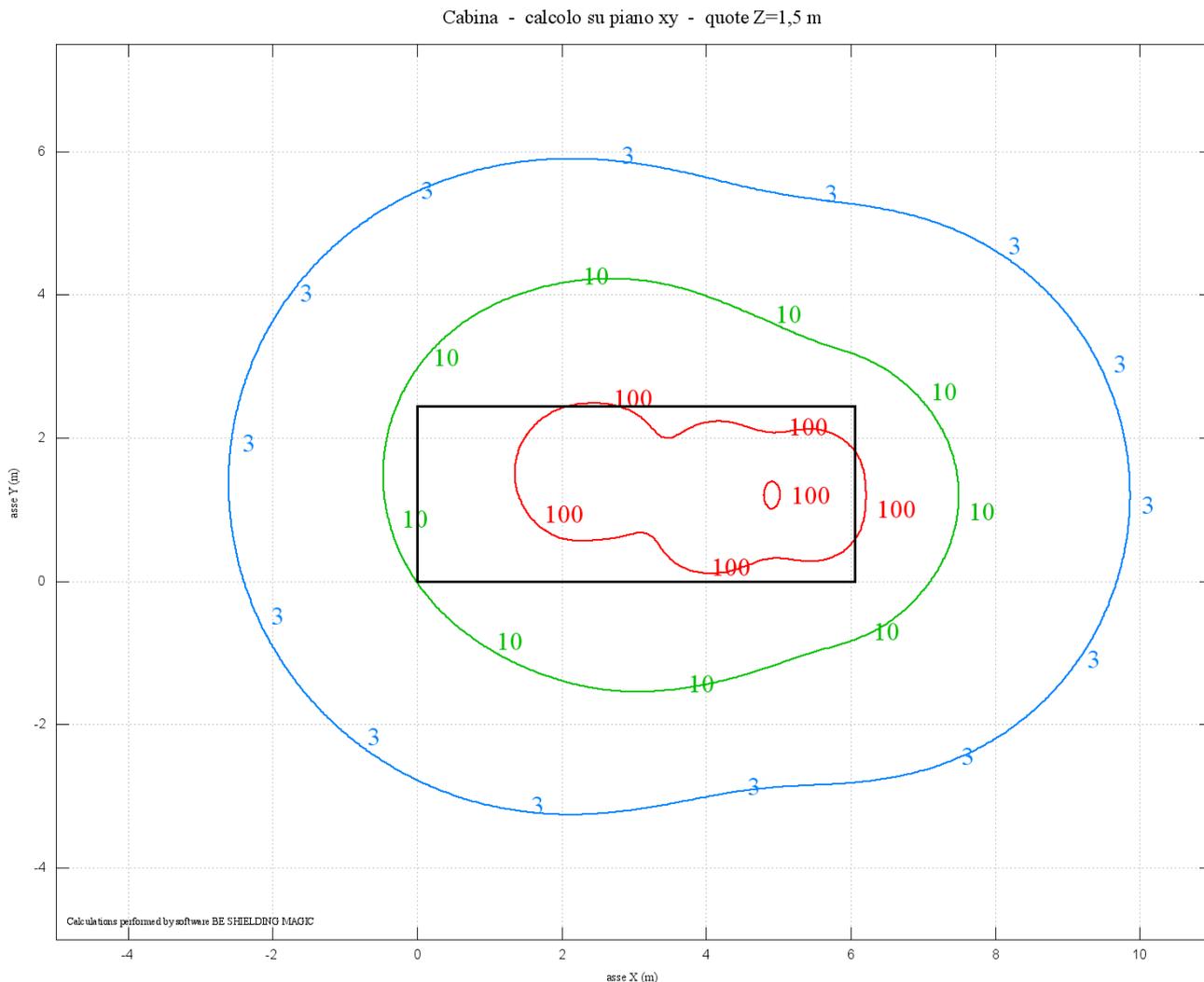


Figura 38: MVPS 1 ~ 8, $h = 1,5$ m, curve isolivello

La DPA dalle pareti (indicate dalla linea nera) risulta circa 3,5 m dalla parete anteriore, circa 3,5 m dalla parete posteriore, circa 3 m dalla parete laterale sinistra e circa 4 m dalla parete laterale destra.

4.5. MVPS 9 ~ 15

Per il calcolo della distanza di prima approssimazione valido per le MVPS da 9 a 15, sono state considerate le sorgenti di induzione magnetica elencate:

- Trafo MT/BT da 3500 kVA in olio (massima corrente circolante dell'avvolgimento secondario pari a 2566 A);
- Trafo MT/BT da 30 kVA a secco, a servizio degli ausiliari (massima corrente circolante dell'avvolgimento secondario pari a 48,11 A);
- QMT 1 con 2 celle, dal quale entra ed esce la linea ad anello del Sottocampo 2 (corrente massima circolante nella linea pari a 441,57 A);

- QBT (corrente massima circolante nelle sbarre pari a 2566 A).

Si riportano di seguito i risultati ottenuti mediante lo studio software a livello del suolo ($h = 0$ m) e ad altezza uomo ($h = 1,5$ m):

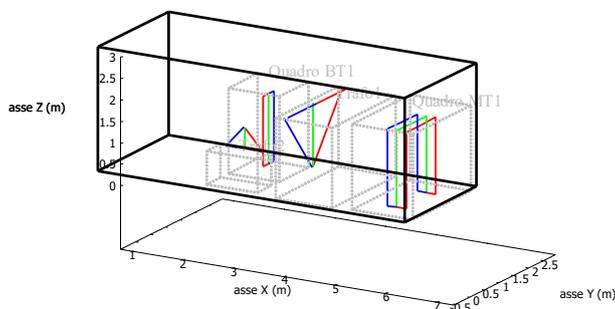


Figura 39: MVPS 9 ~ 15, geometria

- **MVPS 9 ~ 15 ($h = 0$ m)**

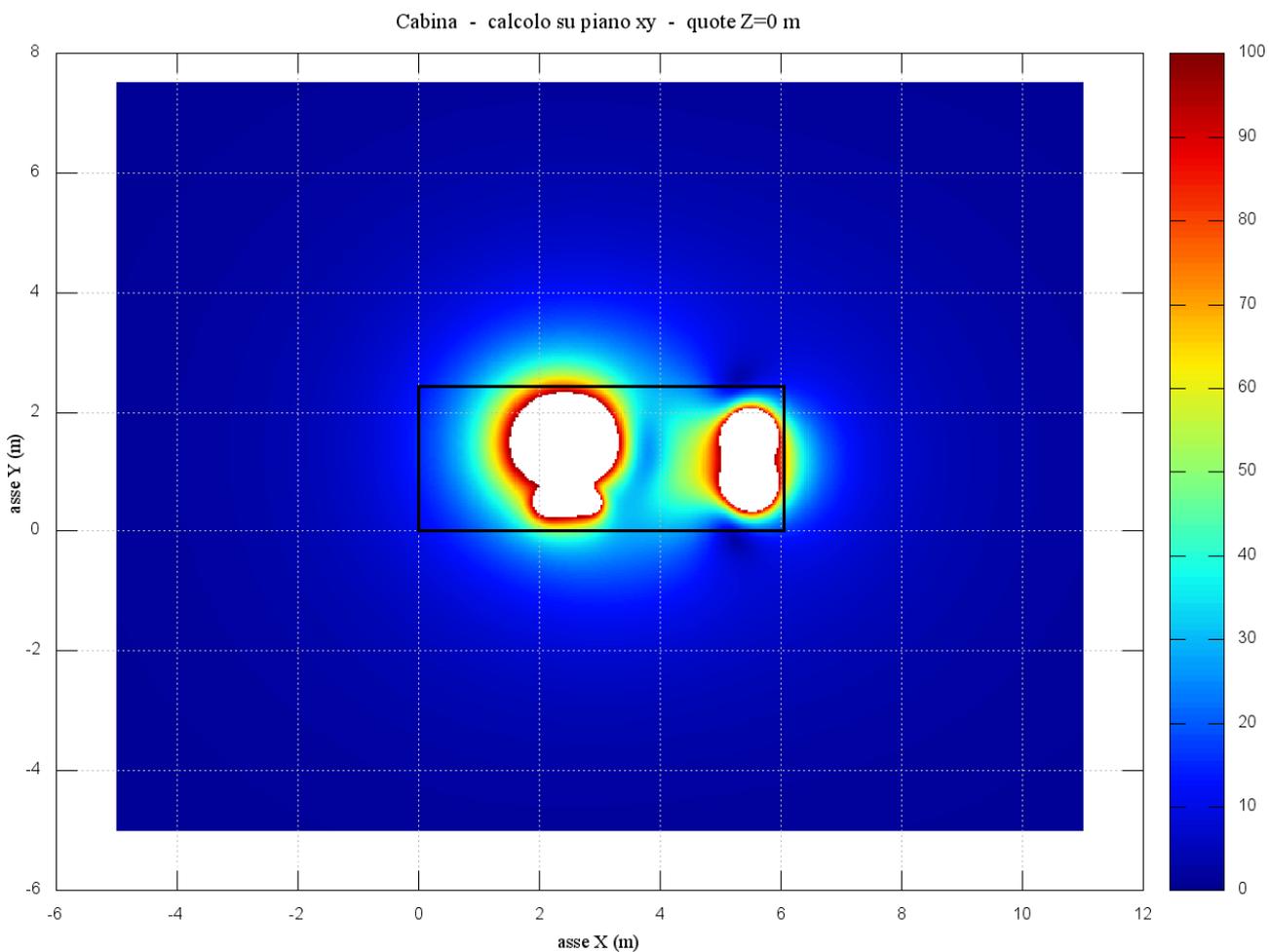


Figura 40: MVPS 9 ~ 15, $h = 0$ m, mappa 2D

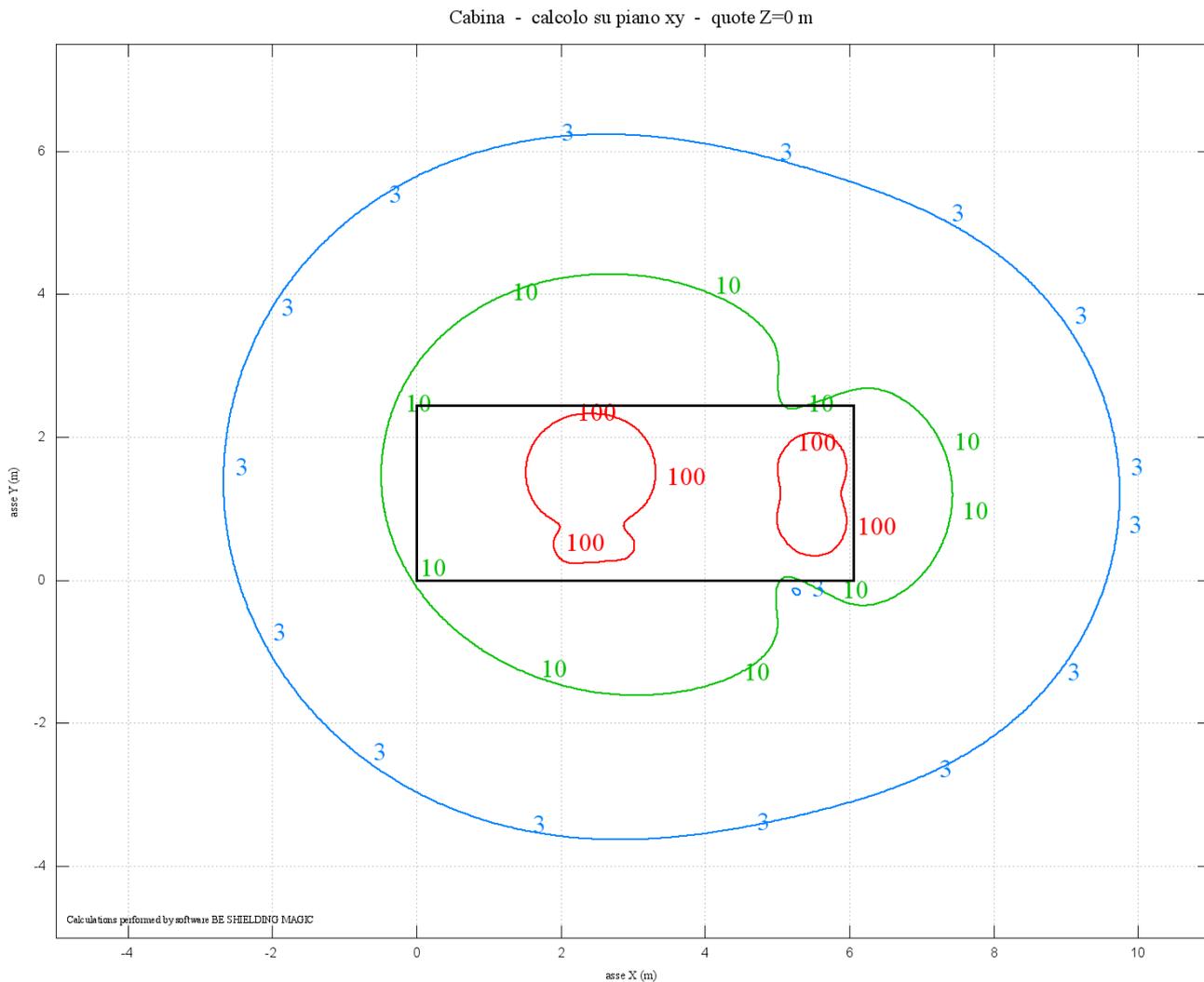


Figura 41: MVPS 9 ~ 15, $h = 0$ m, curve isolivello

La DPA dalle pareti (indicate dalla linea nera) risulta circa 4 m dalla parete anteriore, circa 4 m dalla parete posteriore, circa 3 m dalla parete laterale sinistra e circa 4 m dalla parete laterale destra.

- **MVPS 9 ~ 15 ($h = 1,5$ m)**

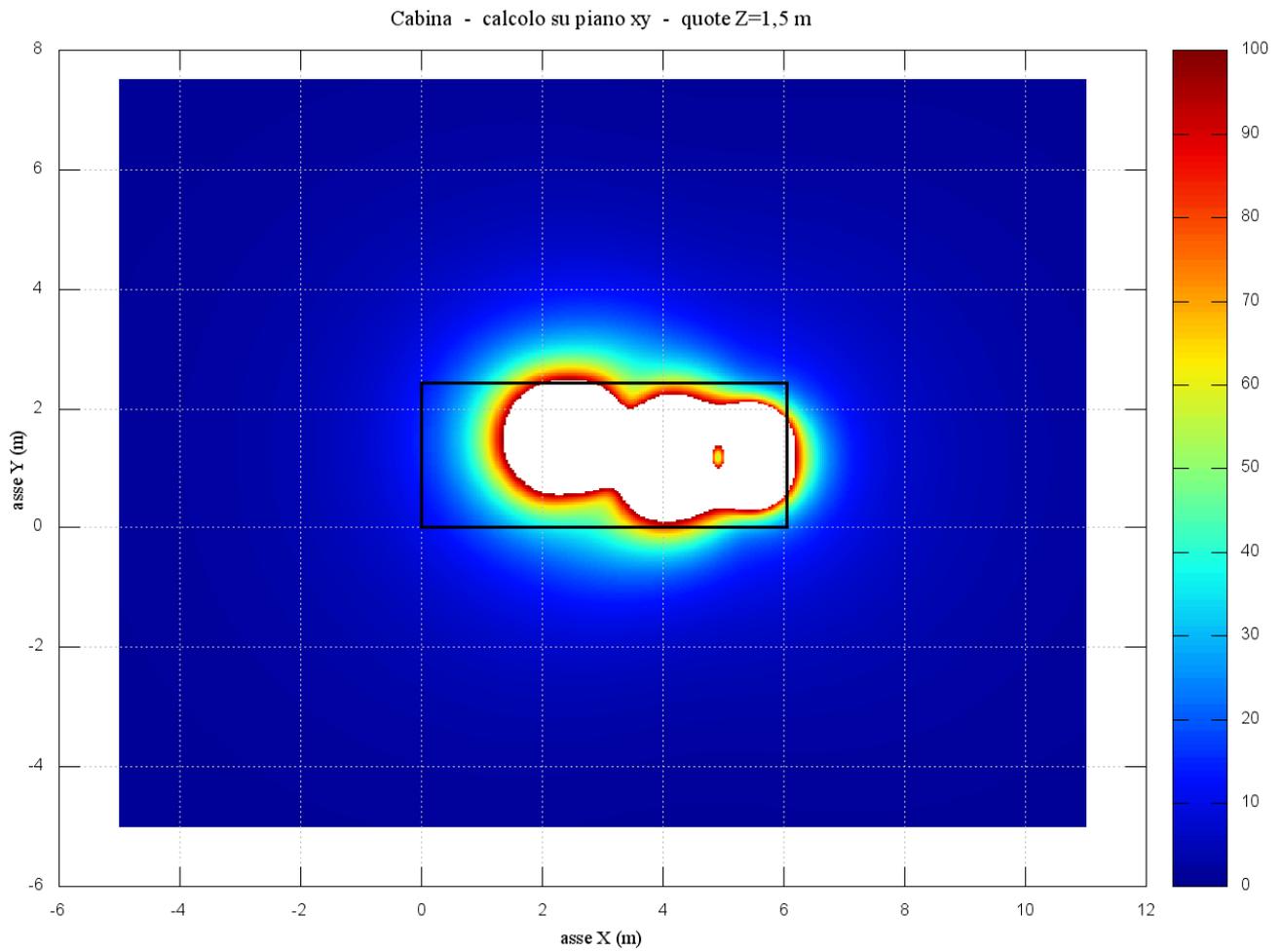


Figura 42: MVPS 9 ~ 15, h = 1,5 m, mappa 2D

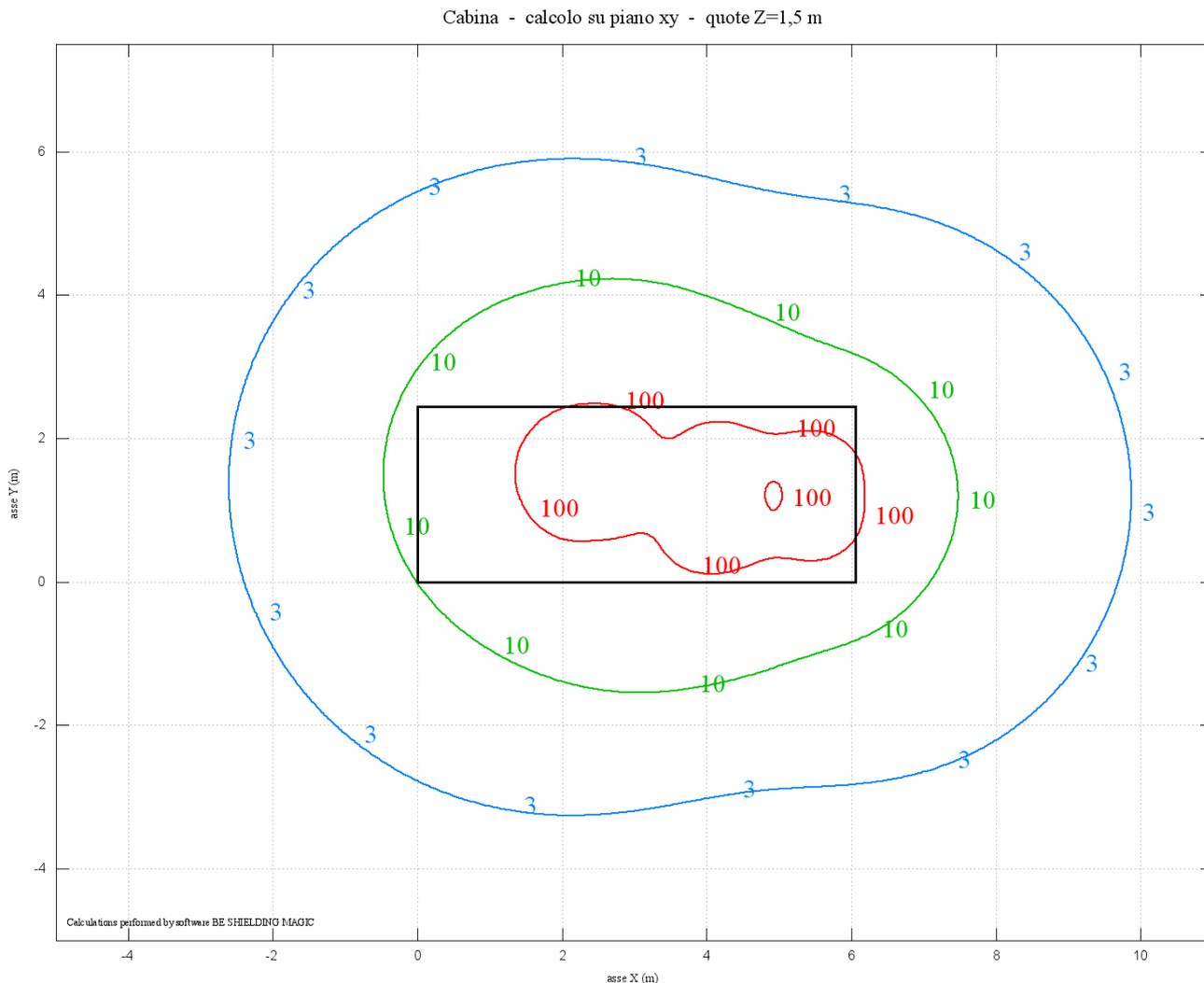


Figura 43: MVPS 9 ~ 15, h = 1,5 m, curve isolivello

La DPA dalle pareti (indicate dalla linea nera) risulta circa 3,5 m dalla parete anteriore, circa 3,5 m dalla parete posteriore, circa 3 m dalla parete laterale sinistra e circa 4 m dalla parete laterale destra.

4.6. MVPS 16

Per il calcolo della distanza di prima approssimazione valido per le MVPS da 9 a 15, sono state considerate le sorgenti di induzione magnetica elencate:

- Trafo MT/BT da 1250 kVA in olio (massima corrente circolante dell'avvolgimento secondario pari a 1057 A);
- Trafo MT/BT da 30 kVA a secco, a servizio degli ausiliari (massima corrente circolante dell'avvolgimento secondario pari a 48,11 A);
- QMT 1 con 2 celle, dal quale entra ed esce la linea ad anello del Sottocampo 2 (corrente massima circolante nella linea pari a 441,57 A);

- QBT (corrente massima circolante nelle sbarre pari a 1057 A).

Si riportano di seguito i risultati ottenuti mediante lo studio software a livello del suolo ($h = 0$ m) e ad altezza uomo ($h = 1,5$ m):

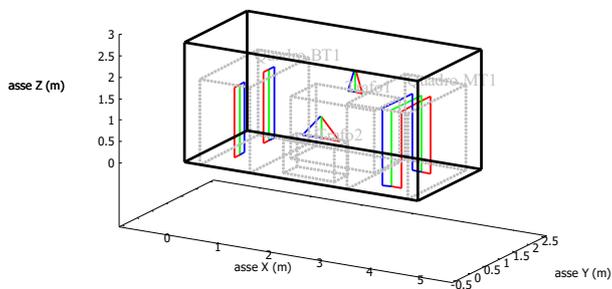


Figura 44: MVPS 16, geometria

- **MVPS 16 ($h = 0$ m)**

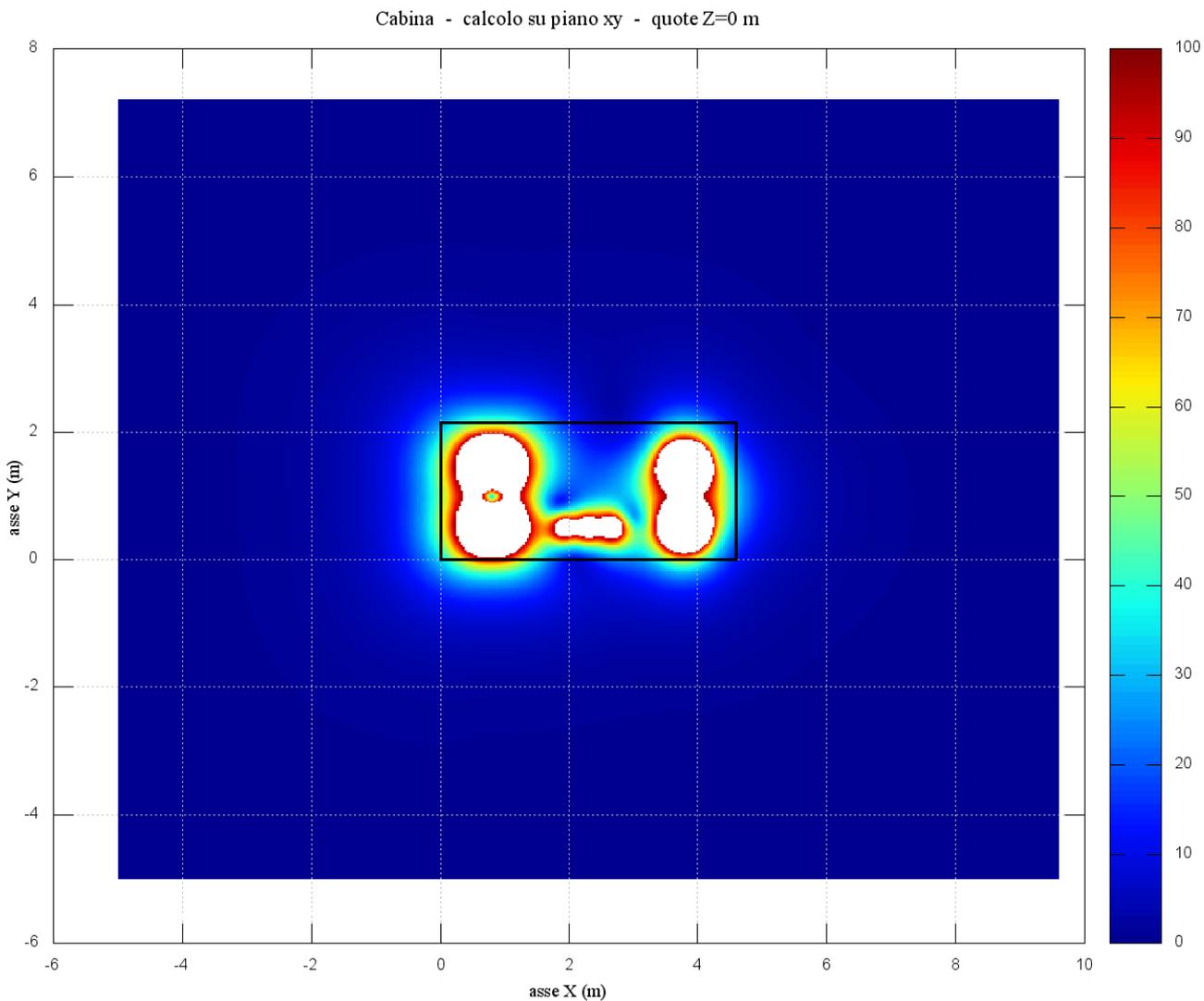


Figura 45: MVPS 16, $h = 0$ m, mappa 2D

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

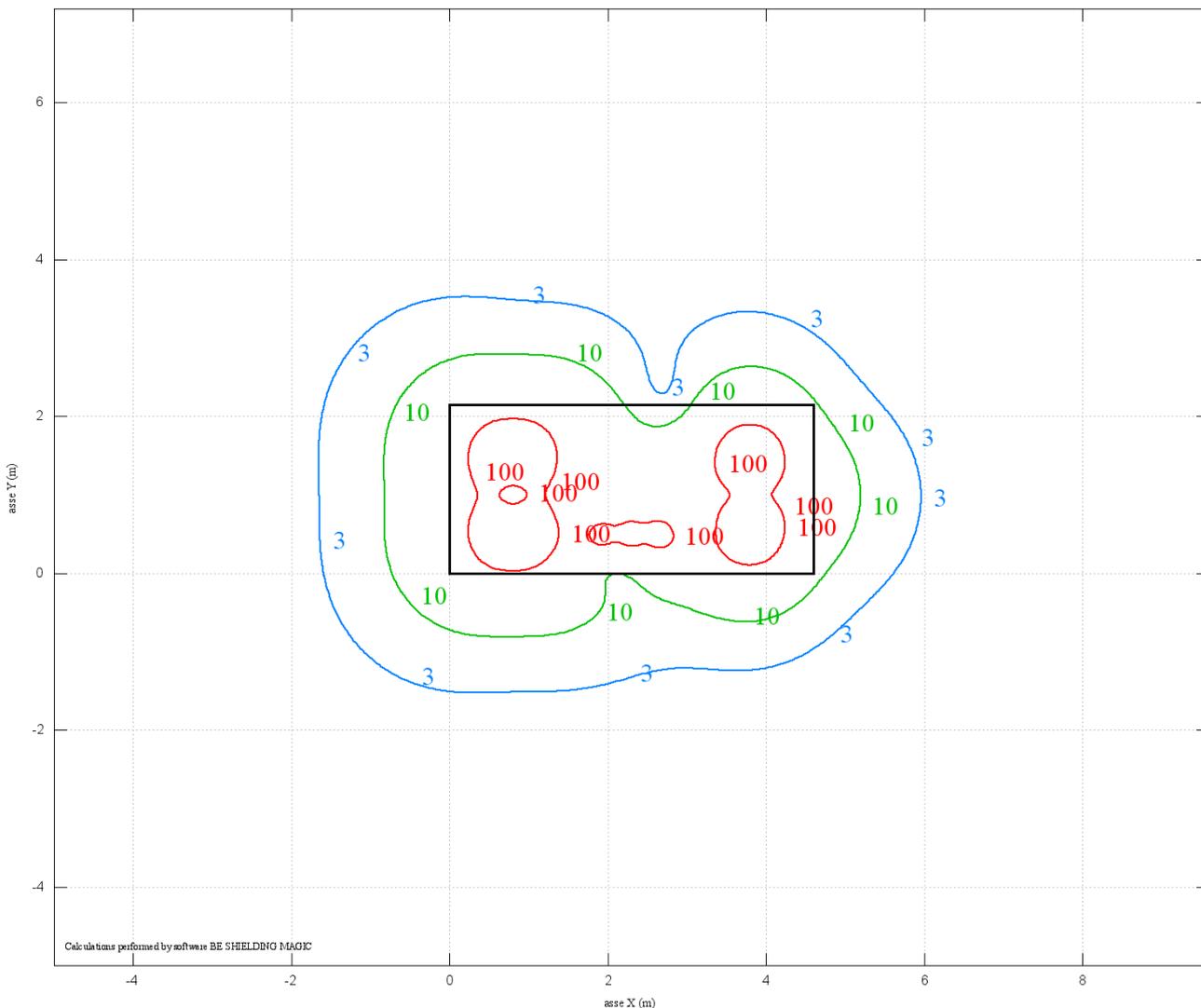


Figura 46: MVPS 16, $h = 0$ m, curve isolivello

La DPA dalle pareti (indicate dalla linea nera) risulta circa 2 m dalla parete anteriore, circa 2 m dalla parete posteriore, circa 2 m dalla parete laterale sinistra e circa 1,5 m dalla parete laterale destra.

- **MVPS 16 ($h = 1,5$ m)**

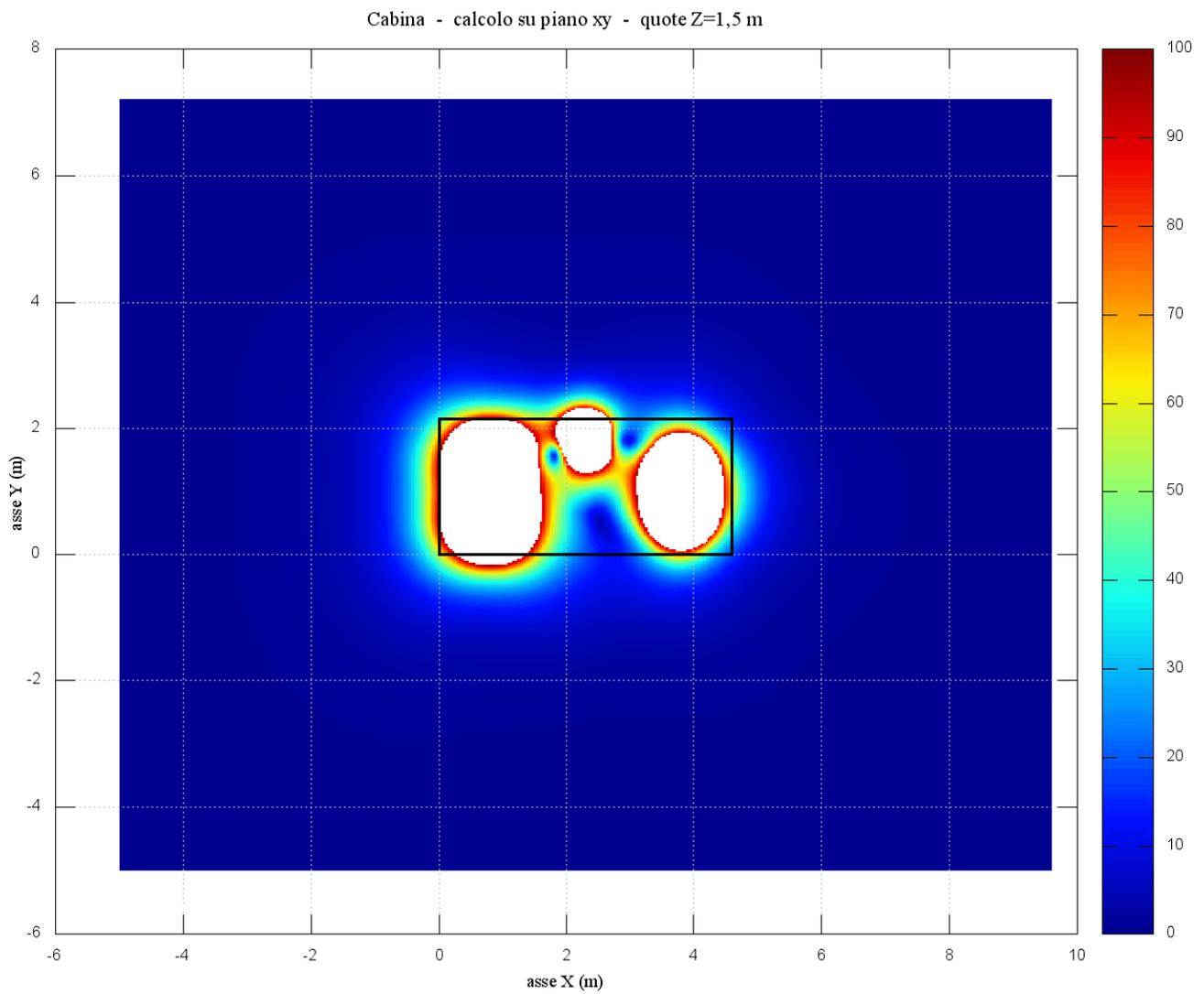


Figura 47: MVPS 16, h = 1,5 m, mappa 2D

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

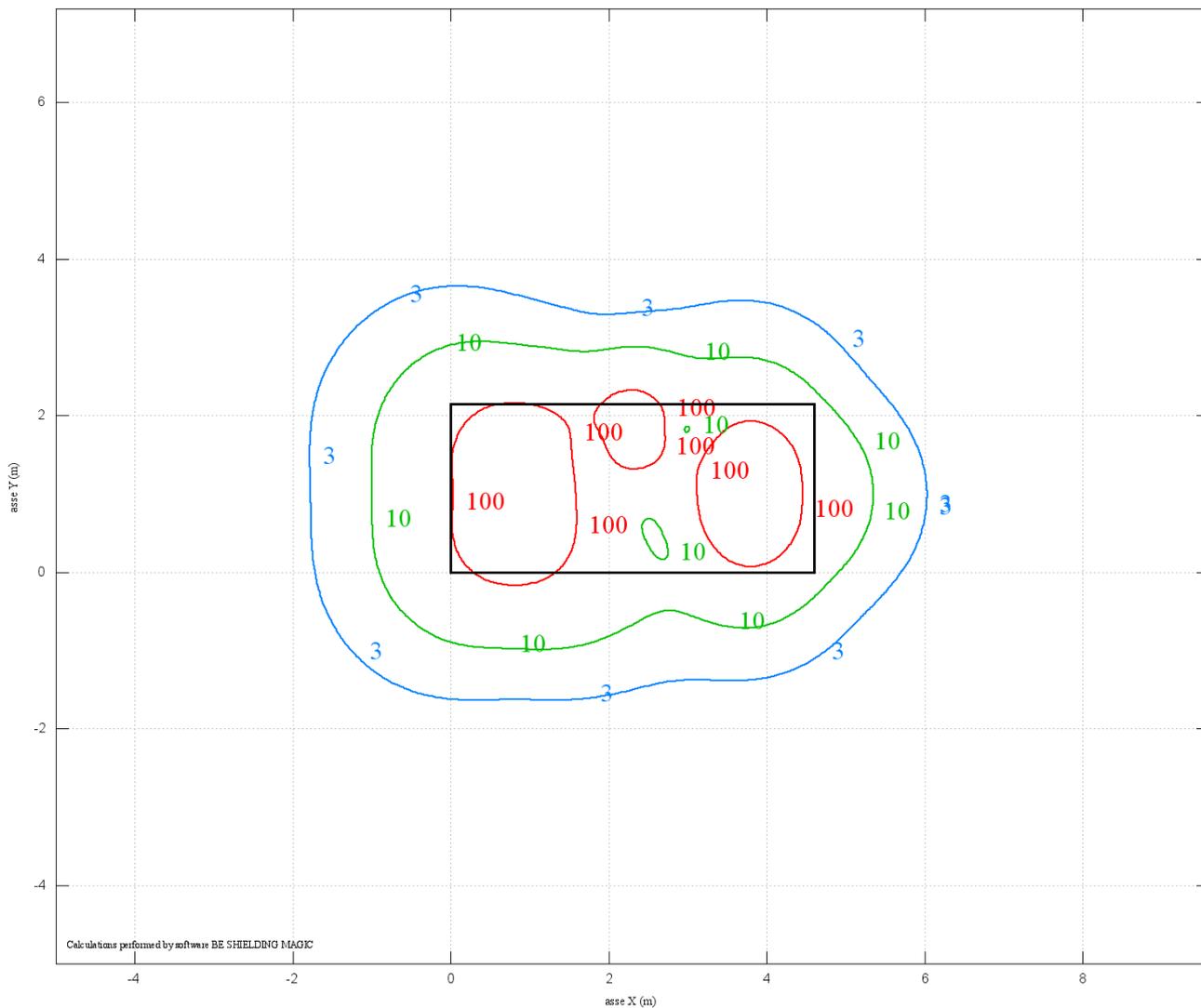


Figura 48: MVPS 16, h = 1,5 m, curve isolivello

La DPA dalle pareti (indicate dalla linea nera) risulta circa 2 m dalla parete anteriore, circa 2 m dalla parete posteriore, circa 2 m dalla parete laterale sinistra e circa 1,5 m dalla parete laterale destra.

5. CONCLUSIONI

Il DPCM 8 Luglio 2003 fissa i limiti di esposizione per la popolazione ai campi elettrici e magnetici generati da elettrodotti alla frequenza di rete (50Hz). Tali limiti sono pari a 100 μ T, 10 μ T e 3 μ T rispettivamente come limite di esposizione, valore di attenzione e obiettivo di qualità: gli ultimi due sono validi per esposizioni superiori alle 4 ore/giorno.

In base alla definizione del DM del 29 Maggio 2008, occorre applicare la Dpa alle stazioni elettriche, alle cabine primarie e secondarie e agli elettrodotti ad esse collegati.

In riferimento al campo magnetico relativo all'impianto agrofotovoltaico e al cavidotto MT, lo studio delle varie sorgenti presenti in impianto ha dimostrato l'assenza di fattori di rischio per la salute umana.

In particolare, si sottolineano i seguenti aspetti:

- Le apparecchiature, i dispositivi e in particolare le MVPS risultano certificate dai produttori in materia di compatibilità elettromagnetica;
- Le varie sorgenti non veicolano praticamente mai la massima corrente teorica;
- Ad una distanza inferiore delle varie DPA non sono ubicati ricettori sensibili, abitazioni o luoghi dove sia ragionevole supporre una permanenza di persone per più di 4 ore al giorno o per periodi prolungati;
- I lavori di manutenzione verranno tutti effettuati in assenza di tensione.

In merito alle radiazioni non ionizzanti, ovvero le uniche associabili ad impianti agrofotovoltaici come nel caso specifico, si è dimostrato il rispetto dei parametri di qualità. Per quanto concerne il campo elettrico, in virtù della schermatura e dell'isolamento dei cavi, il valore rispetta a pieno il limite di 5kV/m, in quanto esso può considerarsi trascurabile.

Inoltre, come emerge dall'elaborato "0121_R.E.08_Relazione campi elettrici e Magnetici_Rev00" riferito al complesso Cabina Utente Sa Pedrera, linea in cavo AT e stallo dedicato nella Cabina Primaria Guspini, con funzione di connettere l'impianto agrofotovoltaico alla rete elettrica nazionale, è stato rilevato il rispetto del valore di qualità di 3 μ T già sul perimetro sia della Cabina Utente Sa Pedrera che della Cabina Primaria Guspini.

In conclusione, il progetto rispetta i limiti di cui al DPCM 08/07/2003 ed è conforme alla normativa vigente.