



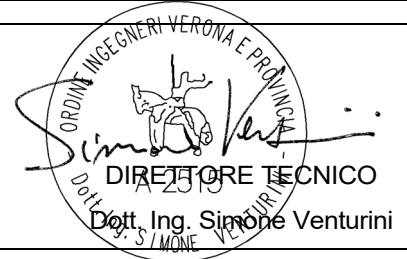
**PROGETTAZIONE DEFINITIVA E STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE  
PER RICHIESTA DI AUTORIZZAZIONE UNICA  
DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO DA 40 MW  
IN ZONA INDUSTRIALE DI PRATO SARDO NEL COMUNE DI NUORO (NU)**

# PROGETTO DEFINITIVO

**NUORO  
SOLAR** 

COMMITTENTE:

PROGETTISTA:



TITOLO ELABORATO:

**RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI SSE/AT**


ELABORATO n°:  
BI029F-D-NUO-RT-20-r00

NOME FILE:

SCALA: ----

DATA: Giugno 2023

REVISIONE	N.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
	00		Giugno 2023	Prima Emissione	A. Mari	M. Sandri
01						
02						
03						
04						

	Rev. 0	Data Giugno 2023	El: BI029F-D-NUO-RT-20-r00	Pag. 1
			RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI SSE/AT	

## SOMMARIO

<b>1.</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>SIGLE, ABBREVIAZIONI E DEFINIZIONI.....</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>LEGGI, NORME E GUIDE DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>8</b>
4.1.	LEGGI .....	8
4.2.	NORME .....	8
4.3.	ALTRO .....	8
<b>5.</b>	<b>SOFTWARE UTILIZZATO.....</b>	<b>9</b>
<b>6.</b>	<b>METODO DI CALCOLO .....</b>	<b>10</b>
6.1.	CAMPO MAGNETICO .....	10
6.2.	CAMPO ELETTRICO .....	11
<b>7.</b>	<b>LIMITI AMMESSI .....</b>	<b>12</b>
7.1.	POPOLAZIONE.....	12
7.2.	LAVORATORI .....	13
7.3.	RIEPILOGO .....	15
<b>8.</b>	<b>VALORI DI RIFERIMENTO PER LE CORRENTI .....</b>	<b>16</b>
<b>9.</b>	<b>CALCOLO CAMPO MAGNETICO .....</b>	<b>17</b>
9.1.	INPUT.....	17
9.2.	OUTPUT .....	20
9.3.	COMMENTI AI RISULTATI.....	28
<b>10.</b>	<b>CAMPO ELETTRICO.....</b>	<b>29</b>
10.1.	INPUT.....	29
10.2.	OUTPUT .....	30
10.3.	COMMENTI AI RISULTATI.....	36

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Planimetria generale di progetto.....	4
Figura 2 – Fasce di rispetto e Distanza di Prima Approssimazione .....	7
Figura 3 – Layout complessivo SSE Nuoro e collegamento AT interrato fino alla SSE E- Distribuzione – Evidenziazione dei collegamenti AT ed MT considerati per il calcolo.	18
Figura 4 – Layout SSE Nuoro – Evidenziazione dei collegamenti AT ed MT considerati per il calcolo.....	18
Figura 5 – Distribuzione del modulo delle correnti longitudinali sui conduttori sorgenti del campo magnetico (3D).....	19



	Rev. 0	Data Giugno 2023	El: BI029F-D-NUO-RT-20-r00	Pag. 2
			RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI SSE/AT	

Figura 6 – Superficie di calcolo del campo magnetico al suolo (h = 0 m) .....	20
Figura 7 – Distribuzione del campo magnetico al suolo (h = 0 m) per l'intero percorso .....	21
Figura 8 – Distribuzione del campo magnetico al suolo (h = 0 m) per la SSE Nuoro.....	21
Figura 9 – Superficie di calcolo del campo magnetico ad h = 1.5 m .....	22
Figura 10 – Distribuzione del campo magnetico ad h = 1.5 m.....	22
Figura 11 – Sezione di calcolo del campo magnetico – Stallo AT in ingresso.....	23
Figura 12 – Distribuzione del campo magnetico nella sezione considerata – Stallo AT in ingresso.....	23
Figura 13 – Sezione di calcolo del campo magnetico – Linee MT in cavo di collegamento trasformatore – quadro MT .....	24
Figura 14 – Distribuzione del campo magnetico nella sezione considerata - Linee MT in cavo di collegamento trasformatore – quadro MT.....	24
Figura 15 – Superficie di calcolo del campo magnetico ad 1.5 m dal suolo.....	25
Figura 16 – Distribuzione del campo magnetico ad 1.5 m dal suolo nel range 0 – 30 $\mu$ T (2D).....	25
Figura 17 – Distribuzione del campo magnetico ad 1.5 m dal suolo nel range 0 – 30 $\mu$ T (3D) – Dettaglio .....	26
Figura 18 – Distribuzione del campo magnetico ad 1.5 m dal suolo nel range 3 – 10 $\mu$ T (2D).....	26
Figura 19 – Distribuzione del campo magnetico ad 1.5 m dal suolo nel range 3 – 10 $\mu$ T (3D) - Dettaglio .....	27
Figura 20 - Aree con riferimento ai limiti di induzione magnetica del DPCM 8 luglio 2003 ad 1.5 m dal suolo.....	28
Figura 21 – Distribuzione del modulo delle tensioni verso terra sui conduttori sorgenti del campo elettrico (2D) .....	29
Figura 22 – Superficie di calcolo del campo elettrico al suolo (h = 0 m).....	30
Figura 23 – Distribuzione del campo elettrico al suolo (h = 0 m).....	31
Figura 24 – Superficie di calcolo del campo elettrico ad h = 1.5 m.....	31
Figura 25 – Distribuzione del campo elettrico ad h = 1.5 m .....	32
Figura 26 – Sezione di calcolo del campo elettrico – Stallo AT in ingresso .....	32
Figura 27 – Distribuzione del campo elettrico nella sezione considerata – Stallo AT in ingresso.....	33
Figura 28 – Distribuzione del campo elettrico al suolo nel range 0 – 1.6 kV/m (2D) .....	33
Figura 29 – Distribuzione del campo elettrico al suolo nel range 0 – 1.6 kV/m (3D) .....	34
Figura 30 – Distribuzione del campo elettrico ad h = 1.5 m nel range 0 – 1.6 kV/m (2D).....	34
Figura 31 – Distribuzione del campo elettrico ad h = 1.5 m nel range 0 – 1.6 kV/m (3D).....	35
Figura 32 - Aree con riferimento ai limiti di campo elettrico del DPCM 8 luglio 2003 ad 1.5 m dal suolo .....	36

	Rev. 0	Data Giugno 2023	El: BI029F-D-NUO-RT-20-r00	Pag. 3
			RELAZIONE CAMPI ELETTRICI E CAMPI ELETTRICI SSE/AT	

## 1. PREMESSA

Il progetto in esame è relativo alla realizzazione e messa in esercizio di un impianto agrivoltaico, ovvero un sistema innovativo in cui si implementano la produzione di energia mediante fonti rinnovabili (solare) e la produzione agricola per la generazione di energia elettrica, comprensivo delle opere di connessione, nel territorio comunale di Nuoro (NU) in Sardegna, in prossimità della zona industriale “Prato Sardo”, per una potenza nominale installata pari a circa 42 MWp DC ed una potenza in immissione pari a circa 37 MVA AC, con rapporto DC/AC di circa 1,15.

L’energia elettrica sarà prodotta da moduli fotovoltaici bifacciali montati su strutture ad inseguimento mono assiale in acciaio. L’impianto sarà installato in parte in area di tipo industriale che permette un raffittimento delle strutture ad inseguimento e in parte in area di tipo agricolo. Tutta l’energia elettrica prodotta, al netto dei consumi dei servizi ausiliari, verrà ceduta alla rete.

La stessa energia sarà raccolta all’interno dell’area d’impianto attraverso una rete diffusa di cavi interrati in media tensione da 30kV, collegati alla sottostazione elettrica lato utente, e trasformata a 150kV per la connessione via cavo alla vicina cabina primaria di e-distribuzione da 30/150 kV.

La progettazione dell’opera è stata sviluppata tenendo in considerazione una serie di criteri sociali, ambientali e territoriali, che hanno permesso di valutare gli effetti della pianificazione elettrica nell’ambito territoriale considerato nel pieno rispetto degli obiettivi della salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità dell’ambiente, della protezione della salute umana e dell’utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali.

L’energia elettrica prodotta dall’impianto concorrerà al raggiungimento dell’obiettivo di incrementare la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, coerentemente con gli accordi siglati a livello comunitario dall’Italia.

L’impianto è stato studiato e progettato comparando le esigenze della pubblica utilità delle opere con gli interessi pubblici e privati coinvolti, cercando in particolare di:

- minimizzare l’interferenza con le zone di pregio ambientale, naturalistico, paesaggistico e archeologico;
- evitare, per quanto possibile, l’interessamento di aree urbanizzate o di sviluppo urbanistico;
- minimizzare l’interessamento di aree soggette a dissesto geomorfologico;
- assicurare la continuità del servizio, la sicurezza e l’affidabilità della fornitura di energia;
- permettere il regolare esercizio e la manutenzione dell’impianto.

L'obiettivo del progetto è quello di creare un sistema in cui l'attività agricola non solo si integra nel sistema di produzione di energia elettrica, ma che l'impianto nel suo insieme si integri perfettamente con l'ambiente dal punto di vista paesaggistico. Il fine è pertanto quello di creare un contesto armonioso con la natura e l'ambiente ospitante.

Ciò consente di preservare per l'area agricola, la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione, garantendo, al contempo, una buona produzione energetica da fonti rinnovabili, mentre per l'area industriale, massimizzare la produzione annua. Anche il piano culturale è stato appositamente studiato considerando non solo la situazione preesistente e le annesse culture, ma anche integrando soluzioni agricole e di allevamento ad hoc che si inseriscono perfettamente nel contesto rurale, apportando valore aggiunto e migliore destinazione di uso delle aree. In questo contesto lo studio degli spazi di manovra per le macchine agricole è stato realizzato considerando le esigenze tipiche del mondo agricolo e nel rispetto della morfologia del territorio, oltre che alle esigenze legate alle manutenzioni e gestioni dell'impianto agrivoltaico.

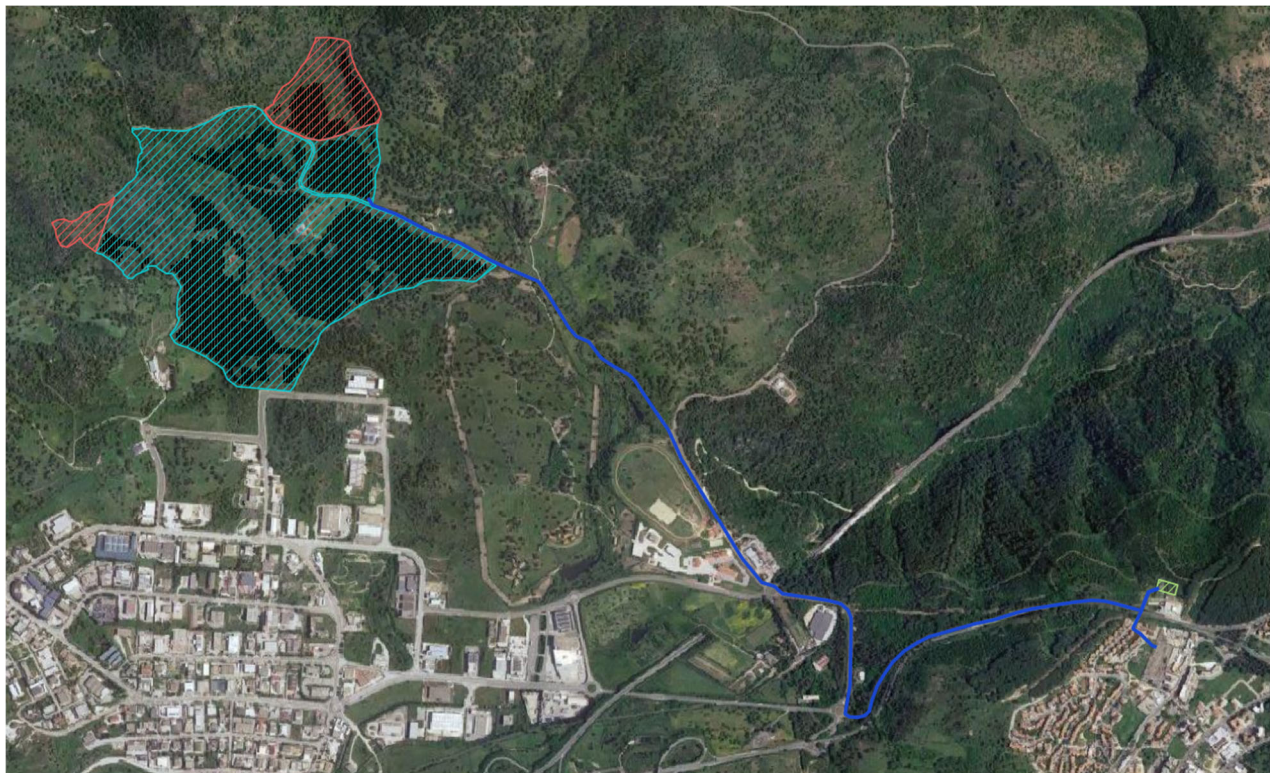



Figura 1 – Planimetria generale di progetto

	Rev. 0	Data Giugno 2023	El: BI029F-D-NUO-RT-20-r00	Pag. 5
			RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI SSE/AT	

## 2. INTRODUZIONE

La società Nuoro Solar Srl ha intrapreso l’iniziativa di realizzazione di un impianto di generazione da fonte rinnovabile (fotovoltaica) per una potenza complessiva di 37.200,00 kWac a fronte di 42.291,90 kWp, da ubicare nel Comune di Nuoro (NU).

Le Società e-distribuzione e TERNA hanno elaborato per Nuoro Solar Srl la Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) per l’allacciamento alla RTN, ai sensi dell’art.1 dell’allegato A alla deliberazione ARG/ELT/99/08 dell’Autorità di Regolazione per Energia, Reti, Ambiente (ARERA) e ss.mm.ii, la quale prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 150 kV (Impianto di Utenza per la Connessione) su un nuovo stallo di linea AT nella Cabina Primaria (CP) “Biscollai” a 150 kV situata nel comune di Nuoro.


Per tale connessione è necessaria una linea in cavo AT di lunghezza pari a circa 300m tra la CP e la sottostazione utente.

Lo scopo della presente relazione di calcolo è quello presentare le risultanze delle valutazioni sulla distribuzione dei campi elettrici e magnetici all’interno ed in prossimità della sottostazione utente a 150kV, nonché lungo il tracciato della linea in cavo. Si tratta di un caso a geometria complessa dove non è possibile quindi l’applicazione di formule semplificate, ed il fine è quello di verificare la rispondenza alla normativa e legislazione vigente in termini di livelli massimi ammessi per i suddetti campi e per la definizione delle fasce di rispetto.

I risultati del presente studio possono essere utilizzati anche a fini protezionistici (sicurezza e salute della popolazione e dei lavoratori).

Il calcolo è effettuato per valutare i livelli di esposizione sia all’interno che, soprattutto, nelle aree immediatamente esterne alla recinzione della sottostazione e lungo il tracciato del cavo.

Quando poi la sottostazione sarà a regime, sarà possibile una misura dei campi a conferma di quanto calcolato.

	Rev. 0	Data Giugno 2023	El: BI029F-D-NUO-RT-20-r00	Pag. 6
			RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI SSE/AT	

### 3. SIGLE, ABBREVIAZIONI E DEFINIZIONI

Nella presente relazione sono stati usati i seguenti simboli:

- I = corrente elettrica;
- q= carica elettrica;
- H = campo magnetico (\*);
- B = induzione magnetica (\*);
- E = campo elettrico;
- $\mu$  = permeabilità magnetica;
- $\epsilon$  = permittività elettrica.

*(\*) NOTA: Nella presente relazione si farà spesso riferimento al “calcolo del campo magnetico”, confondendolo con l’induzione magnetica che è quella che viene di fatto calcolata. Questo solo per semplicità di esposizione.*

Nella presente relazione sono state usate le seguenti abbreviazioni:

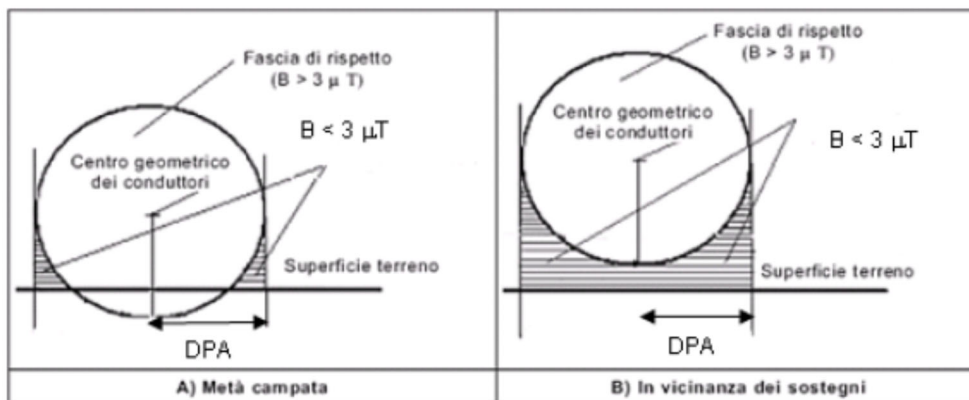
- ac: Corrente alternata
- AT: Alta Tensione (nel caso di specie 150 kV)
- BT: Bassa Tensione
- CdR: Codice di Rete TERNA
- CEI = Comitato Elettrotecnico Italiano;
- DPA: Distanza di prima Approssimazione
- MT: Media Tensione (nel caso di specie 30 kV)
- RTN: Rete di Trasmissione Nazionale
- SSE: Sottostazione Elettrica di trasformazione (AT/MT)

Si ritiene inoltre utile chiarire il significato dei seguenti termini utilizzati:

- Fascia di rispetto: è lo spazio circostante un elettrodotto (o comunque un conduttore percorso da corrente), 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 (3  $\mu$ T). Come prescritto dall’articolo 4, c. 1 lettera h) della Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001, all’interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso

residenziale, scolastico, sanitario e ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore (Figura 2)

- Distanza di Prima Approssimazione (DPA): per le linee è 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 della DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto (Figura 2).




*Figura 2 - Schema Fasce di rispetto e DPA in corrispondenza di metà campata e in vicinanza dei sostegni.*

**N.B. La dimensione della DPA delle linee elettriche viene fornita approssimata per eccesso al metro superiore (interpretazione prevalente delle ARPA).**

**Figura 2 – Fasce di rispetto e Distanza di Prima Approssimazione**



	Rev. 0	Data Giugno 2023	El: BI029F-D-NUO-RT-20-r00	Pag. 8
			RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI SSE/AT	

## 4. LEGGI, NORME E GUIDE DI RIFERIMENTO

### 4.1. LEGGI


- 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 50 Hz generati da elettrodotti” (popolazione);
- DLgs 81/2008 “Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro” (lavoratori);
- Decreto 29 maggio 2008 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”.
- DLgs 159/2016 “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)”

### 4.2. NORME

- Norma CEI 106-11 “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” Prima edizione, 2006;
- Norma CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche” Seconda edizione, 2008;
- Norma CEI 11-60 “Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV”.

### 4.3. ALTRO

- Documenti del presente progetto, in particolare:

	Rev. 0	Data Giugno 2023	El: BI029F-D-NUO-RT-20-r00	Pag. 9
			RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI SSE/AT	

## 5. SOFTWARE UTILIZZATO

I calcoli di cui al presente studio sono stati effettuati utilizzando il software XGSLab (over and under Ground System Laboratory) sviluppato da SINT Srl.

XGSLab è uno dei più potenti software disponibili sul mercato per l'analisi di impianti di terra, sistemi di protezione catodica, interferenze elettromagnetiche, campi elettromagnetici e scariche atmosferiche.


XGSLab comprende i seguenti moduli:

- GSA (GROUNDING SYSTEM ANALYSIS) per applicazioni standard (applicabile nella maggior parte dei casi pratici);
- GSA\_FD (GROUNDING SYSTEM ANALYSIS in the FREQUENCY DOMAIN) per applicazioni speciali (dispersori molto grandi, resistività del suolo molto basse o alte frequenze);
- XGSA\_FD (OVER AND UNDER GROUND SYSTEM ANALYSIS in the FREQUENCY DOMAIN) per il calcolo di campi elettromagnetici ed interferenze elettromagnetiche associati a sistemi di conduttori aerei o interrati e per il calcolo degli effetti delle scariche atmosferiche e della distribuzione di correnti di guasto.

In particolare nel caso specifico, essendo le sorgenti di campo aeree, è stato utilizzato il modulo XGSA\_FD.

Il campo di applicazione in frequenza di tale software va da DC a qualche MHz e comprende quindi le frequenze utilizzate per i sistemi elettrici di potenza (fondamentale, armoniche e transitori) e dai fulmini.

**Il software è quindi adeguato al caso specifico tenuto conto delle sorgenti in oggetto a frequenza industriale o al più delle sue armoniche.**

	Rev. 0	Data Giugno 2023	El: BI029F-D-NUO-RT-20-r00	Pag. 10
			RELAZIONE CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI SSE/AT	

## 6. METODO DI CALCOLO

La tipologia delle sorgenti del campo magnetico ed elettrico nel caso specifico (conduttori di lunghezza ridotta ed altezza rispetto al suolo variabile), richiede un metodo di calcolo completamente tridimensionale.

Il metodo di calcolo adottato è in sostanza un “boundary element” tridimensionale e si basa sull’applicazione delle leggi della fisica.

Le sorgenti sono dapprima discretizzate in elementi “corti” e quindi ne è calcolata la distribuzione delle correnti e delle cariche.

La distribuzione delle correnti è propedeutica al calcolo del campo magnetico.

La distribuzione delle cariche è propedeutica al calcolo del campo elettrico.

XGSLab utilizza un algoritmo di calcolo generale che tiene conto della reazione del terreno.

Le formule di seguito riportate sono semplificate e comunque adeguate a bassa frequenza.

In realtà le formule implementate considerano anche la reazione del terreno (integrali di Sommerfeld) e fenomeni che si manifestano a frequenze elevate come ad esempio i fenomeni di propagazione.

### 6.1. CAMPO MAGNETICO

Il campo magnetico viene ottenuto come sovrapposizione degli effetti del contributo delle correnti su ciascun elemento.

Il contributo di ciascun elemento di lunghezza “l” percorso dalla corrente uniforme “I” si ottiene con la (formula di Biot Savart):


$$\dot{\mathbf{B}} = \mu \dot{\mathbf{H}} = \mu \frac{\dot{I} \cdot l}{4\pi r^2} \mathbf{l} \times \mathbf{r}$$

ovvero secondo gli assi del sistema cartesiano di riferimento con le:

$$\dot{B}_x = \mu \frac{\dot{I} l}{4\pi r^2} (l_y r_z - l_z r_y)$$

$$\dot{B}_y = \mu \frac{\dot{I} l}{4\pi r^2} (l_z r_x - l_x r_z)$$

$$\dot{B}_z = \mu \frac{\dot{I} l}{4\pi r^2} (l_x r_y - l_y r_x)$$

	Rev. 0	Data Giugno 2023	El: BI029F-D-NUO-RT-20-r00	Pag. 11
			RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI SSE/AT	

Sovrapponendo gli effetti di elementi interessati da correnti tra loro sfasate, il vettore induzione magnetica risultante è caratterizzato in generale da polarizzazione ellittica. Si considera il solo valore efficace (ovvero la radice quadrata della somma dei quadrati dei valori efficaci delle sue componenti):

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

Il campo magnetico si considera imperturbato (ovvero non distorto e non attenuato) dalla presenza di edifici, strutture, alberi, persone etc... Tale assunzione è accettabile alle frequenze di interesse e comunque conservativa.

## 6.2. CAMPO ELETTRICO

Il campo elettrico viene ottenuto come sovrapposizione degli effetti del contributo delle cariche su ciascun elemento e sulla corrispondente immagine rispetto alla superficie del suolo.

Il contributo di ciascun elemento di con carica "q" si ottiene con la:

$$\dot{E} = \frac{\dot{q}}{4\pi\epsilon_0 r^2} \mathbf{r} - \frac{\dot{q}}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \mathbf{r}'$$

ovvero secondo gli assi del sistema cartesiano di riferimento con le:

$$\dot{E}_x = \frac{\dot{q}}{4\pi\epsilon_0 r^2} r_x - \frac{\dot{q}}{4\pi\epsilon_0 r'^2} r'_x$$


$$\dot{E}_y = \frac{\dot{q}}{4\pi\epsilon_0 r^2} r_y - \frac{\dot{q}}{4\pi\epsilon_0 r'^2} r'_y$$

$$\dot{E}_z = \frac{\dot{q}}{4\pi\epsilon_0 r^2} r_z - \frac{\dot{q}}{4\pi\epsilon_0 r'^2} r'_z$$

Sovrapponendo gli effetti di elementi interessati da cariche tra loro sfasate, il vettore campo elettrico risultante è caratterizzato in generale da polarizzazione ellittica. Si considera il solo valore efficace (ovvero la radice quadrata della somma dei quadrati dei valori efficaci delle sue componenti):

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

Il campo elettrico si considera imperturbato (ovvero non distorto e non attenuato) dalla presenza di edifici, strutture, alberi, persone etc... All'atto pratico, il campo elettrico all'interno degli edifici si può considerare completamente schermato e quindi trascurabile. Il campo elettrico all'esterno degli edifici all'atto pratico è spesso perturbato e considerarne il valore imperturbato porta a risultati conservativi.

	Rev. 0	Data Giugno 2023	El: BI029F-D-NUO-RT-20-r00	Pag. 12
			RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI SSE/AT	

## 7. LIMITI AMMESSI

Nel seguito si distinguono limiti:

- per la popolazione
- per i lavoratori

### 7.1. POPOLAZIONE

I limiti per la popolazione interessano le aree all'esterno della SSE e lungo il tracciato delle linee in cavo.

Le valutazioni di campo elettrico e magnetico sono state effettuate nel pieno rispetto del 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 (50 Hz) generati dagli elettrodotti", nonché della "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti", approvata con DM 29 maggio 2008 (pubblicato in G.U. n. 156 del 05/07/2008 – Supplemento Ordinario n. 160).

I valori indicati sono i seguenti:

- **Limite di esposizione:** 100  $\mu\text{T}$  per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci;
- **Valore di attenzione:** 10  $\mu\text{T}$  per l'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio, da osservare negli ambienti abitativi, nelle aree gioco per l'infanzia, nelle scuole ed in tutti quei luoghi dove si soggiorna per più di quattro ore al giorno;
- **Obiettivo di qualità:** 3  $\mu\text{T}$  per l'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio, che deve essere rispettato nella progettazione dei nuovi elettrodotti in corrispondenza degli ambienti e delle aree definiti al punto precedente e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche esistenti.

Per "**fasce di rispetto**" si intendono quelle definite dalla Legge 22 febbraio 2001 n° 36, ovvero il volume racchiuso dalla curva isolivello a 3  $\mu\text{T}$ , all'interno delle quali non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario, ovvero un uso che comporti una permanenza superiore a 4 ore, da determinare in conformità alla metodologia di cui al D.P.C.M. 08/07/2003.

	Rev. 0	Data Giugno 2023	El: BI029F-D-NUO-RT-20-r00	Pag. 13
			RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI SSE/AT	

Tale DPCM prevede (art. 6 comma 2) che l'APAT (ora ISPRA), sentite le ARPA, definisca la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto con l'approvazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Con Decreto 29 maggio 2008 (pubblicato in G.U. n. 156 del 05/07/2008 – Supplemento Ordinario n. 160) il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha approvato la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti.

## 7.2. LAVORATORI

I limiti per i lavoratori interessano le aree all'interno della SSE.

I limiti per l'esposizione ai campi elettrici e magnetici per i lavoratori erano stabiliti dal DLgs 81/2008, ponendosi tra gli obiettivi la tutela dei lavoratori dagli effetti dei campi elettrici e magnetici.

Con DLgs 159/2016 "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)", si sono poi integrati e modificati i valori riportati nel DLgs 81/2008, con quelli di seguito riportati.

Va premesso che i campi di cui al caso specifico sono caratterizzati da andamento sinusoidale a 50 Hz, con trascurabile presenza di armoniche. Quindi, si faranno di seguito considerazioni relativamente alla sola frequenza di 50 Hz.

A queste frequenze, gli effetti biofisici diretti si limitano a effetti Non Termici, quali la stimolazione di muscoli, nervi e organi sensoriali. Tali effetti possono essere di detrimento per la salute mentale e fisica dei lavoratori esposti. Inoltre, la stimolazione degli organi sensoriali può comportare sintomi transitori quali vertigini e fosfeni. Inoltre, tali effetti possono generare disturbi temporanei e influenzare le capacità cognitive o altre funzioni cerebrali o muscolari e possono, pertanto, influire negativamente sulla capacità di un lavoratore di operare in modo sicuro.

Si possono escludere poi gli effetti indiretti citati dal DLgs, per la natura del campo (non statico) e per il fatto che i condotti sono isolati. Tuttavia, può essere raccomandabile la limitazione al transito di persone con eventuali dispositivi medici elettronici, compresi stimolatori cardiaci e altri impianti o dispositivi medici portati sul corpo.

Come suggerito dal DLgs, una valutazione di confronto con i valori di azione (VA) può consentire la determinazione del rispetto dei Valori Limite di Esposizione (VLE).

Con riferimento ai limiti per i VA riportati in Allegato al DLgs (All. XXXVI) – Parte II – Lettera B), Tab. B2, vale:

- VA (B) inferiori per campi magnetici ambientali a 50 Hz

VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [ $\mu$ T] (valori RMS) (1)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [ $\mu$ T] (valori RMS) (2)	VA (B) per l'induzione magnetica localizzata degli arti [ $\mu$ T] (valori RMS) (3)
1000	6000	18000

(1) I VA inferiori garantiscono per le frequenze al di sotto di 400 Hz il rispetto dei VLE relativi agli effetti sensoriali (tabella A3 dell'Allegato).

(2) I VA superiori garantiscono il rispetto dei VLE relativi agli effetti sanitari correlati alla stimolazione elettrica dei tessuti nervosi periferici e centrali (tabella A2 dell'Allegato). L'osservanza dei VA superiori assicura che non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari. ma, se l'esposizione della testa supera i VA inferiori per esposizioni a frequenze fino a 400 Hz, sono possibili effetti sensoriali, come fosfeni o modifiche minori e transitorie dell'attività cerebrale. In tal caso, ove giustificato dalla pratica o dal processo produttivo, è possibile applicare l'articolo 208, comma 3, lettera b), ovvero, per il caso specifico, l'esposizione può superare i VA inferiori per i campi magnetici anche a livello della testa e del tronco, durante il turno di lavoro, purché tale superamento sia solamente temporaneo in relazione al processo produttivo (il caso del passaggio attraverso il tunnel ad esempio) e le misure di prevenzione vengano riviste nel caso in cui i lavoratori riferiscano la comparsa di sintomi transitori (v. art. 201 comma 8)).

(3) I VA per l'esposizione degli arti garantiscono il rispetto dei VLE per gli effetti sanitari relativi alla stimolazione elettrica dei tessuti limitatamente agli arti, tenuto conto del fatto che il campo magnetico presenta un accoppiamento più debole negli arti che nel corpo intero. Questi valori possono essere utilizzati in caso di esposizione strettamente confinata agli arti, restando ferma la necessità di valutare il rispetto dei VA su tutto il corpo del lavoratore.

Riguardo invece ai limiti VA (E) per il campo elettrico ambientale, valgono quelli specificati alla Tab. B1 dell'Allegato XXXVI.

VA (E) inferiori per l'intensità del campo elettrico [kV/m] (valori RMS)	VA (E) superiori per l'intensità del campo elettrico [kV/m] (valori RMS)
10	20

Questi limiti sono fissati per garantire il rispetto dei VLE e per prevenire scariche elettriche.

Nel caso in cui il campo possa superare, in aree raggiungibili da operatori, i valori limite, si può procedere con confinamento delle aree stesse, ma anche alla messa a terra di oggetti di lavoro nelle vicinanze, il collegamento elettrico dei lavoratori con gli oggetti di lavoro, l'impiego di guanti e scarpe isolanti (art. 210 comma 5).

Il DLgs non dà un'indicazione sui metodi di valutazione del tempo massimo di permanenza di una persona in ambienti sottoposti a campi elettromagnetici.

### 7.3. RIEPILOGO

Ciò premesso, assimilando i limiti per il campo elettrico di apparecchiature IT, elettriche ed elettroniche ai limiti per la popolazione, i limiti assunti all'esterno ed all'interno del perimetro della SE possono essere assunti come riepilogato nella seguente tabella:

	Campo Magnetico ( $\mu\text{T}$ )	Campo Elettrico (kV/m)
Esterno		
Popolazione	3	5
Interno		
Lavoratori	1000	10

Detti limiti sono stati intesi con riferimento alle condizioni di massimo carico ammissibili.



## 8. VALORI DI RIFERIMENTO PER LE CORRENTI

Per il calcolo della distribuzione dei campi magnetici, è necessario individuare i valori massimi di corrente tollerabili dai singoli collegamenti in cavo o in sbarra, ovvero le portate di questi elementi.


Questo, tuttavia, con riferimento ai massimi valori tecnicamente interessanti l'impianto.

Il calcolo viene effettuato considerando conservativamente (seppur irrealisticamente) che:

- il trasformatore AT/MT sia interessato dalla massima corrente a 50MVA in ONAF, ovvero 175 A @ 150 kV e 787 A @ 30 kV
- che la barratura AT dello stallo sia interessata da una corrente pari a 175A
- che il cavo AT, lungo tutto il suo percorso dalla CP fino alla SSE utente, sia interessato da una corrente pari a 175A
- che le linee MT in ingresso siano interessate dalle seguenti correnti:

Impianto	Potenza campo fotovoltaico (kVA inverter)	Corrente (A)
Agricolo + Industriale	6,900.00	133
Industriale 1	11,700.00	225
Industriale 3	18,600.00	358

Si tratta di valori portati all'estremo, in modo da valutare una condizione massima legata alla potenzialità degli elementi.

	Rev. 0	Data Giugno 2023	El: BI029F-D-NUO-RT-20-r00	Pag. 17
			RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI SSE/AT	

## 9. CALCOLO CAMPO MAGNETICO

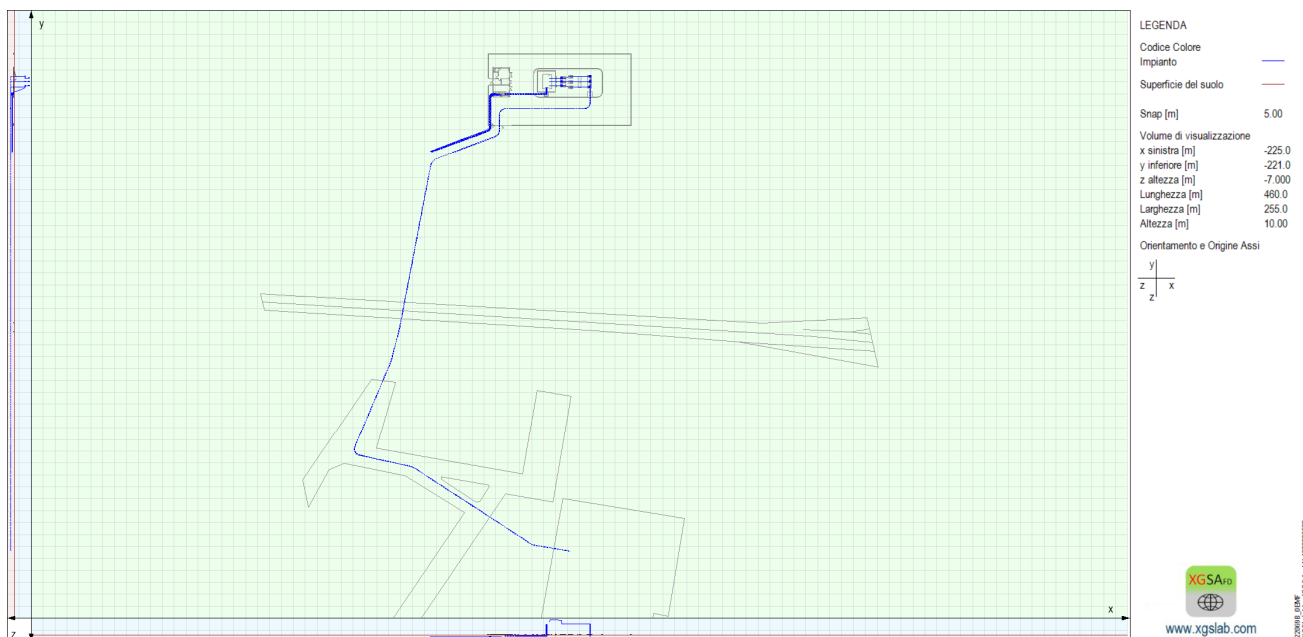
### 9.1. INPUT

I dati di ingresso per il calcolo del campo magnetico riguardano sostanzialmente la geometria delle sorgenti (conduttori percorsi da corrente) ed i valori delle correnti longitudinali (in modulo e fase).

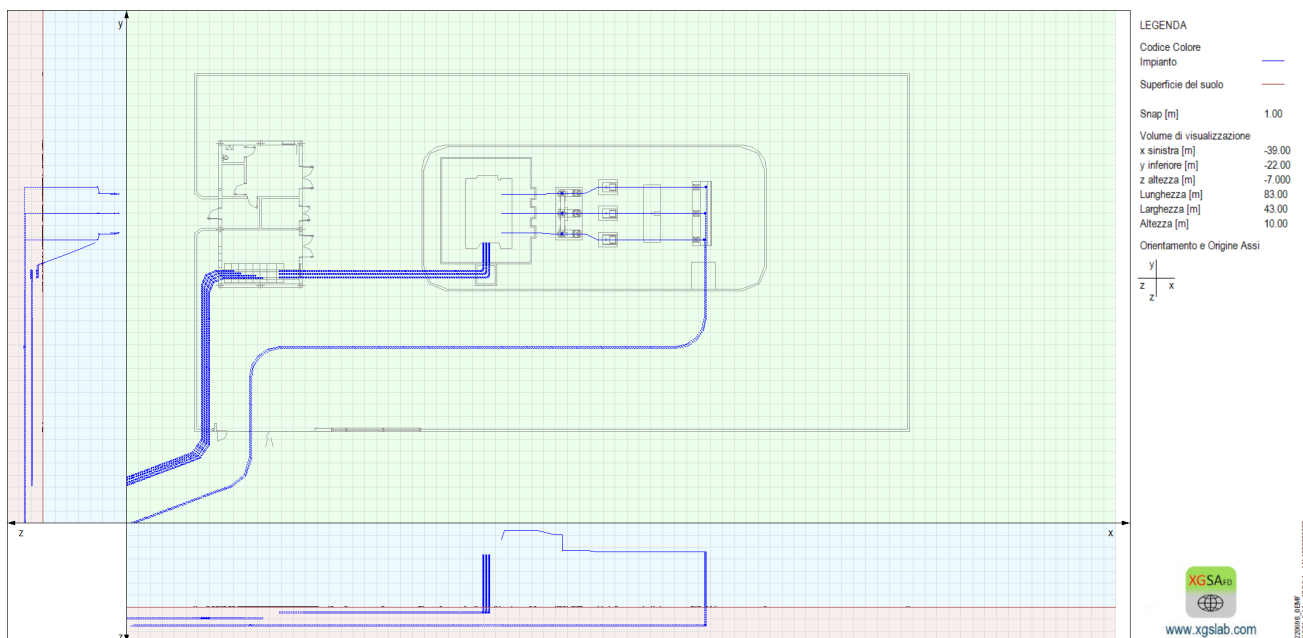
Per quanto riguarda l'area di sottostazione, si focalizza l'attenzione sulle seguenti aree:

- area delle apparecchiature AT, con arrivo in sbarra dalla sottostazione vicina, con particolare riferimento alla zona della recinzione, al di fuori della quale può esservi il transito di persone, per quanto con una permanenza che non supera le 4 ore indicate nella legislazione relativa alla valutazione dei campi magnetici (ovvero non si può ritenere un c.d. "sito sensibile" secondo la definizione della legge);
- collegamenti in MT tra trasformatori e sala quadri dell'edificio di SSE.
- linee MT in ingresso dai campi fotovoltaici

L'area di sottostazione considerata è quindi rappresentata nella seguente Figura, come estrapolata dal software utilizzato. Oltre al sistema in tensione, oggetto di calcolo, nella figura è rappresentata la recinzione della sottostazione, in modo da rendere chiara l'area oltre la recinzione stessa di interesse per considerazioni sui valori di campo magnetico e sui limiti per la popolazione.



**Figura 3 – Layout complessivo SSE Nuoro e collegamento AT interrato fino alla SSE E-Distribuzione – Evidenziazione dei collegamenti AT ed MT considerati per il calcolo**



**Figura 4 – Layout SSE Nuoro – Evidenziazione dei collegamenti AT ed MT considerati per il calcolo**

La distribuzione delle correnti assunta è quella indicata nel capitolo precedente. In tutti i casi la terna di corrente è stata considerata equilibrata e, conservativamente, tutte le correnti sono state considerate in fase.

Lo scenario risultante rappresenta pertanto la condizione alla quale verosimilmente corrisponde il massimo valore del campo magnetico in corrispondenza di possibili siti sensibili.

La distribuzione delle correnti inserita nel software di simulazione XGSA\_FD è rappresentata in modo grafico nella seguente Figura:

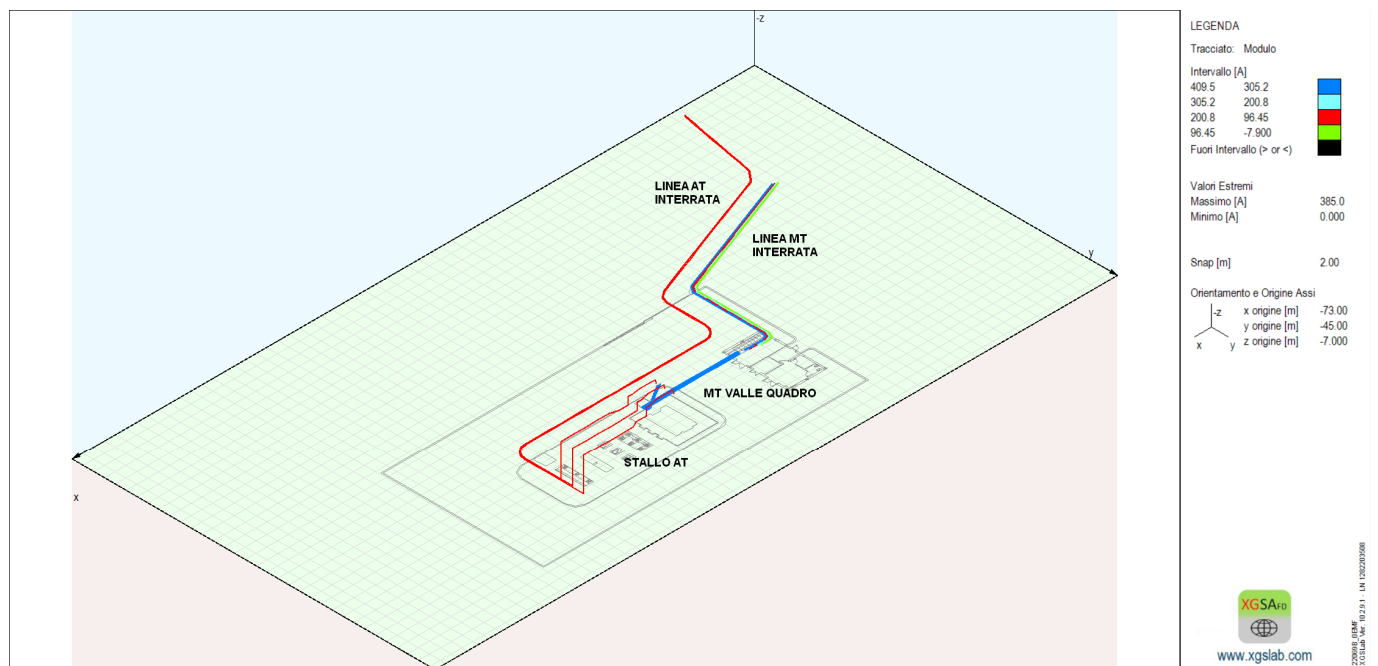


Figura 5 – Distribuzione del modulo delle correnti longitudinali sui conduttori sorgenti del campo magnetico (3D)

## 9.2. OUTPUT

Di seguito sono riportati i principali risultati dei calcoli di campo magnetico effettuati.

Le distribuzioni di induzione magnetica sono state calcolate secondo superfici orizzontali e verticali.

Le superfici di calcolo orizzontali sono poste ad una quota + 1.5 m rispetto al piano di riferimento per il recettore. Per completezza, si presentano tuttavia valutati anche i risultati della distribuzione dei campi al suolo.

Le superfici di calcolo verticali sono riferite alle sezioni più significative.

Vengono qui presentate le figure con la distribuzione del campo rappresentata

- sui piani di calcolo sopra elencati (rappresentazione 2D di un calcolo comunque condotto nello spazio), riportando le linee isoinduzione ai livelli di maggiore interesse, in particolare il limite dei 3  $\mu\text{T}$  che è sempre rappresentato con colore blu;
- sulle stesse superfici, ma con una rappresentazione per range di valori bidimensionale e di seguito spaziale 3D.

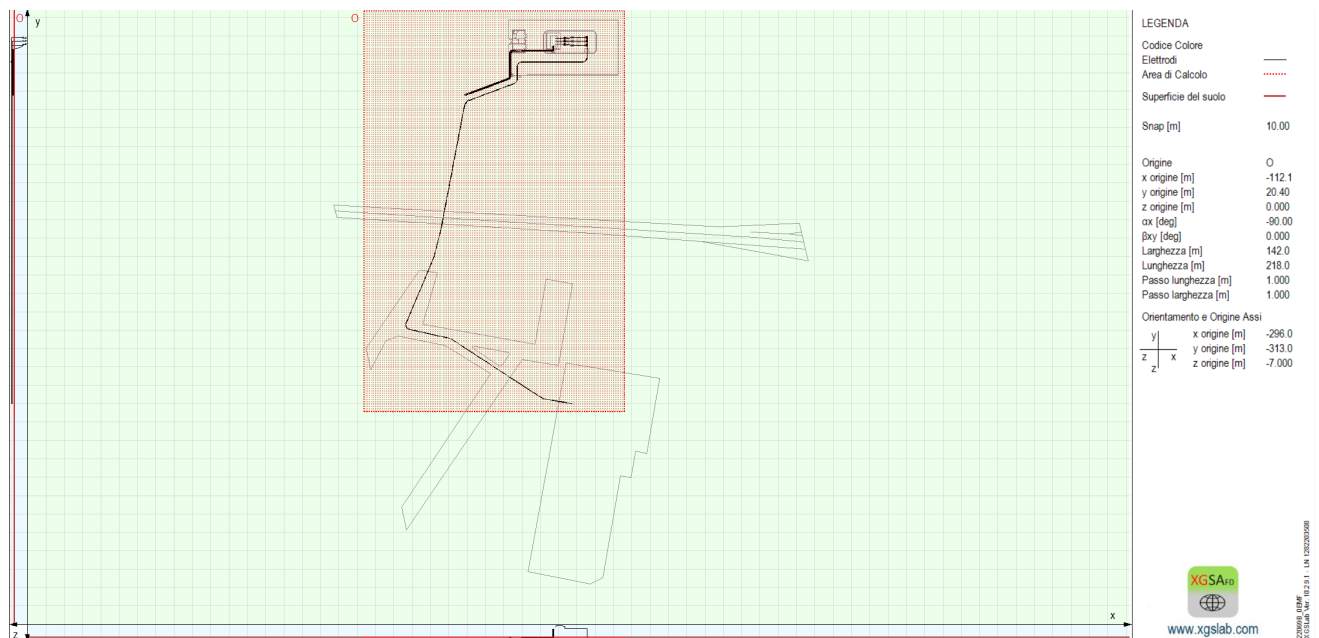
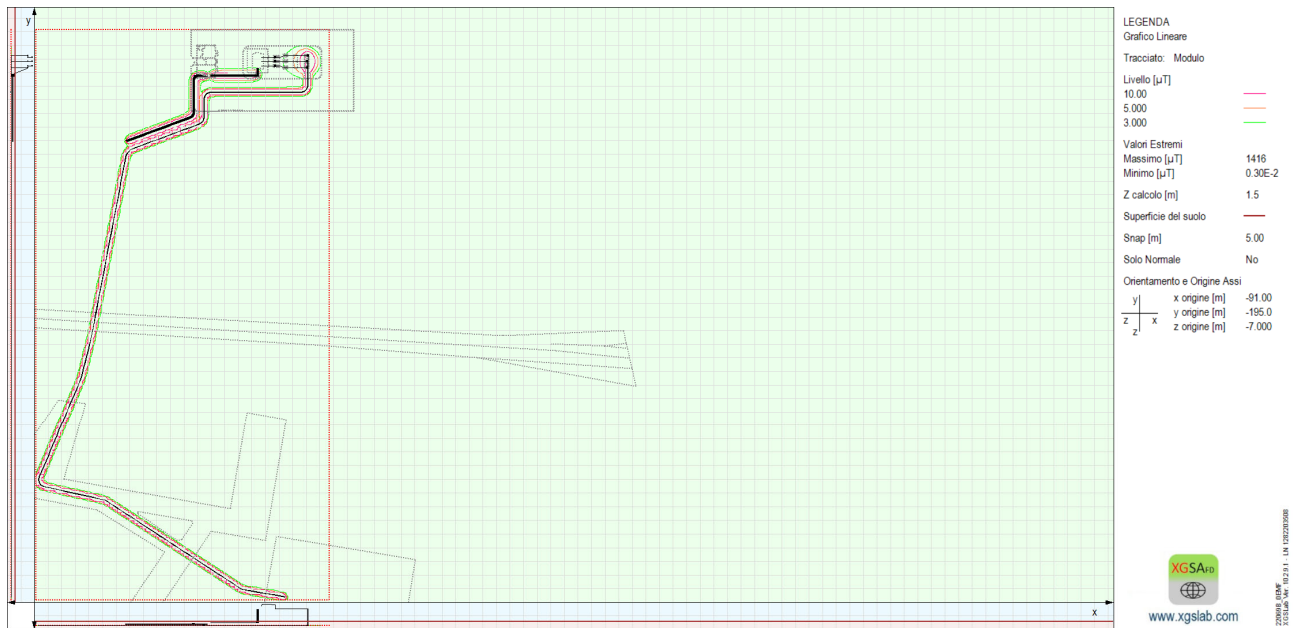
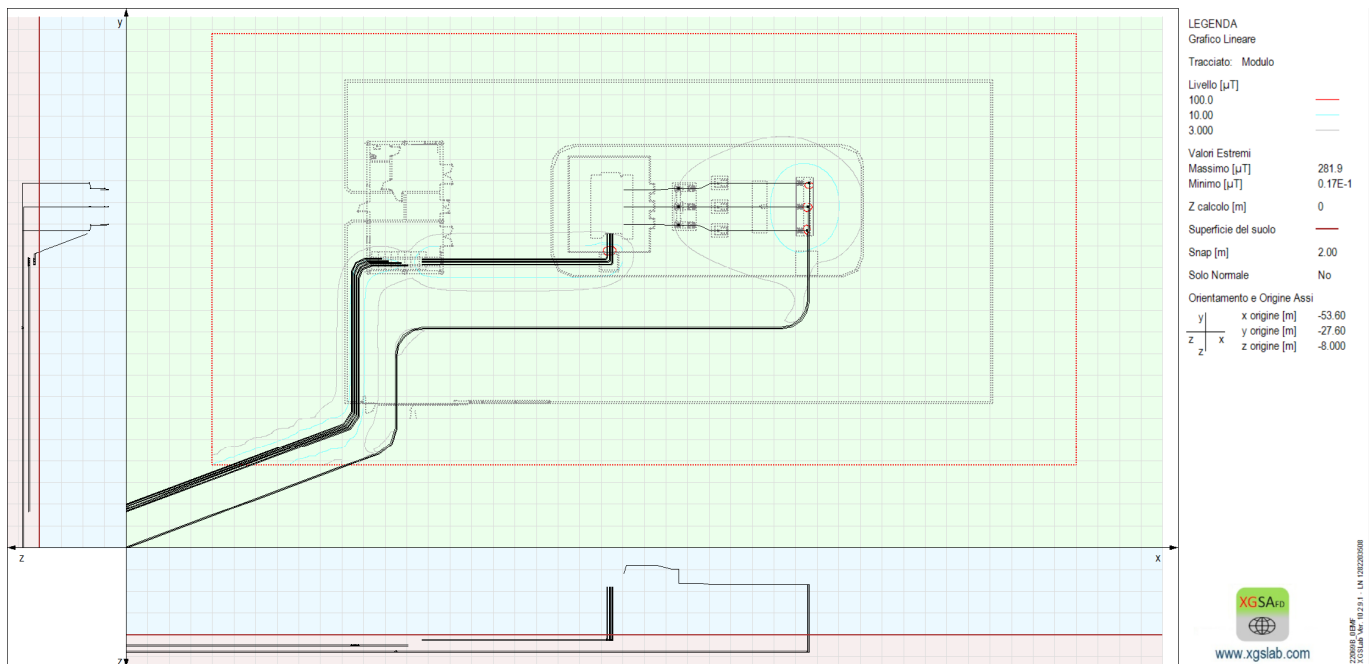
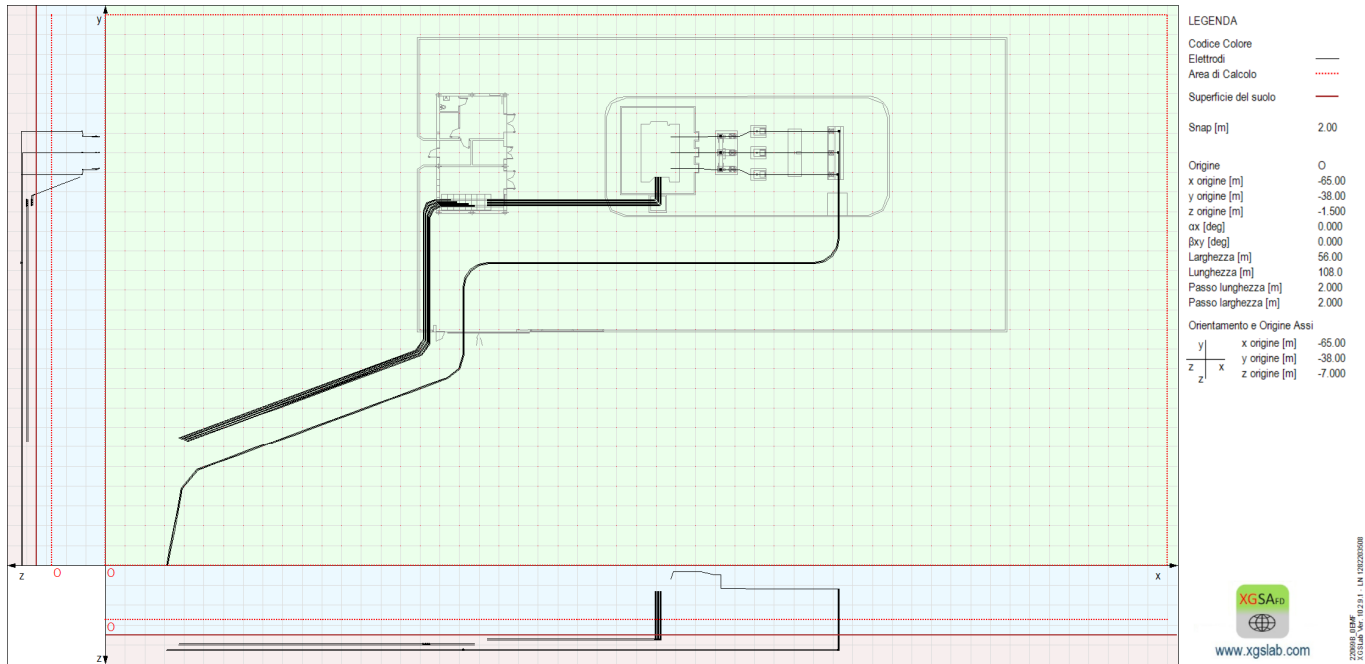
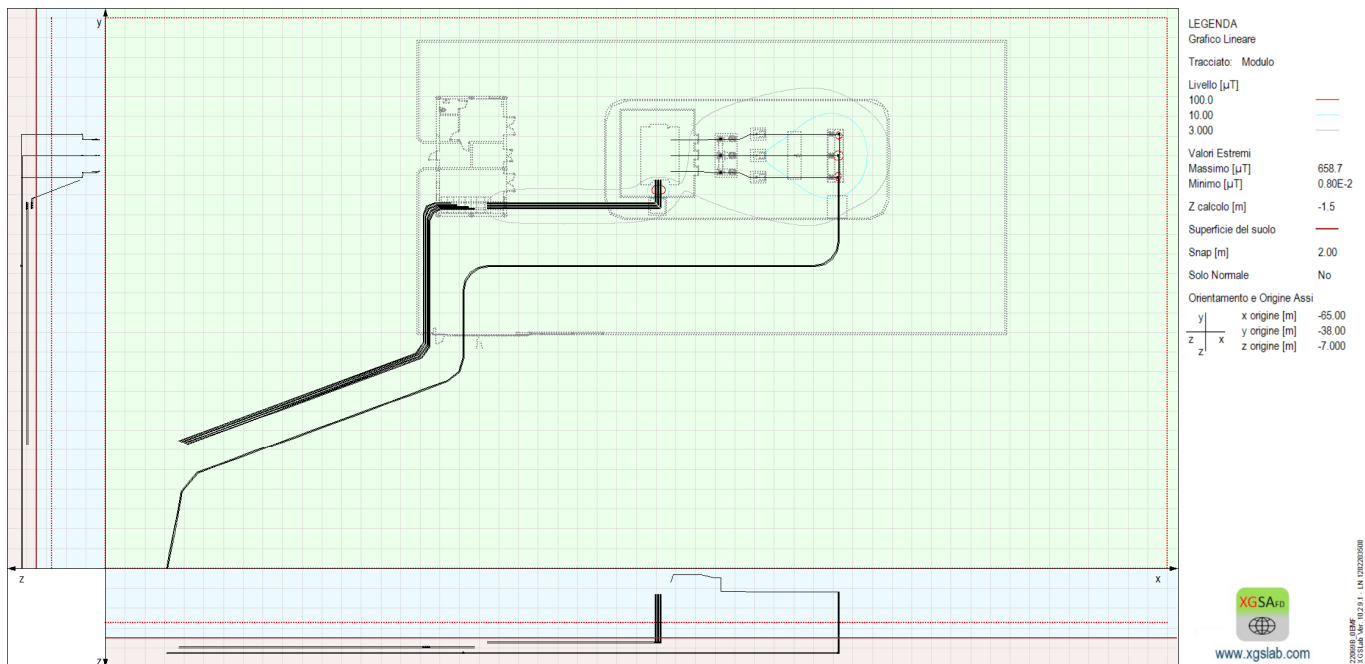


Figura 6 – Superficie di calcolo del campo magnetico al suolo (h = 0 m)


 Figura 7 – Distribuzione del campo magnetico al suolo ( $h = 0$  m) per l'intero percorso

 Figura 8 – Distribuzione del campo magnetico al suolo ( $h = 0$  m) per la SSE Nuoro.


 Figura 9 – Superficie di calcolo del campo magnetico ad  $h = 1.5$  m

 Figura 10 – Distribuzione del campo magnetico ad  $h = 1.5$  m

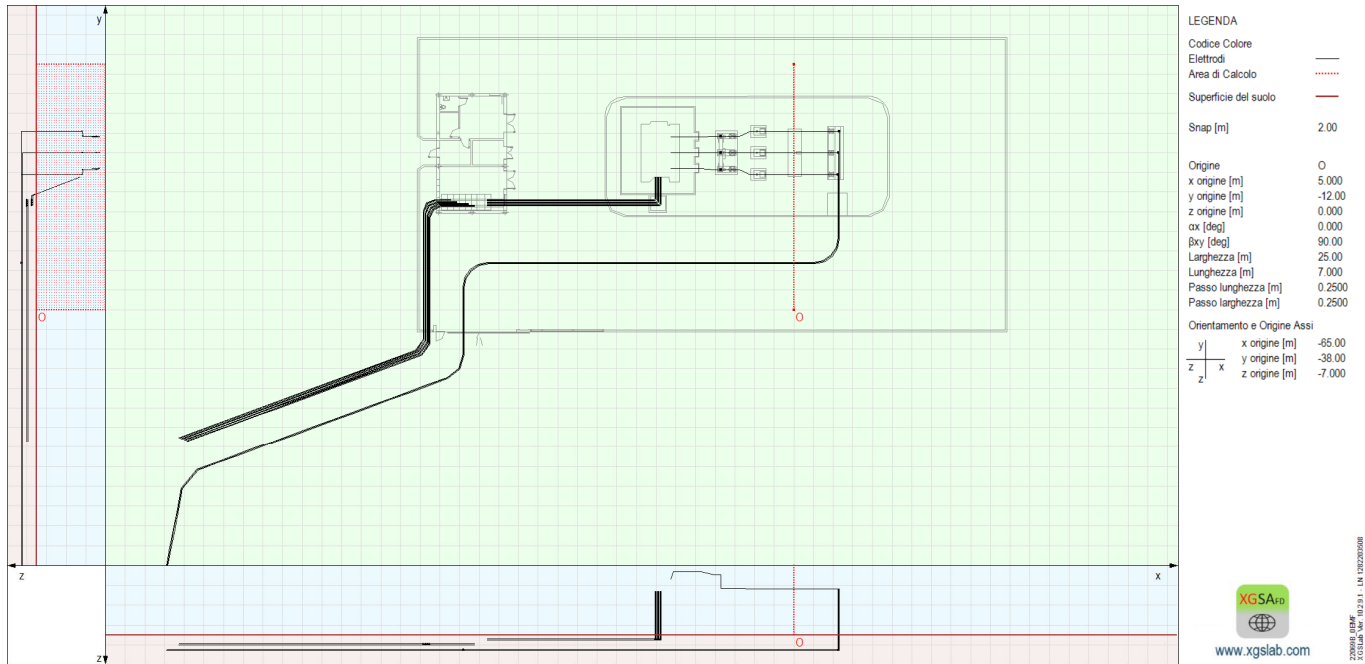


Figura 11 – Sezione di calcolo del campo magnetico – Stallo AT in ingresso

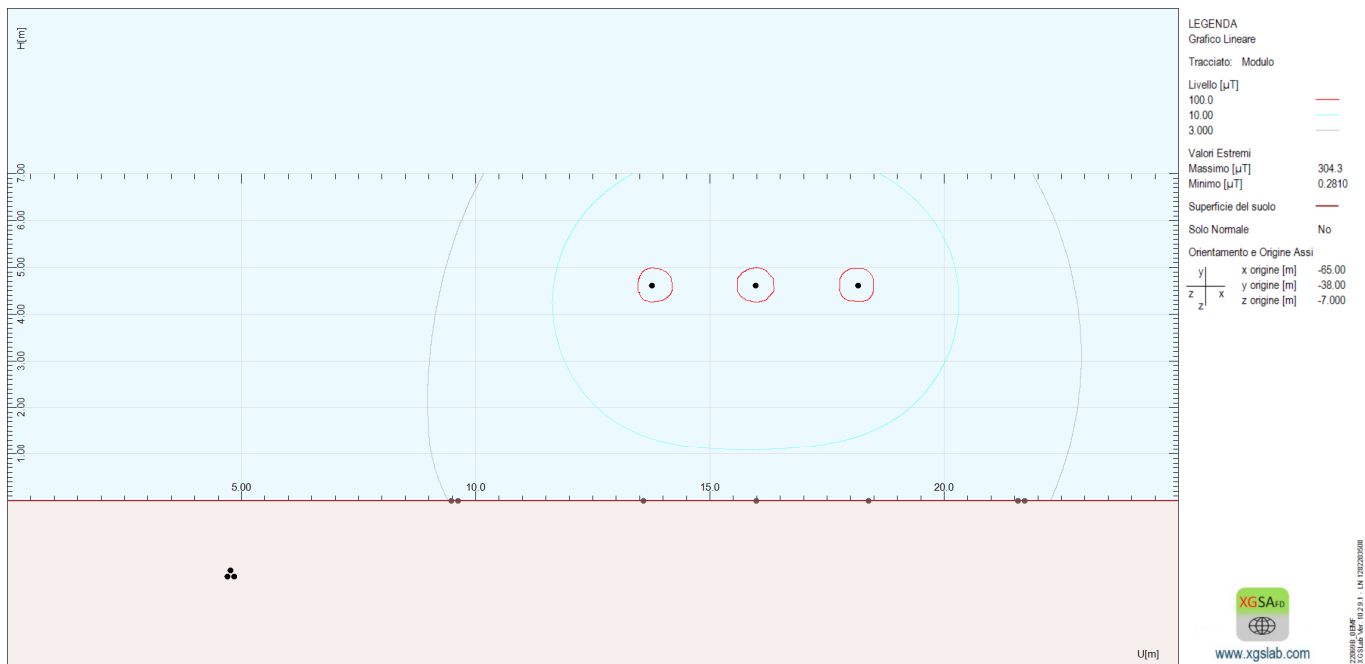


Figura 12 – Distribuzione del campo magnetico nella sezione considerata – Stallo AT in ingresso



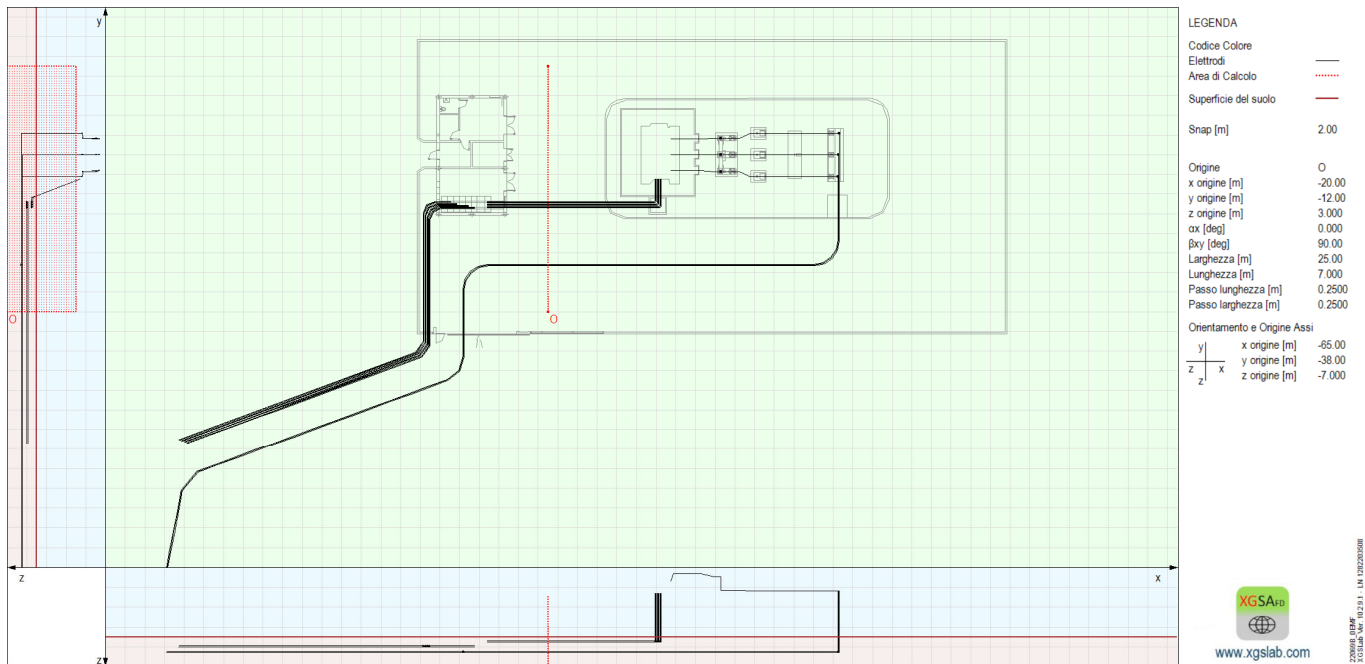


Figura 13 – Sezione di calcolo del campo magnetico – Linee MT in cavo di collegamento trasformatore – quadro MT

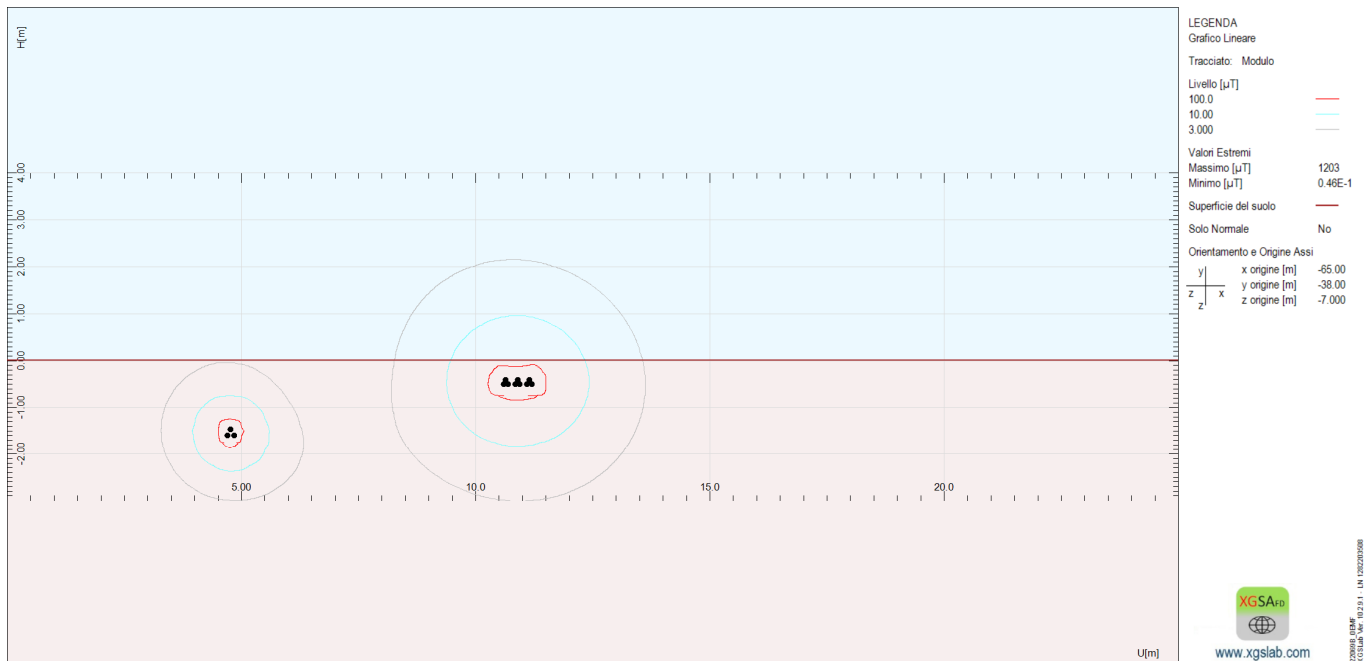


Figura 14 – Distribuzione del campo magnetico nella sezione considerata - Linee MT in cavo di collegamento trasformatore – quadro MT

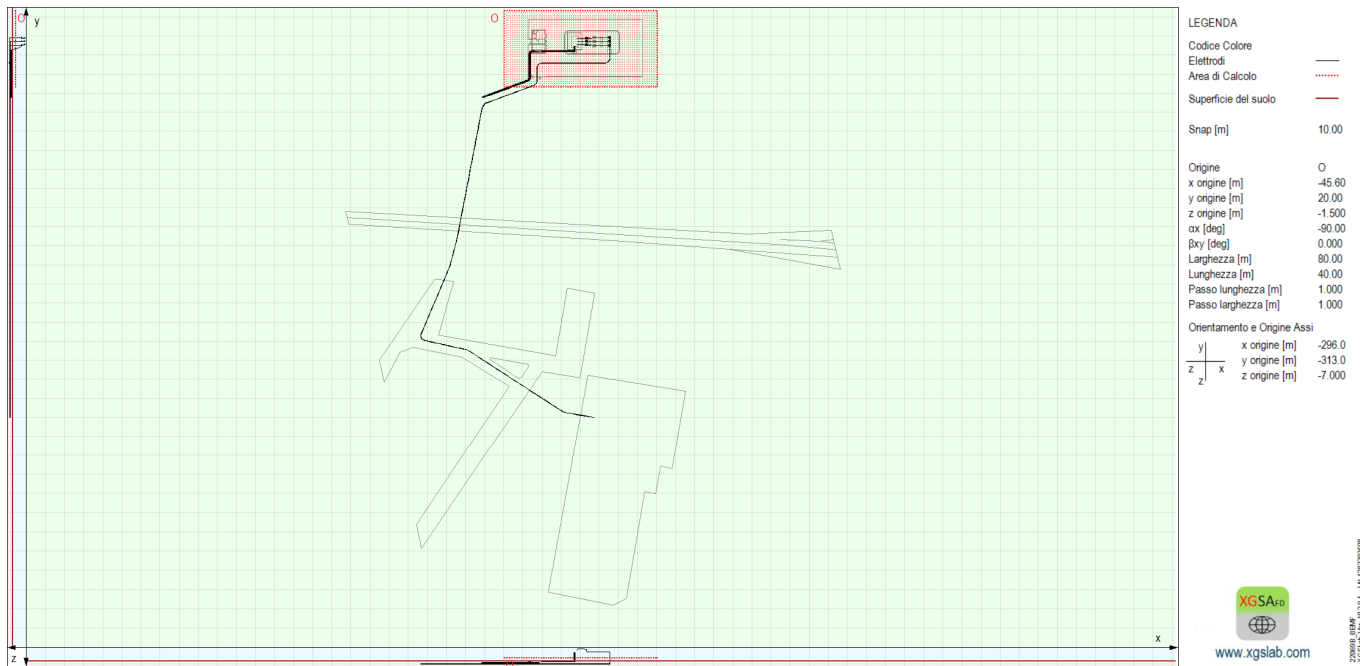


Figura 15 – Superficie di calcolo del campo magnetico ad 1.5 m dal suolo

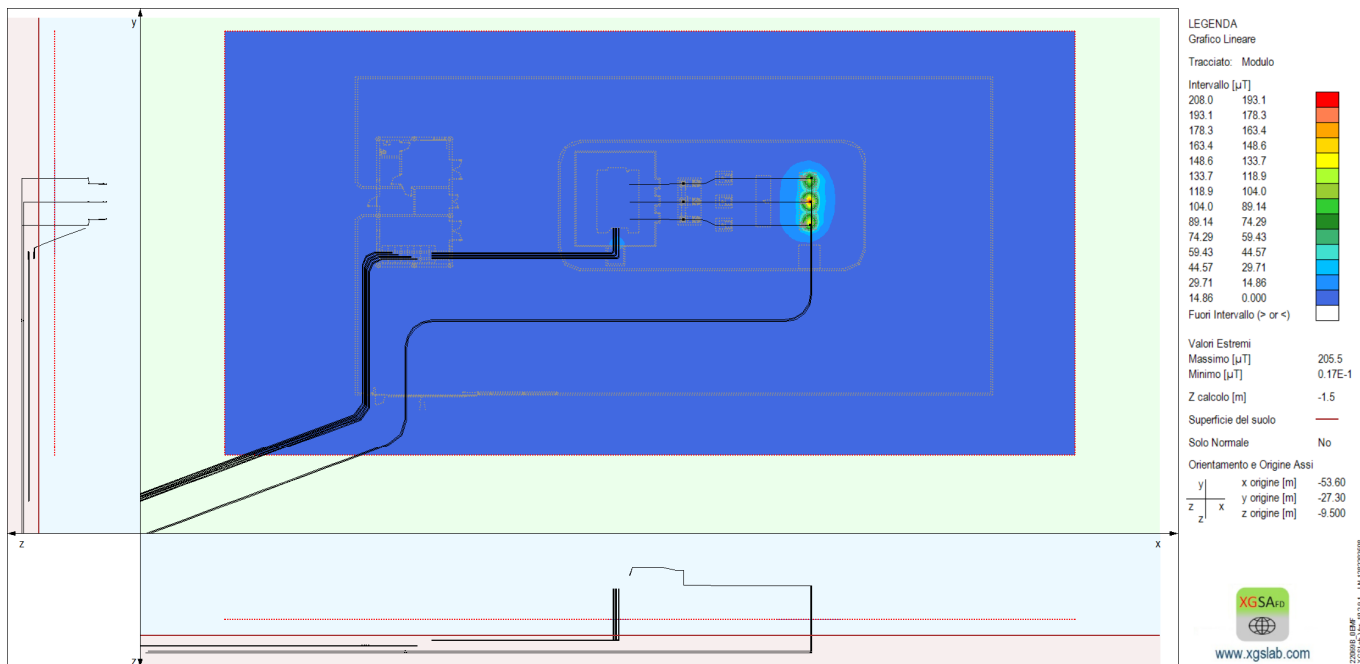


Figura 16 – Distribuzione del campo magnetico ad 1.5 m dal suolo nel range 0 – 30 μT (2D)

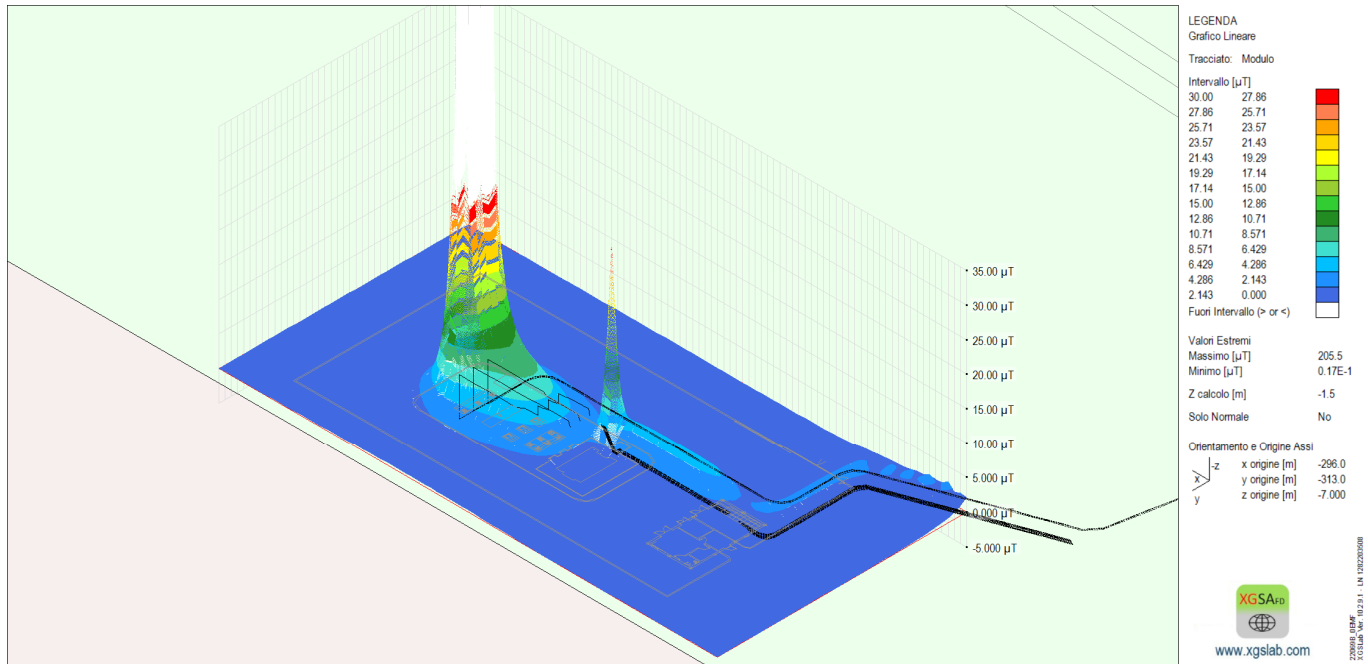


Figura 17 – Distribuzione del campo magnetico ad 1.5 m dal suolo nel range 0 – 30 µT (3D) – Dettaglio

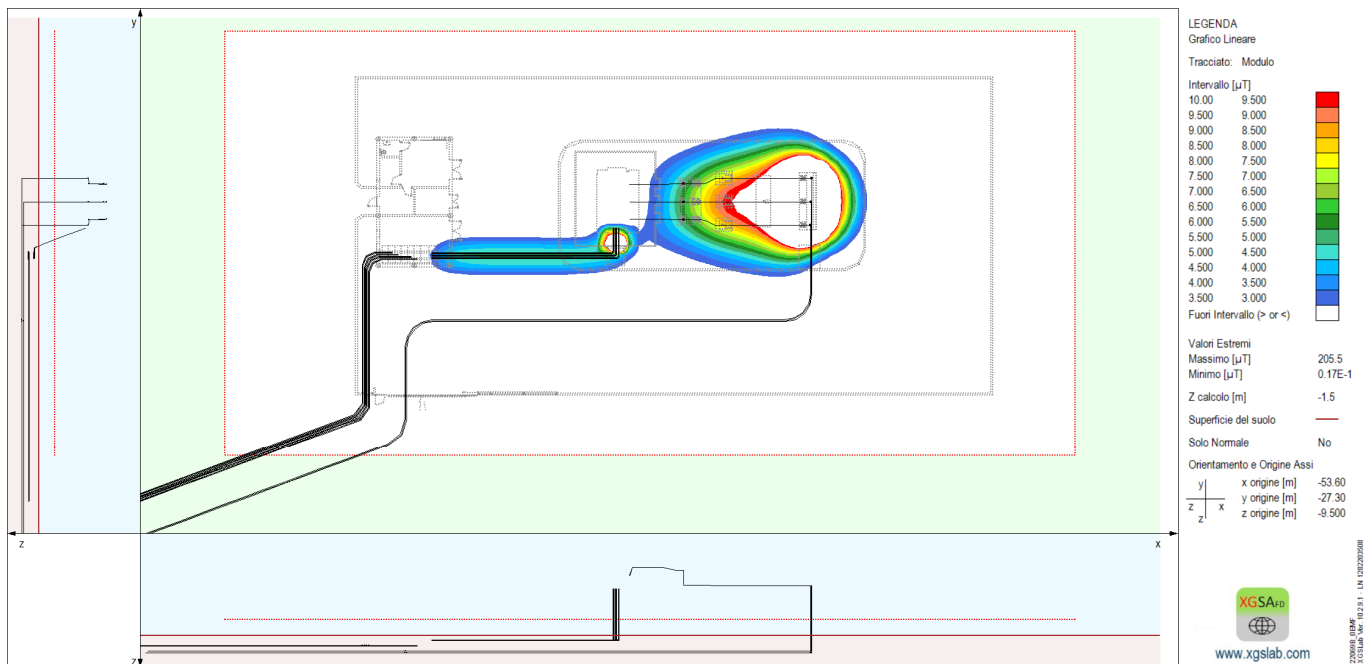
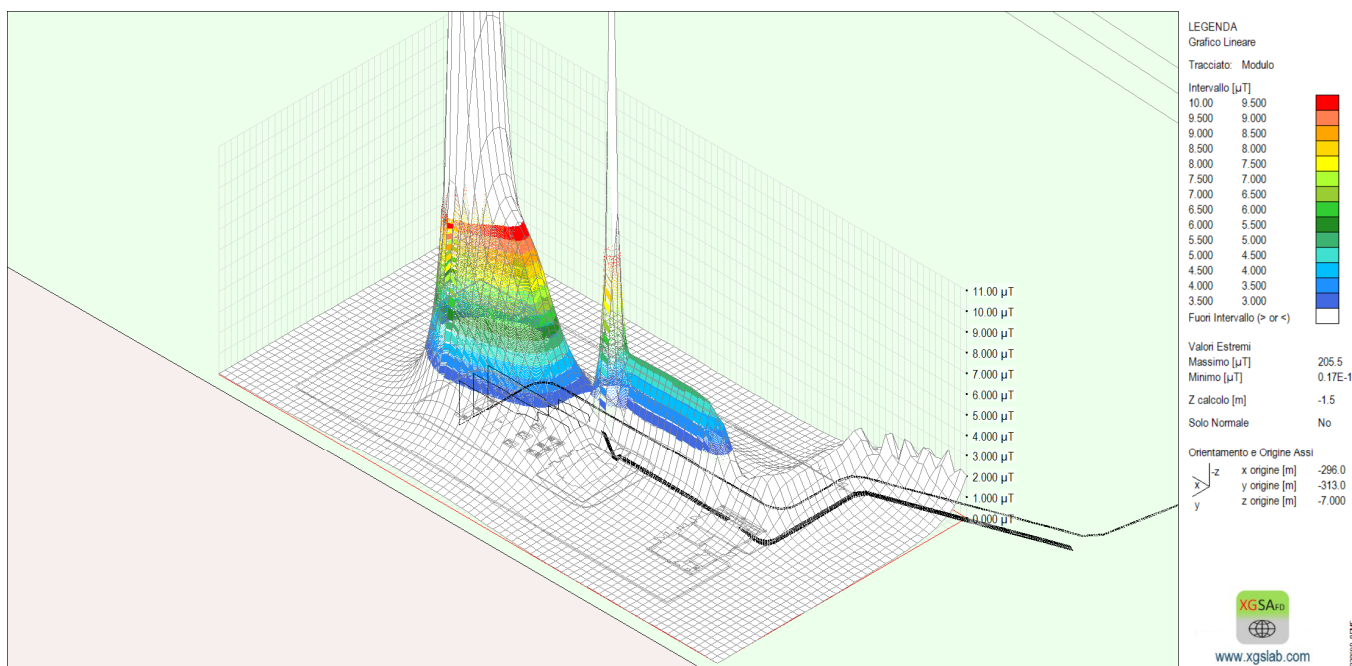


Figura 18 – Distribuzione del campo magnetico ad 1.5 m dal suolo nel range 3 – 10 µT (2D)



**Figura 19 – Distribuzione del campo magnetico ad 1.5 m dal suolo nel range 3 – 10 µT (3D) - Dettaglio**

La Figura 20 rappresenta invece le aree con riferimento ai limiti indicati nel DPCM 8 luglio 2003.

I colori della figura hanno il seguente significato:

- Colore verde:  $B < 3 \mu\text{T}$
- Colore giallo:  $3 \mu\text{T} < B < 10 \mu\text{T}$
- Colore rosso:  $B > 10 \mu\text{T}$

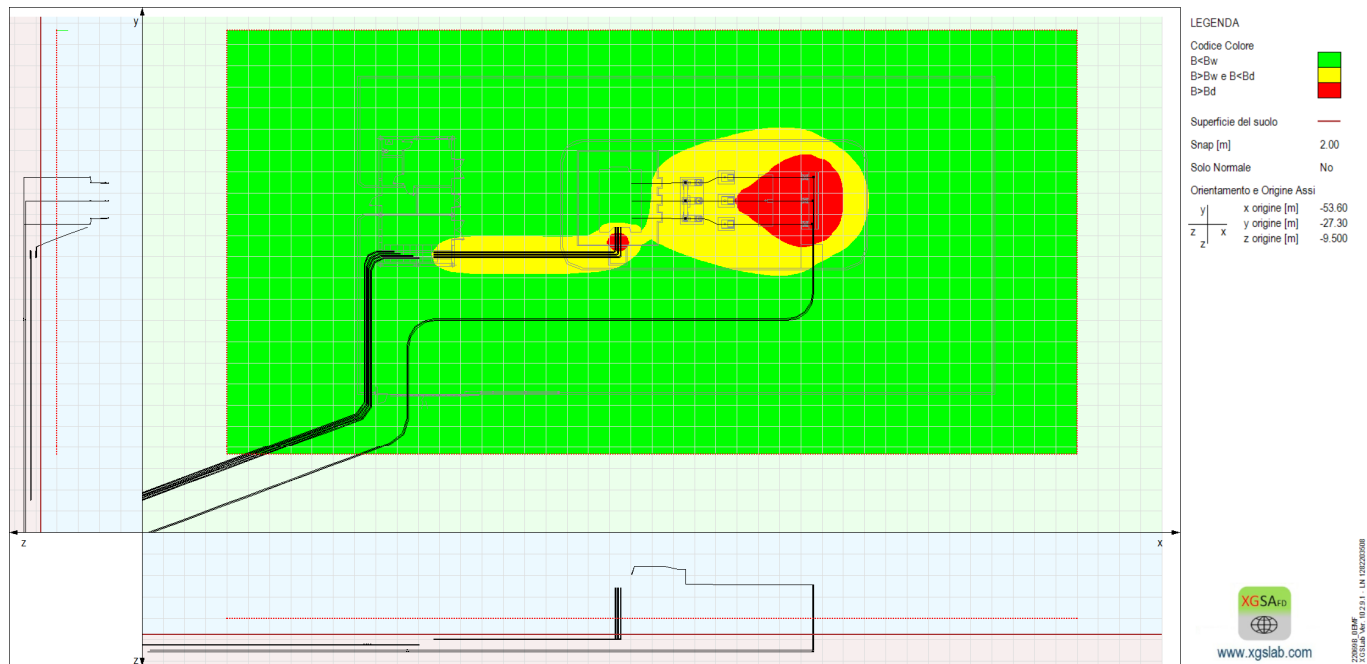


Figura 20 - Aree con riferimento ai limiti di induzione magnetica del DPCM 8 luglio 2003 ad 1.5 m dal suolo

### 9.3. COMMENTI AI RISULTATI

Per quanto presentato in 9.2, si nota che, con riferimento alla zona di interesse all'interno della sottostazione:

- livelli di induzione magnetica superiori ai  $3 \mu\text{T}$  si verificano nell'immediata adiacenza delle parti in tensione, fino a distanze da questi pari a circa 5 m dall'asse della barratura AT;
- i valori più elevati di induzione magnetica all'interno della cabina primaria non superano i limiti posti dal DLgs 159/2016.

Con riferimento poi alle aree immediatamente esterne alla sottostazione:

- l'induzione magnetica supera i  $3 \mu\text{T}$  solo in minima parte verso la sottostazione comune ai produttori.

Si verifica pertanto una condizione di tutela sia della popolazione nelle aree esterne (DPCM 08/07/2003), sia dei lavoratori in aree interne (DLgs 159/2016).

## 10. CAMPO ELETTRICO

### 10.1. INPUT

I dati di ingresso per il calcolo del campo elettrico riguardano sostanzialmente la geometria delle sorgenti (conduttori percorsi da corrente) ed i valori delle tensioni verso terra (stellate) (in modulo e fase).

Le aree considerate nel calcolo sono quelle descritte al §9.1 e rappresentate in Figura 3 e Figura 4.

Tutte le sbarre ed i conduttori AT sono stati considerati a 132 kV, mentre per le linee in cavo MT si è fissata la tensione di 30 kV (tensione concatenata). In tutti i casi la terna di tensioni di fase equivalenti è stata considerata equilibrata.

Le linee in cavo si sarebbero potute rappresentare a tensione nulla, per evidenziare il fatto che, trattandosi di cavi schermati, non contribuiscono alla distribuzione di un campo elettrico esterno ai cavi stessi. Tuttavia, data la brevità del tratto e per semplicità, si sono assunte le tensioni sopra considerate.

La distribuzione delle tensioni inserita nel software di simulazione XGSA\_FD è rappresentata in modo grafico nella seguente Figura:

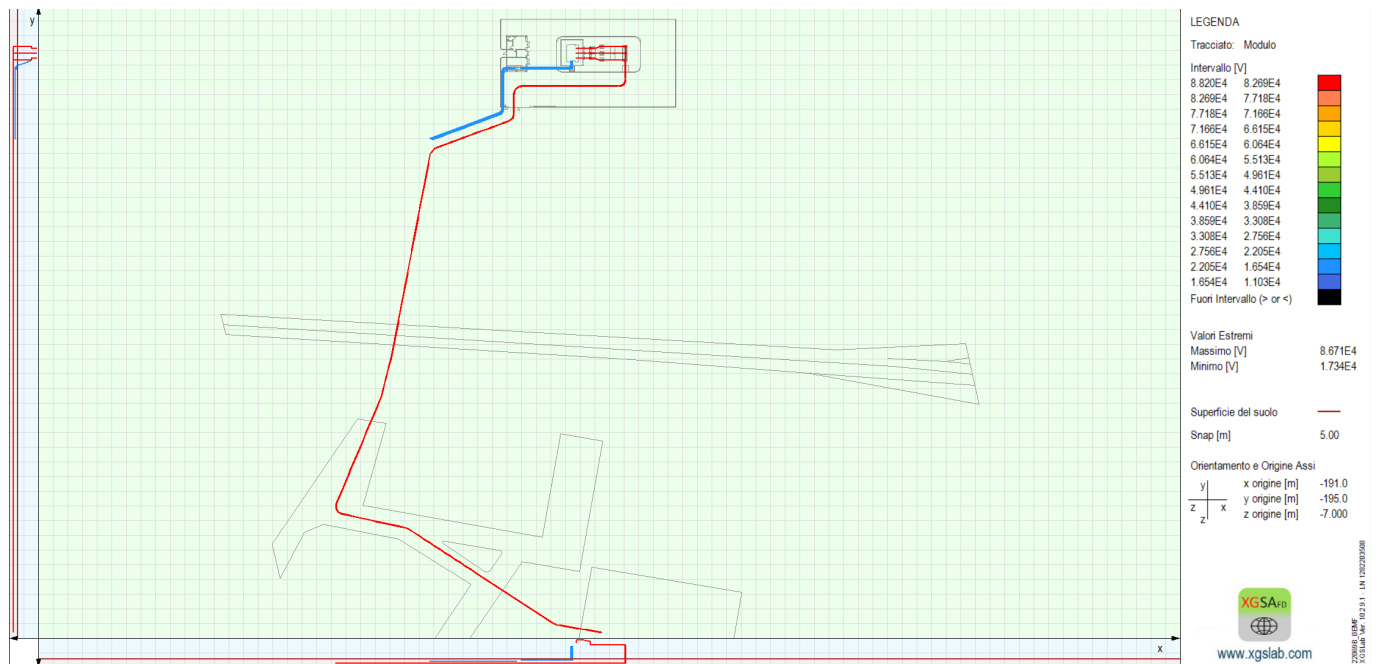


Figura 21 – Distribuzione del modulo delle tensioni verso terra sui conduttori sorgenti del campo elettrico (2D)

## 10.2. OUTPUT

Di seguito sono riportati i principali risultati dei calcoli effettuati.

Le distribuzioni di campo elettrico sono state calcolate secondo superfici orizzontali e verticali.

Le superfici di calcolo orizzontali sono ad una quota + 1.5 m rispetto al piano di riferimento per il recettore. Per completezza, si presentano tuttavia anche i risultati della distribuzione dei campi valutata al suolo.

Le superfici di calcolo verticali sono riferite alle sezioni più significative.

Le figure di seguito sono allegate con il medesimo ordine e criterio adottato nel § 9.2.

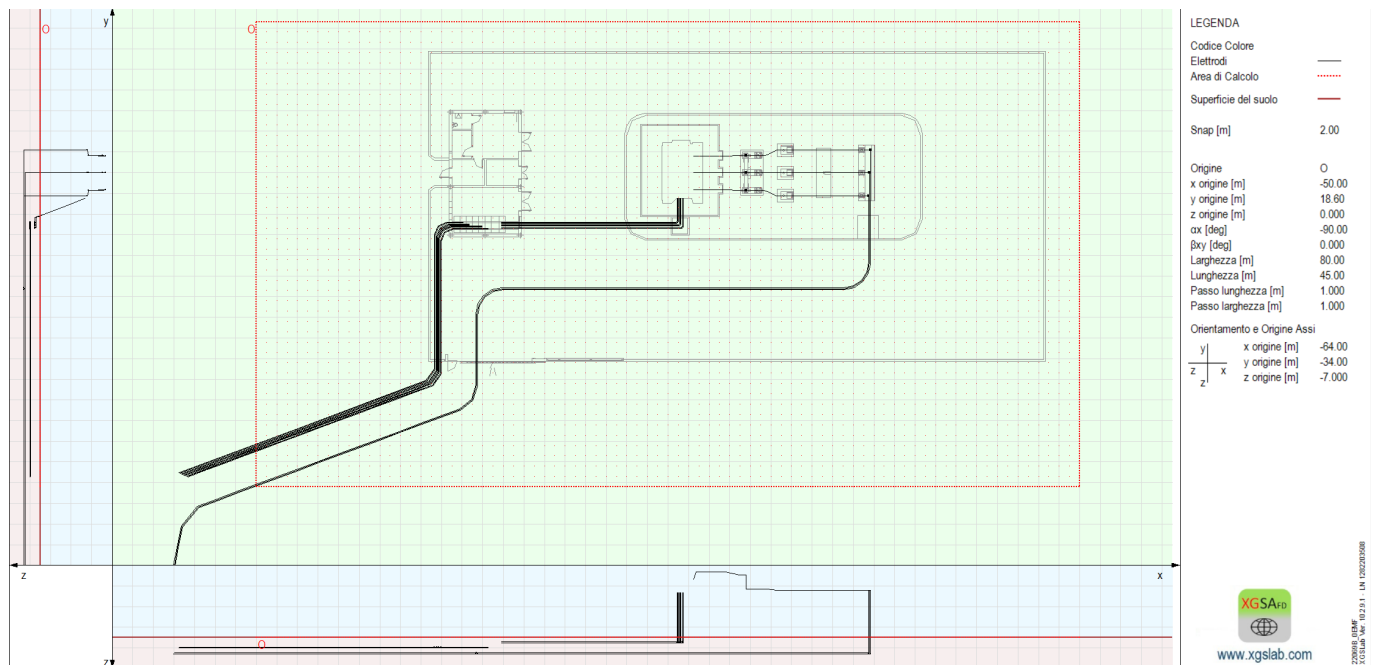
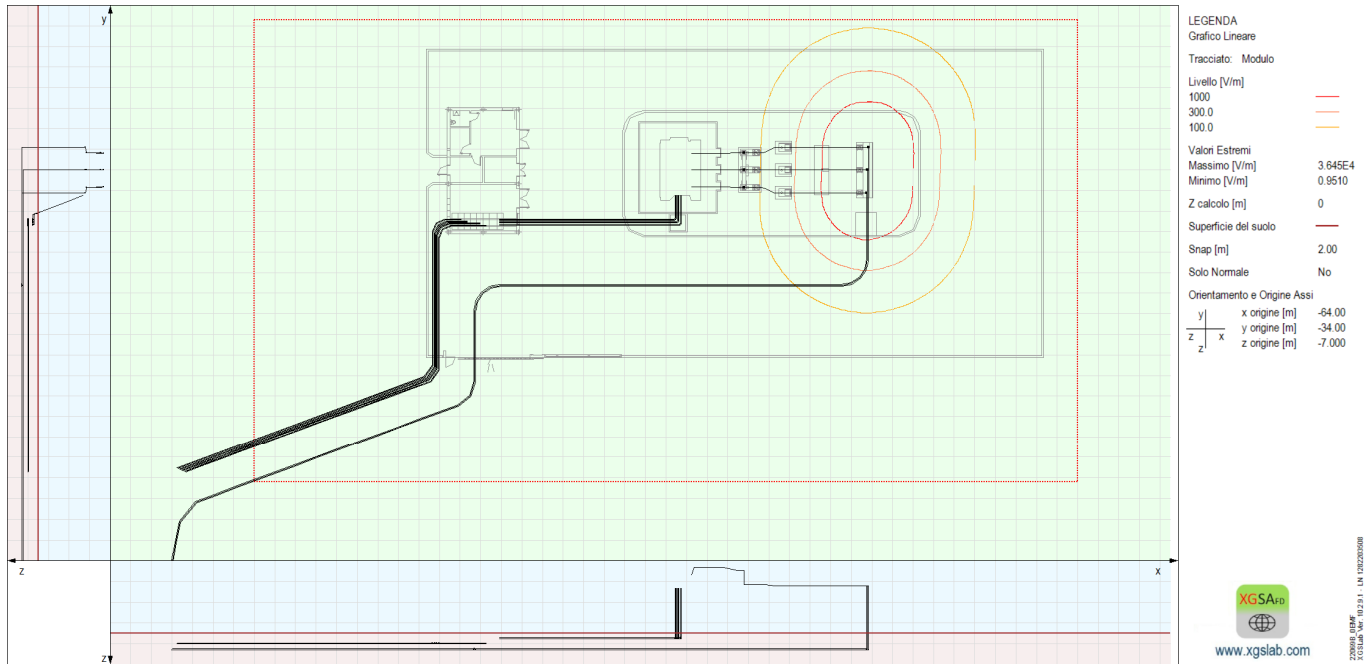
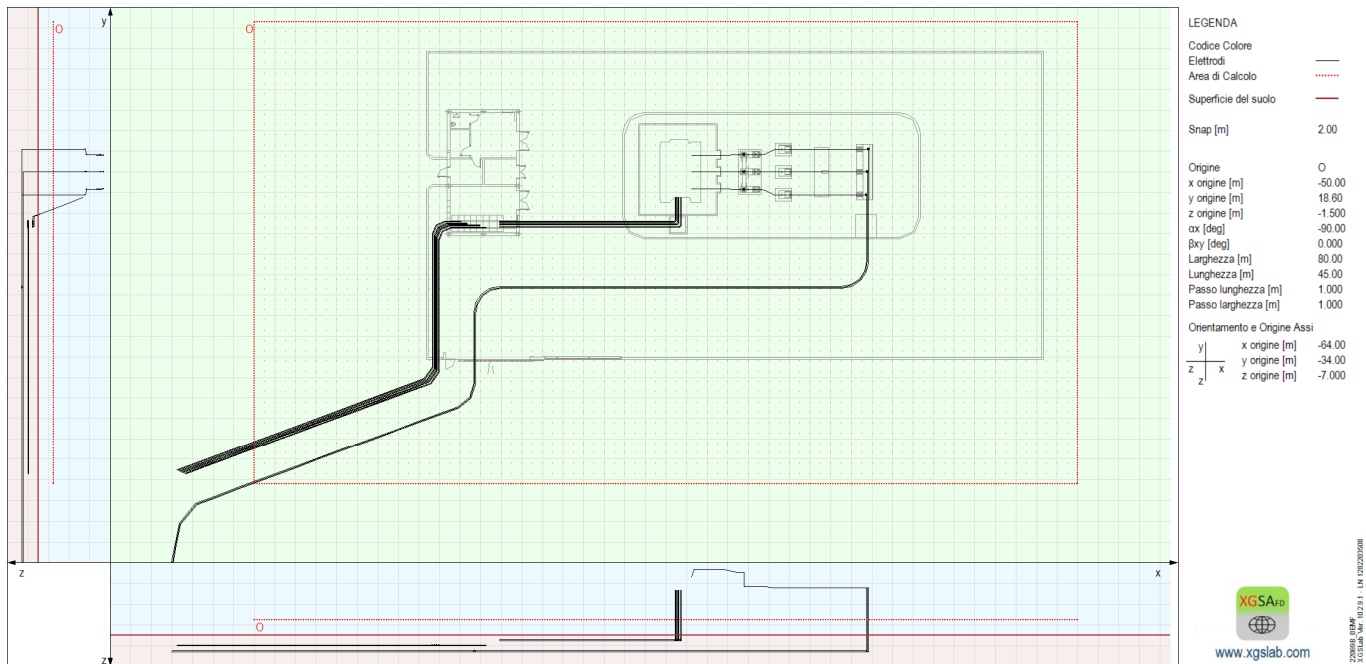


Figura 22 – Superficie di calcolo del campo elettrico al suolo (h = 0 m)


**Figura 23 – Distribuzione del campo elettrico al suolo (h = 0 m)**

**Figura 24 – Superficie di calcolo del campo elettrico ad h = 1.5 m**



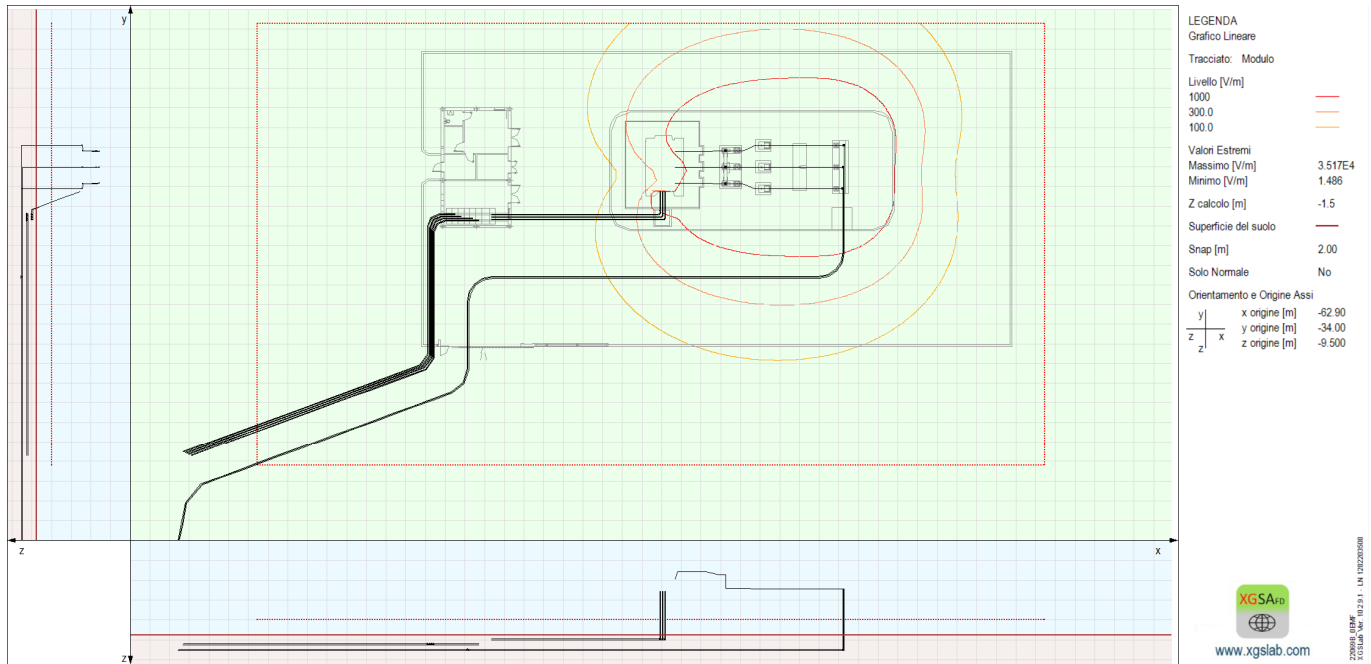


Figura 25 – Distribuzione del campo elettrico ad h = 1.5 m

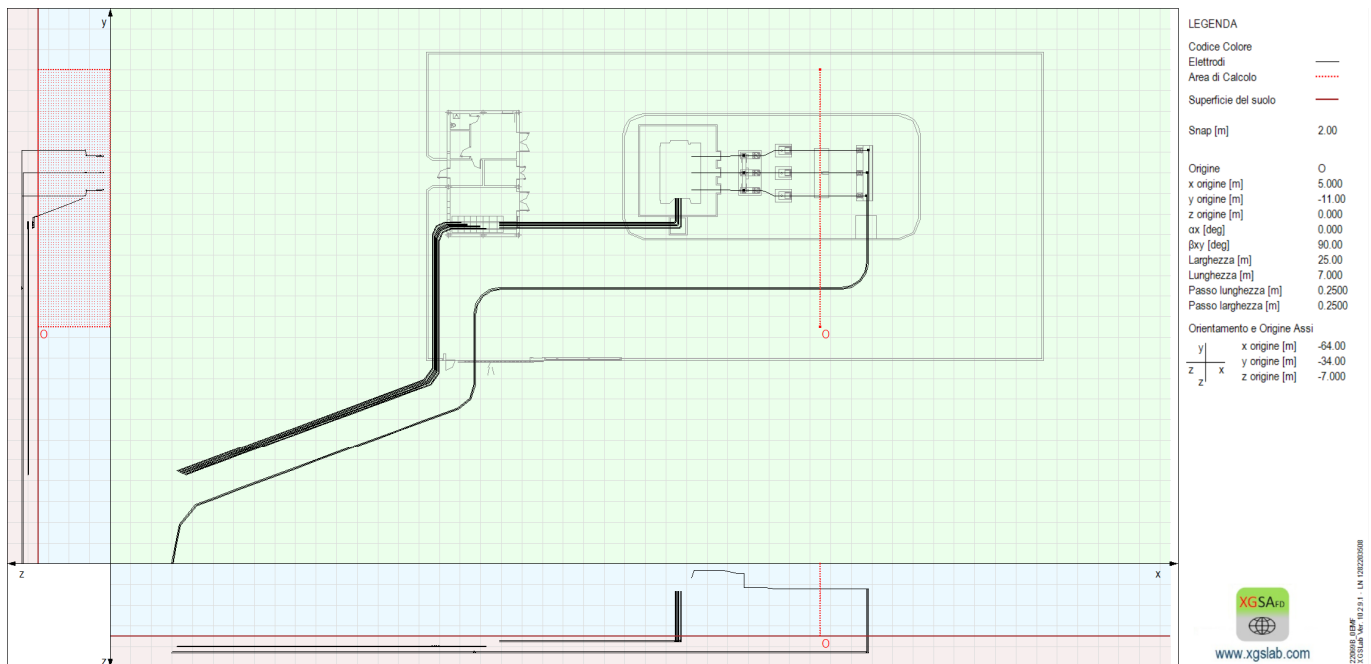


Figura 26 – Sezione di calcolo del campo elettrico – Stallo AT in ingresso

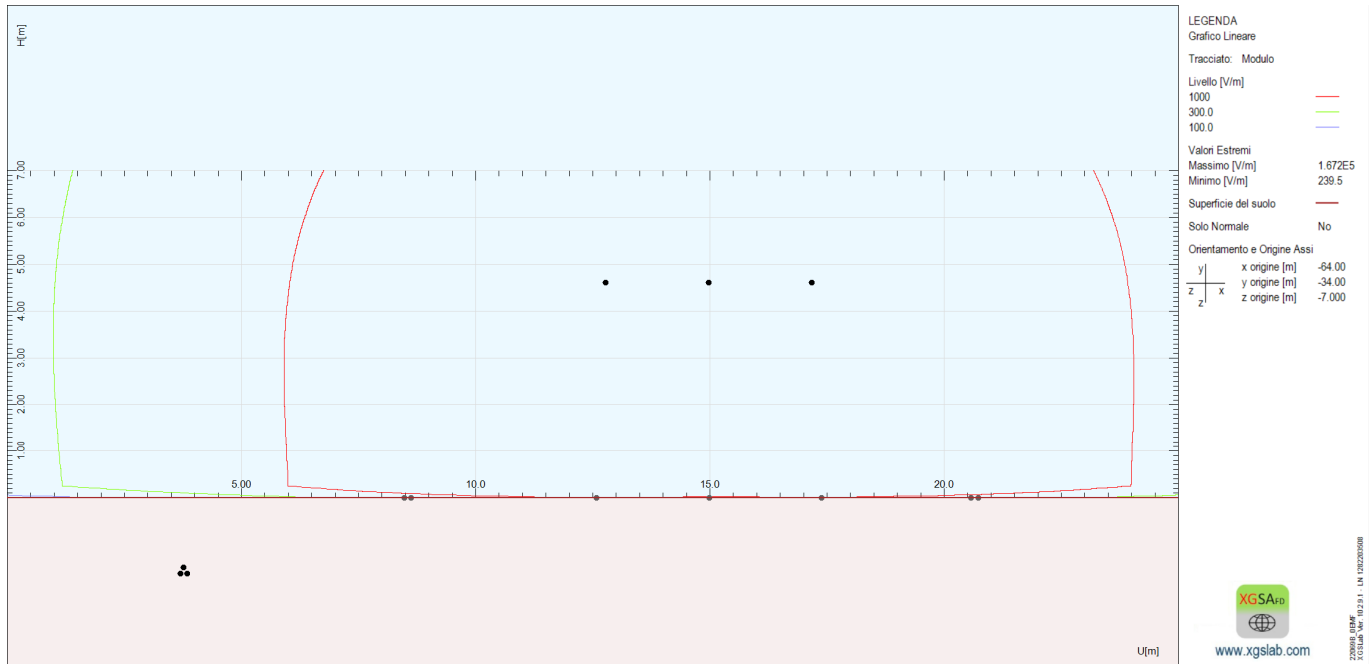


Figura 27 – Distribuzione del campo elettrico nella sezione considerata – Stallo AT in ingresso

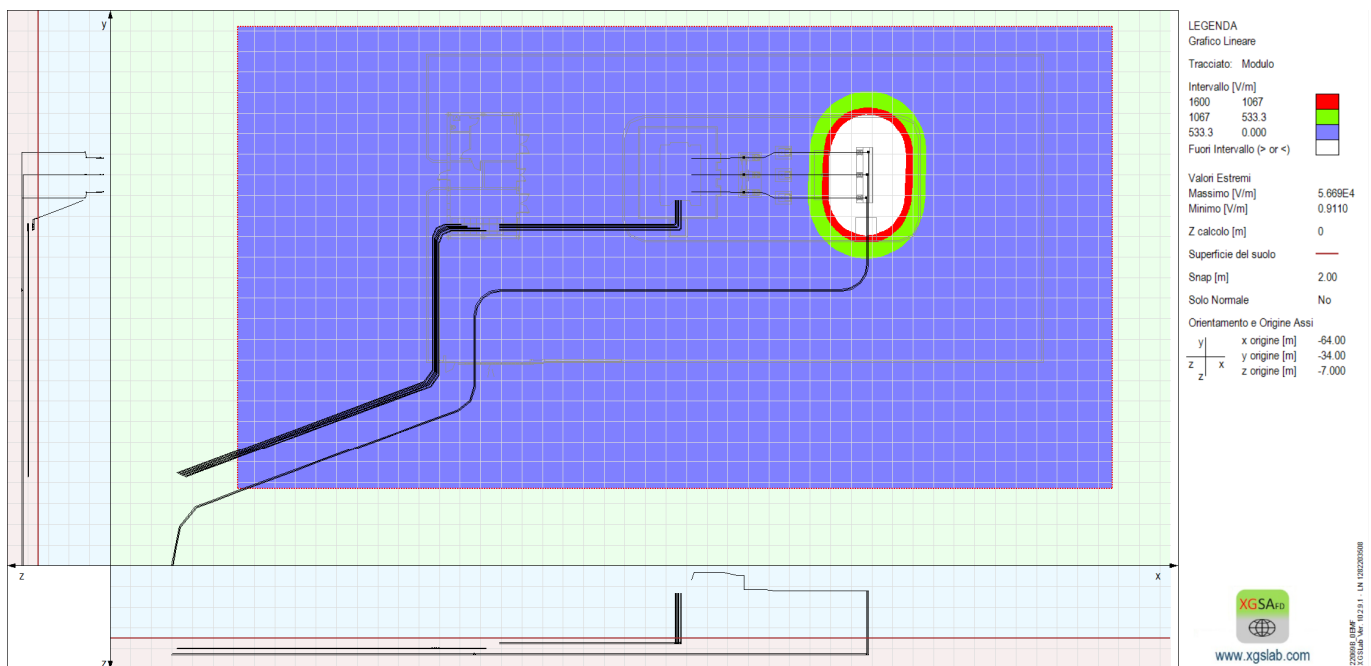


Figura 28 – Distribuzione del campo elettrico al suolo nel range 0 – 1.6 kV/m (2D)

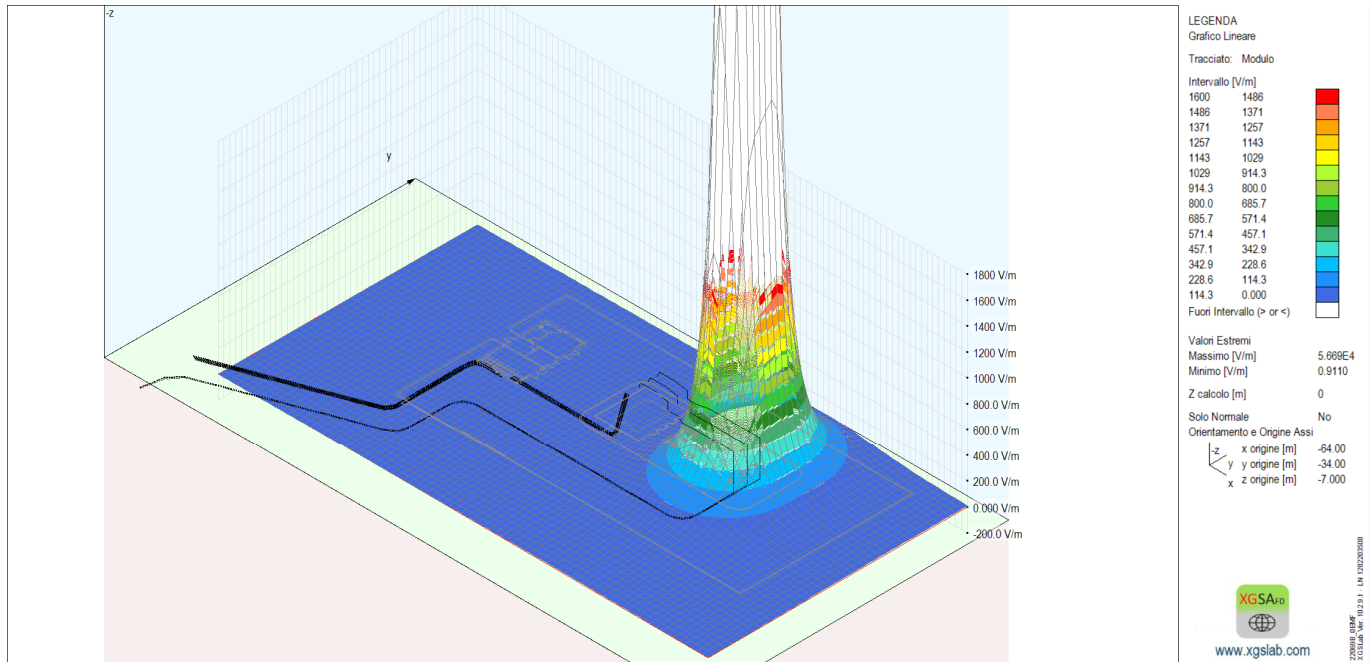


Figura 29 – Distribuzione del campo elettrico al suolo nel range 0 – 1.6 kV/m (3D)

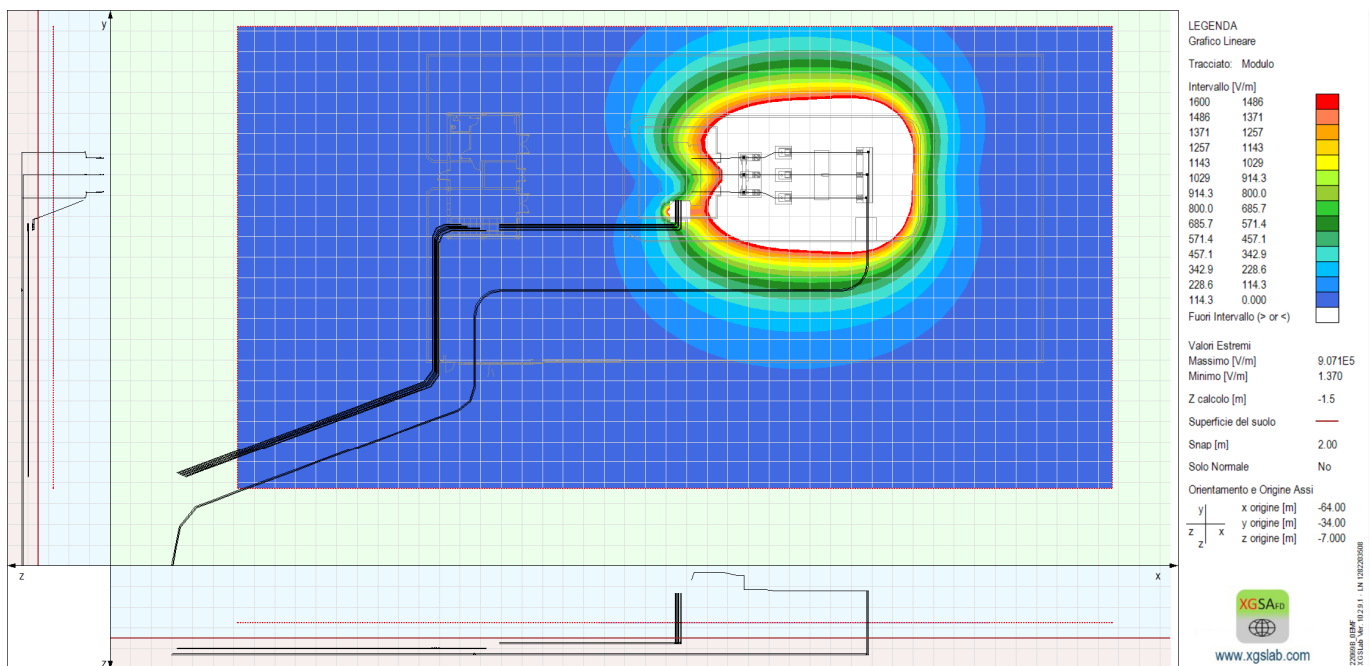


Figura 30 – Distribuzione del campo elettrico ad h = 1.5 m nel range 0 – 1.6 kV/m (2D)

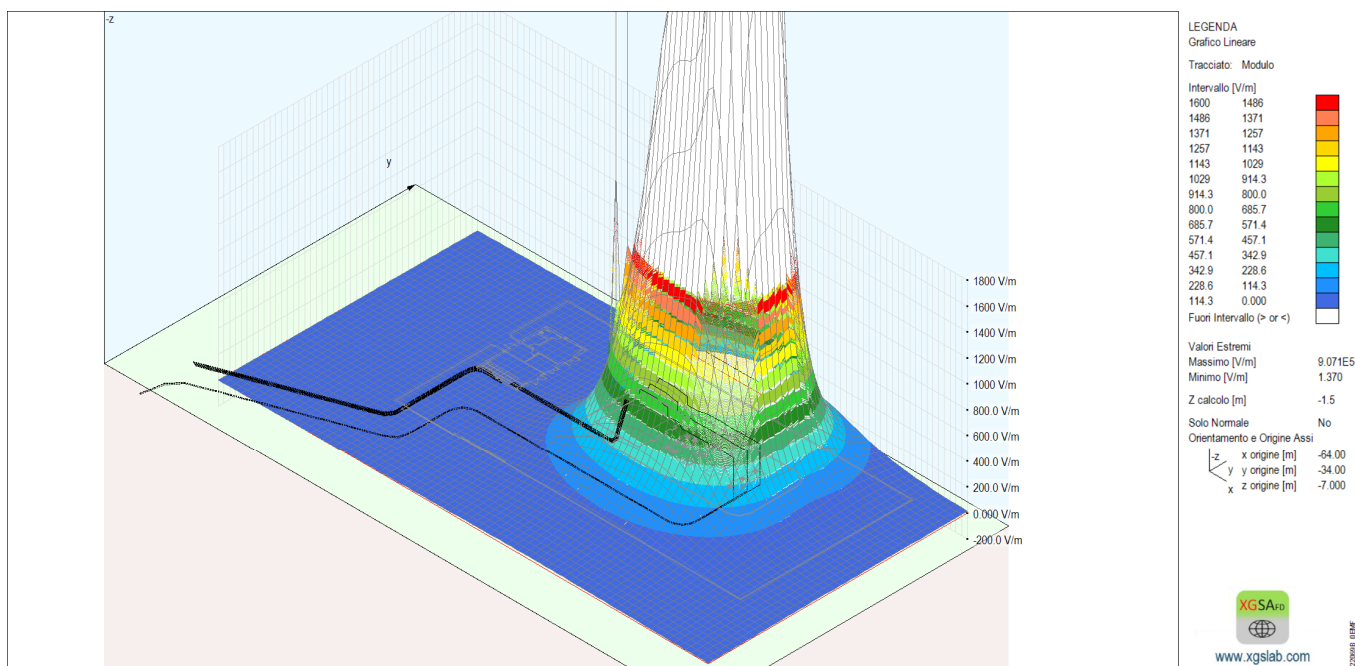


Figura 31 – Distribuzione del campo elettrico ad  $h = 1.5$  m nel range 0 – 1.6 kV/m (3D)

La Figura 32 rappresenta invece le aree in cui sono evidenziati i limiti con riferimento al DPCM 8 luglio 2003.

I colori della figura hanno il seguente significato:

- Colore verde:  $E < 5$  kV/m
- Colore giallo:  $5 \text{ kV/m} < E < 10$  kV/m
- Colore rosso:  $E > 10$  kV/m

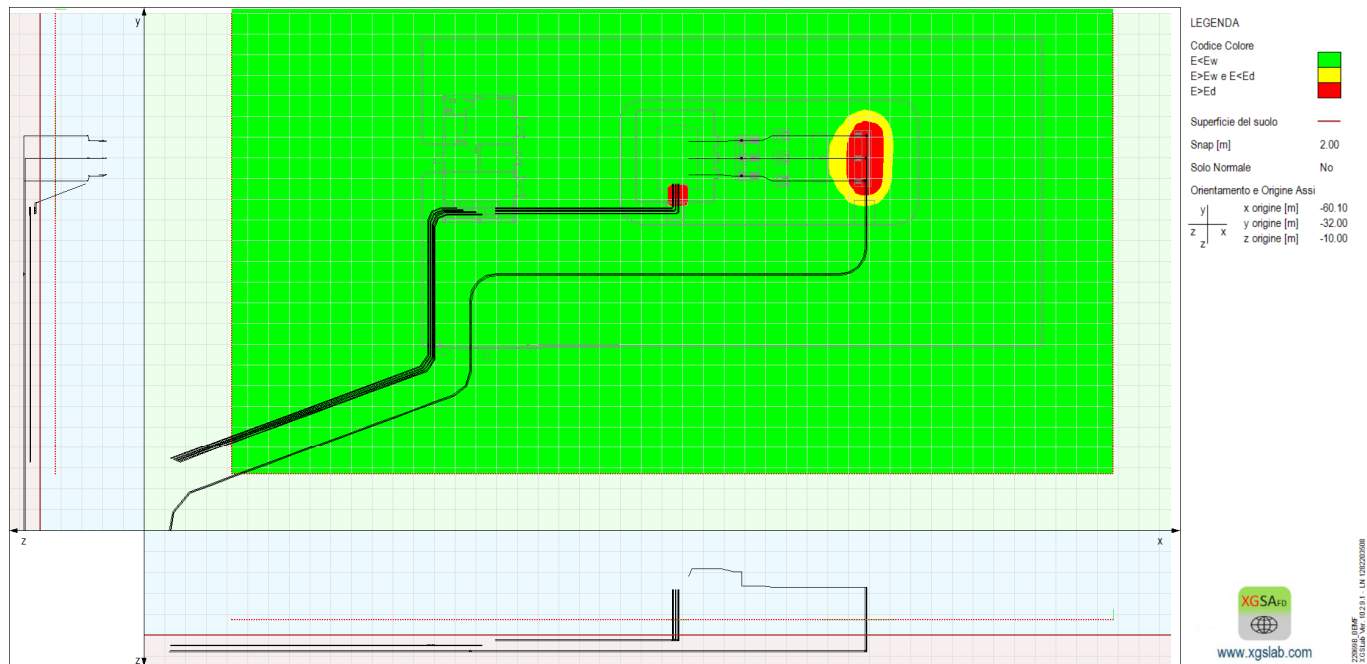


Figura 32 - Aree con riferimento ai limiti di campo elettrico del DPCM 8 luglio 2003 ad 1.5 m dal suolo

### 10.3. COMMENTI AI RISULTATI

Per quanto presentato in 10.2, si nota che, con riferimento alle zone di interesse all'interno e all'esterno della sottostazione, valori di campo elettrico superiori ai 5kV/m possono essere raggiunti solo nell'immediata vicinanza delle sbarre.

Pertanto, si può senz'altro affermare che sia verificata una condizione di tutela sia della popolazione nelle aree esterne (DPCM 08/07/2003), sia dei lavoratori in aree interne (DLgs 159/2016).