

“TACCU SA PRUNA”

Progetto di impianto di accumulo idroelettrico ad alta
flessibilità

Connessione alla RTN – Piano Tecnico delle Opere RTN

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



GEOTECH S.r.l.

SOCIETA' DI INGEGNERIA
Via T.Nani, 7 Morbegno (SO)
Tel. +39 0342610774
E-mail: info@geotech-srl.it
Sito: www.geotech-srl.it

Progettista: Ing. Pietro Ricciardini

Relazione CEM Stazione Elettrica Nurri ed elettrodotti aerei



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	PRIMA EMISSIONE	Giugno 2022	Geotech S.r.l.	Geotech S.r.l.	Edison S.p.A.

Codice commessa: G929

Codifica documento: G929_DEF_R_049_RTN_rel_CEM_1-1_REV00



Sommario

1	PREMESSA	2
2	PROPONENTE	3
3	INTRODUZIONE	4
3.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3.2	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO	6
3.3	METODO DI CALCOLO UTILIZZATO	8
3.3.1	<i>Linee aeree isolate</i>	8
3.3.2	<i>Linee aeree AT con parallelismo</i>	8
3.3.3	<i>Stazione Elettrica</i>	8
4	ELETTRODOTTI AEREI	9
4.1	VALUTAZIONE CAMPO MAGNETICO	9
4.1.1	<i>Metodologia di verifica</i>	9
4.1.2	<i>Correnti di calcolo</i>	9
4.2	DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA)	10
4.3	CONFORMITA' OPERA IN MATERIA DI CAMPO ELETTRICO	14
5	STAZIONE ELETTRICA	18
5.1	ASSETTO DI STAZIONE	18
5.1.1	<i>Disposizione elettromeccanica</i>	18
5.1.2	<i>Apparecchiature</i>	19
5.2	VALUTAZIONE DELLA FASCE DI RISPETTO	20
5.3	RISULTATI DELLO STUDIO PREVISIONALE CAMPI ELETROMAGNETICI	25
5.3.1	<i>Campi magnetici</i>	25
5.3.2	<i>Campi elettrici</i>	25
6	CONSIDERAZIONI FINALI	26



1 PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di verificare, per l'opera in progetto, il rispetto dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, sui campi elettrici e magnetici.

Nel dettaglio verranno analizzati e calcolati i valori del campo elettrico e di induzione magnetica degli elettrodotti aerei 380 kV di collegamento tra le due future Stazioni Elettriche 380/150 kV “SE Sanluri” e “SE Nurri 2” da ubicarsi rispettivamente nei comuni di Sanluri e Nurri, in provincia del Sud Sardegna e della futura Stazione Elettrica “SE Nurri 2”.

I tracciati dei due elettrodotti (“SE Sanluri – SE Nurri 2” – Nord e “SE Sanluri – SE Nurri 2” – Sud) sono descritti nella relazione tecnica illustrativa. Il calcolo verrà effettuato prendendo come riferimento la portata massima prevista in relazione alla tipologia di conduttore di prevista installazione.



2 PROPONENTE

Edison, con più di 130 anni di storia, è la società energetica più antica d'Europa ed è oggi uno dei principali operatori energetici in Italia, attivo nella produzione e vendita di energia elettrica, nell'approvvigionamento, vendita e stoccaggio di gas naturale, nella fornitura di servizi energetici, ambientali al cliente finale nonché nella progettazione, realizzazione, gestione e finanziamento di impianti e reti di teleriscaldamento a biomassa legnosa e/o gas o biogas.

Attualmente Edison è il terzo operatore italiano per capacità elettrica installata con 6,5 GW di potenza e copre circa il 7% della produzione nazionale di energia elettrica. Il parco di produzione di energia elettrica di Edison è costituito da oltre 200 impianti, tra cui centrali idroelettriche (64 mini-idro), 50 campi eolici e 64 fotovoltaici e 14 cicli combinati a gas (CCGT) che permettono di bilanciare l'intermittenza delle fonti rinnovabili.

Oggi opera in Italia, Europa e Bacino del Mediterraneo impiegando circa 5.000 persone.

Edison è impegnata in prima linea nella sfida della transizione energetica, attraverso lo sviluppo della generazione rinnovabile e low carbon, i servizi di efficienza energetica e la mobilità sostenibile, in piena sintonia con il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC) e gli obiettivi definiti dal Green Deal europeo. Nell'ambito della propria strategia di transizione energetica, Edison punta a portare la generazione da fonti rinnovabili al 40% del proprio mix produttivo entro il 2030, attraverso investimenti mirati nel settore (con particolare riferimento all'idroelettrico, all'eolico ed al fotovoltaico).

Con riguardo al settore idroelettrico, Edison è attiva nella produzione di energia elettrica attraverso la forza dell'acqua da oltre 120 anni quando, sul finire dell'800, ha realizzato le prime centrali idroelettriche del Paese che sono tutt'ora in attività. L'energia rinnovabile dell'acqua rappresenta la storia ma anche un pilastro del futuro della Società, impegnata a consolidare e incrementare la propria posizione nell'ambito degli impianti idroelettrici e a cogliere ulteriori opportunità per contribuire al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione.



3 INTRODUZIONE

Le valutazioni di campo elettrico e magnetico sono state effettuate nel pieno rispetto del D.P.C.M dell'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 μ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci;
- Valore di attenzione: 10 μ 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 μ 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 installazione elettriche esistenti.

Le valutazioni delle fasce di rispetto legate al campo di induzione magnetica e i calcoli del campo elettrico si riferiscono agli interventi elencati nella Relazione Tecnica Descrittiva, doc n. 829_DEF_R_002 (Relazione tecnica illustrativa).

3.1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Le linee guida per la limitazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici variabili nel tempo ed ai campi elettromagnetici sono state indicate nel 1998 dalla ICNIRP (Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti).

Il 12-7-99 il Consiglio dell'Unione Europea (UE) ha emesso una Raccomandazione agli Stati Membri volta alla creazione di un quadro di protezione della popolazione dai campi elettromagnetici, che si basa sui migliori dati scientifici esistenti; a tale proposito il Consiglio ha avallato proprio le linee guida dell'ICNIRP. Successivamente nel 2001, a seguito di un'ultima analisi condotta sulla letteratura scientifica, un Comitato di esperti della Commissione Europea ha raccomandato alla UE di continuare ad adottare tali linee guida.

Lo Stato Italiano è successivamente intervenuto, con finalità di riordino e miglioramento della normativa in materia allora vigente in Italia attraverso la Legge quadro 36/2001, che ha individuato ben tre livelli di esposizione ed ha affidato allo Stato il compito di determinarli e aggiornarli periodicamente in relazione agli impianti che possono comportare esposizione della popolazione a campi elettrici e magnetici con frequenze comprese tra 0Hz e 300 GHz.

L'art. 3 della **Legge 36/2001** ha definito:

- *limite di esposizione*, il valore di campo elettromagnetico da osservare ai fini della tutela della salute da effetti acuti;
- *valore di attenzione*, come quel valore del campo elettromagnetico da osservare quale misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine;



- *obiettivo di qualità*, come criterio localizzativo e standard urbanistico, oltre che come valore di campo elettromagnetico ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione.

Tale legge quadro italiana (36/2001), come ricordato dal citato Comitato di esperti della Commissione Europea, è stata emanata nonostante le raccomandazioni del Consiglio dell'Unione Europea del 12-7-99 sollecitassero gli Stati membri ad utilizzare le linee guida internazionali stabilite dall'ICNIRP. Tutti i paesi dell'Unione Europea hanno accettato il parere del Consiglio della UE, mentre l'Italia ha adottato misure più restrittive di quelle indicate dagli Organismi internazionali.

In esecuzione della predetta Legge quadro, è stato infatti emanato il **D.P.C.M. 08.07.2003** "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.", che ha fissato il limite di esposizione in 100 microtesla (μT) per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico; ha stabilito il valore di attenzione di 10 μT , a titolo di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere; ha fissato, quale obiettivo di qualità, da osservare nella progettazione di nuovi elettrodotti, il valore di 3 μT . È stato altresì esplicitamente chiarito che tali valori sono da intendersi come mediana di valori nell'arco delle 24 ore, in condizioni normali di esercizio. Si segnala come i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità stabiliti dal Legislatore italiano siano rispettivamente 10 e 33 volte più bassi di quelli internazionali.



3.2 NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO

Le caratteristiche delle realizzazioni in genere, degli impianti, dei loro componenti, dovranno rispondere alle norme tecniche, a quelle di legge ed ai regolamenti vigenti ed in particolare dovranno essere conformi a:

- Vincoli ambientali specifici del territorio in cui verranno inseriti;
- Prescrizioni delle Autorità Locali di controllo ASL e di vigilanza INAIL (ARPAS) e VV. F.;
- Quanto previsto in materia di compatibilità elettromagnetica;
- D.Lgs. n.81 del 09 aprile 2008 e sue modifiche: "Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro";
- Legge 1° marzo 1968, n. 186 "disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici, ed elettronici";
- D.M. n. 37 del 22 gennaio 2008 "installazione degli impianti";
- Modalità per la Dichiarazione di conformità di tutti gli impianti;
- Delibere AEEG in materia di energia elettrica prodotta da impianti di generazione rinnovabile e non.
- Marcatura CE o dichiarazione CE ove richiesta;
- Prescrizioni delle Autorità Locali di controllo ASL e di vigilanza INAIL (ARPAS) e VV. F.;
- Legge 1° marzo 1968, n. 186 "disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici, ed elettronici";
- Linee guida ICNIRP 2010 (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection): Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz);
- Direttiva 2013/35/UE - Disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.
- Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici - Volume 1: Guida pratica
- Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici - Volume 2: Studi di casi
- Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici - Guida per le PMI
- DLgs 159/2016 pubblicato nella GU 192 del 18/08/2016, entrato in vigore il 02/09/2016: recepisce la Direttiva UE 2013/35/UE
- 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- G. U. n. 200 del 29 agosto 2003.
- Decreto 29 maggio 2008. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti. (Supplemento ordinario n.160 alla G.U. 5 luglio 2008 n. 156).



- Documento Enel - Linee Guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.2008
- D.Lgs. 81/08 (modifiche) Recepimento del DLgs 159/2019: con la sostituzione all'Allegato XXXVI degli articoli: 206, 207, 209, 210, 211, 212, 219, inserimento dell'art. 210 bis.
- Legge n. 36, del 22 febbraio 2001: Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. G. U. n. 55 del 7 marzo 2001
- Norme CEI, CEI-EN, in caso di mancanza di riferimenti nazionali e/o europei, quelle IEC (International Electrotechnical Commission), UN.EL.-U.N.I./I.S.O.- CEE.

Di seguito vengono elencate a titolo indicativo non esaustivo le principali.

CLASSIFICAZIONE CENELEC IEC O ISO	CLASSIFICAZIONE CEI O UNI	TITOLO DELLA NORMA, SPECIFICA O GUIDA
CEI EN 62226-1	CEI 106-10	Esposizione ai campi elettrico e magnetico nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie - Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano Parte 1: Aspetti generali
NC	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
NC	CEI 106-12	Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT
CEI EN 50413	CEI 106-20	Norma di base sulle procedure di misura e di calcolo per l'esposizione umana ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (0 Hz-300 GHz).
CEI EN 50499	CEI 106-23	Procedura di valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici
CEI EN 62110	CEI 106-27	Livelli di campo elettrico e magnetico generati da sistemi di potenza in c.a. - Procedure di misura con riferimento all'esposizione umana
CEI EN 50527-2-1	CEI 106-30	Procedura per la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici dei lavoratori con dispositivi medici impiantabili attivi Parte 2-1: Valutazione specifica per lavoratori con stimolatore cardiaco (pacemaker)
NC	CEI 211- 4	Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche
NC	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 EN 61000-6-2	CEI 210-54	Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-2: Norme generiche - Immunità per gli ambienti industriali



CEI EN 61000-6-4	CEI 210-66	Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-4: Norme generiche - Emissione per gli ambienti industriali
------------------	------------	--

TABELLA 1 – norme di riferimento per i campi elettromagnetici

3.3 METODO DI CALCOLO UTILIZZATO

3.3.1 Linee aeree isolate

La metodologia di calcolo utilizzata è basata sull'algoritmo bidimensionale normalizzato nella CEI 211-4. In particolare il campo di induzione magnetica viene simulato utilizzando un algoritmo numerico basato sulla legge di Biot-Savart, mentre il campo elettrico viene simulato a mezzo di calcoli basati sul metodo delle cariche immagini.

Alla frequenza di rete (50 Hz), il regime elettrico è di tipo quasi stazionario, e ciò permette la trattazione separata degli effetti delle componenti del campo elettrico e del campo magnetico. Questi ultimi in un punto qualsiasi dello spazio in prossimità di un elettrodotto trifase sono le somme vettoriali dei campi originati da ciascuna delle tre fasi e sfasati fra loro di 120° . In questo caso il calcolo è bidimensionale, e viene modellizzato considerando conduttori di lunghezza infinita e con direzione perfettamente ortogonale al piano.

Per i calcoli è stato utilizzato il programma di simulazione "EMF Tools 4.2.2" sviluppato per TERNA dal CESI procedendo sia al calcolo della fascia di rispetto, e di conseguenza determinando la DPA, sia al calcolo del campo elettrico a 1m dal suolo. Per tutte le simulazioni si farà riferimento alla configurazione geometrica dei conduttori maggiormente gravosa selezionata tra tutte le tipologie di sostegni utilizzate, che nel caso in esame è quella del sostegno di tipo CA.

3.3.2 Linee aeree AT con parallelismo

Nel caso di più linee aeree con asse linea parallelo, come accade tra vari tratti dei due elettrodotti "SE Sanluri – SE Nurri 2" – Nord e Sud, il campo elettromagnetico tra le due linee è la somma vettoriale del campo generato da ciascuna di esse. Pertanto sarà necessario calcolare l'effetto combinato delle due linee, con direzione della corrente più sfavorevole, che coincide con la condizione di verso concorde. L'ampiezza della fascia di prima approssimazione in questo caso verrà calcolata mediante il software "EMF Tools 4.2.2" sviluppato per TERNA dal CESI, inserendo consecutivamente le due configurazioni geometriche dei conduttori di entrambe le linee, con le rispettive distanze planimetriche e considerando i franchi da terra pari a 12 m, trascurando a favore di sicurezza il dislivello altimetrico realmente esistente.

3.3.3 Stazione Elettrica

L'ipotesi fondamentale alla base del calcolo delle fasce di rispetto consiste nel calcolare il campo elettromagnetico generato dai due gruppi sbarre a 380 kV e a 150 kV, considerando la portata massima di corrente che scorre con verso concorde tra le sbarre stesse. Tale ipotesi è fortemente cautelativa poiché la probabilità che nei 4 gruppi sbarra circoli la corrente massima ammissibile in senso concorde è del tutto irrealistica. Inoltre si sottolinea come, in generale, Terna (ente gestore della RTN) ha dimostrato che generalmente la fascia DPA rimane all'interno della stazione con qualsiasi condizione di corrente circolante). Entrando nel merito del calcolo, mediante il software EMF Tools 4.2.2, si sono calcolate le curve equilivello del campo magnetico.



4 ELETTRODOTTI AEREI

4.1 VALUTAZIONE CAMPO MAGNETICO

La linea elettrica durante il suo normale funzionamento genera un campo magnetico proporzionale alla corrente che vi circola. Il valore dell'induzione magnetica decresce molto rapidamente con la distanza.

4.1.1 Metodologia di verifica

Ai fini dell'individuazione dei limiti entro i quali deve essere verificato il rispetto dell'obiettivo di qualità, così come definito nel D.P.C.M. dell'8 Luglio 2003, si è provveduto ad effettuare il calcolo delle fasce di rispetto. Per "fasce di rispetto" si intendono quelle definite dalla Legge 22 febbraio 2001 n. 36, ovvero il volume racchiuso dalle curve isolivello a 3 microtesla, 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. 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. In particolare la procedura da seguire, per la verifica della conformità dell'opera in materia di campi magnetici, è quella che si riporta di seguito:

1. Valutazione delle correnti di calcolo da applicare alla linea aerea (per il dettaglio vedere par. 3.2);
2. Calcolo le DPA, così come meglio definite nel par. 3.3, successivamente riportate in planimetria su base CTR, in scala 1:2000 (per il dettaglio vedere planimetrie allegate "*Corografia di progetto con Distanza di Prima approssimazione*");
3. Verifica sulle planimetrie di cui sopra dell'eventuale presenza di recettori e manufatti ricadenti all'interno della DPA;
4. Per ognuno degli eventuali recettori individuati, provvedere ad un calcolo tridimensionale attraverso il quale verificare il non superamento dell'obiettivo di qualità, nel punto del recettore più vicino all'elettrodotto.
5. Per tutti gli altri manufatti accertare la destinazione d'uso e stato di conservazione attraverso visure catastali e sopralluoghi sul posto, potendo così escluderli dalla definizione di "recettore".

4.1.2 Correnti di calcolo

Come indicato all'Art. 5.1.1 del Decreto 29 maggio 2008 nelle simulazioni, a misura di maggior cautela, si fa riferimento per la mediana nelle 24 ore in condizioni di normale esercizio, alla corrente in servizio normale definita dalla norma CEI 11-60 per il periodo freddo riferito alla zona climatica di interesse. La norma CEI 11-60 fissa dei valori di corrente determinati per un conduttore detto di riferimento. Ciascuna fase elettrica sarà costituita da n.3 conduttore di energia formato da una corda di alluminio acciaio della sezione complessiva di 585,3 mm² composta da n.19 fili di acciaio del diametro 2,10 mm e da n. 54 fili di alluminio del diametro di 3,50 mm, con un diametro complessivo di 31,5 mm (Documento da Unificazione Terna L_C2). Il carico di rottura teorico del conduttore sarà di 16.852 daN. Riassumendo i dati elettrici inseriti nel calcolatore sono i seguenti:

- TENSIONE NOMINALE: 380 kV
- ZONA CLIMATICA: A
- PORTATA DI CORRENTE SECONDO CEI 11-60 PER PERIODO FREDDO: **2.955 A.**



4.2 Distanza di prima approssimazione (DPA)

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, il Decreto 29 Maggio 2008 prevede che il gestore debba calcolare la Distanza di Prima Approssimazione, definita come “la distanza in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea, che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto”.

4.2.1.1 Calcolo della DPA

Ai fini del calcolo della DPA per il progetto degli elettrodotti aerei 380 kV “SE Sanluri – SE Nurri 2” – Nord e Sud, non sono state utilizzate delle metodologie semplificate ma è stata effettuata la proiezione al suolo della fascia calcolata. La proiezione a terra della fascia di rispetto è rappresentata nell'elaborato “Corografia di progetto su CTR con Distanza di Prima Approssimazione – Stazione Elettrica Nurri ed elettrodotti aerei” sovrapposto alla carta tecnica regionale mentre al di sopra della cartografia catastale negli elaborati denominati: *Planimetria catastale con Distanza di Prima Approssimazione - Comune di Sanluri, Furtei, Villamar, Segariu, Villanovafranca, Escolca, Mandas, Gergei, Serri e Nurri*. Il procedimento seguito per la rappresentazione dell'ampiezza della fascia DPA è il seguente:

- Calcolo della distanza minima tra due linee a 380 kV parallele con la portata di corrente in progetto e la geometria dei conduttori secondo la configurazione del sostegno CA ST per tensione di 380 kV, affinché le isolinee del campo magnetico corrispondente a $3 \mu\text{T}$ non risultino sovrapposte. Per la corrente di 2.995 A l'interasse massimo fra due linee parallele è pari a 155m. Cautelativamente si è considerato un dislivello altimetrico nullo tra le linee, quindi con conduttori disposti alla stessa quota;

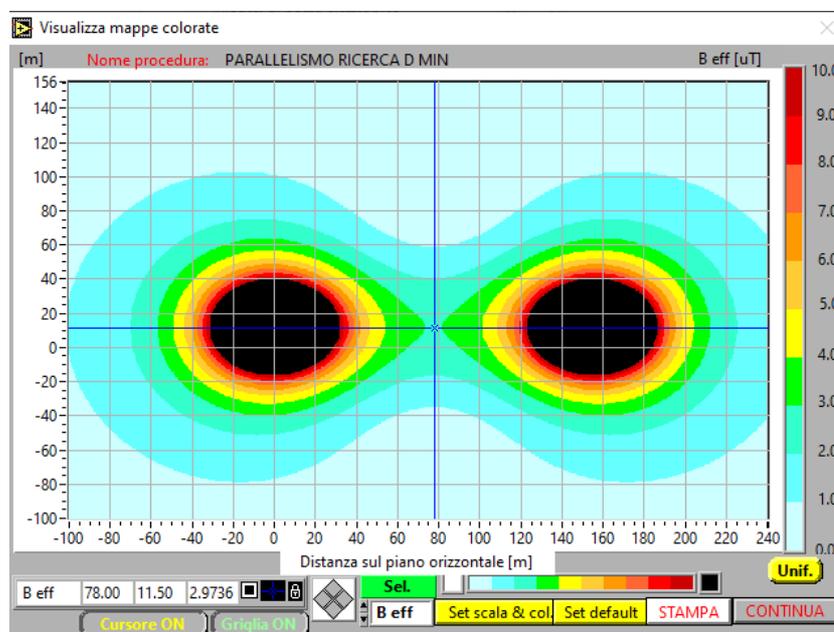


Figura 1-1 Curve isolivello del campo magnetico per linee parallele con interasse di 155 m. Il livello di tensione considerato è pari a 2995 A e la configurazione geometrica delle fasi è pari a quella del sostegno di tipo CA ST 380 kV.

- **Calcolo dell'ampiezza della fascia DPA, nel caso di linee parallele con interasse inferiore a 155 m.** Nel caso in cui l'interasse tra i due elettrodotti sia inferiore a 155 m, tutta l'area compresa tra di essi è soggetta ad un campo magnetico superiore a $3 \mu\text{T}$ e l'estensione della fascia DPA esternamente all'asse degli elettrodotti si allarga tanto minore è la distanza tra i due elettrodotti, pertanto verranno realizzate numerose sezioni (ad interasse tra gli elettrodotti variabile), in modo da rappresentare nella



maniera più accurata possibile l'ampiezza della fascia DPA. Nella figura sottostante si riporta l'estensione della fascia DPA, nel caso in cui l'interasse fra gli elettrodoti sia pari a 70m (nel calcolo gli assi dei due elettrodoti sono posti in corrispondenza dell'ascissa 0 e 70m):

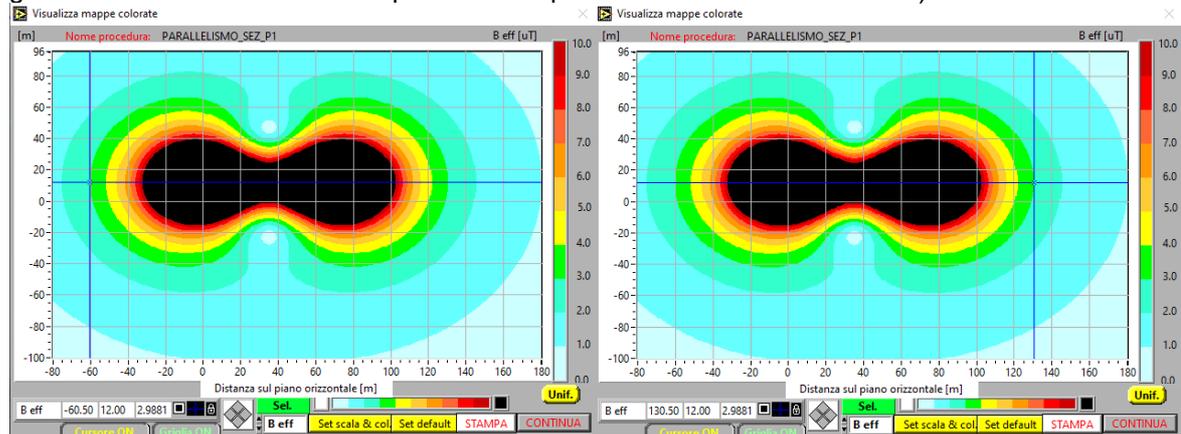


Figura 1-2 Ampiezza della fascia DPA, pari a 60,5 m, considerando il lato esterno ai due elettrodoti. Internamente il valore del campo elettromagnetico è sempre superiore a $3 \mu T$.

- **Calcolo dell'ampiezza della fascia DPA, nel caso di linee parallele con interasse superiore a 155 m.** Nei tratti in cui gli elettrodoti presentano un interasse superiore a 155 m, non si può ritenere che il valore del campo elettromagnetico generato dai due elettrodoti sia disaccoppiato, ma c'è ancora un'influenza, fino ad un interasse di circa 200 m. Nella figura sottostante si riporta il grafico delle curve equilivello del campo elettromagnetico per interasse tra i due elettrodoti pari a 170 m:

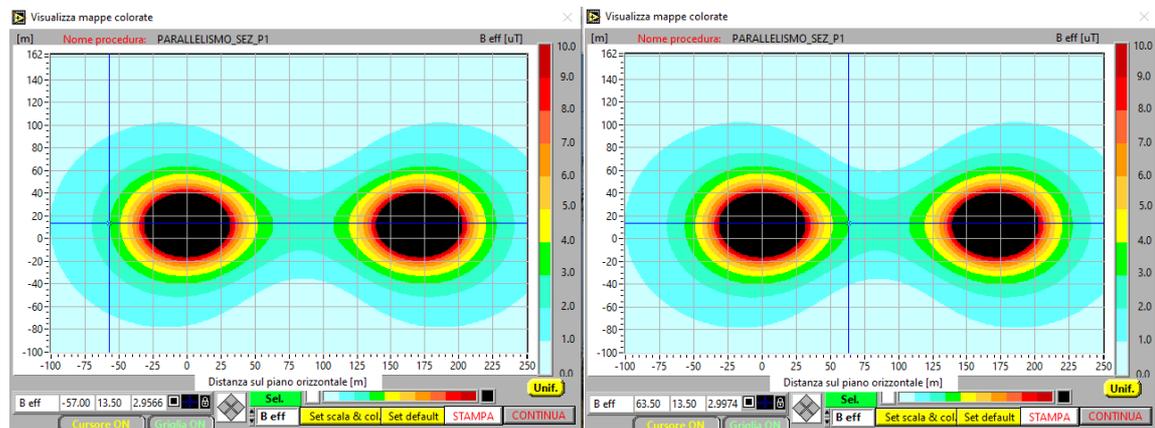
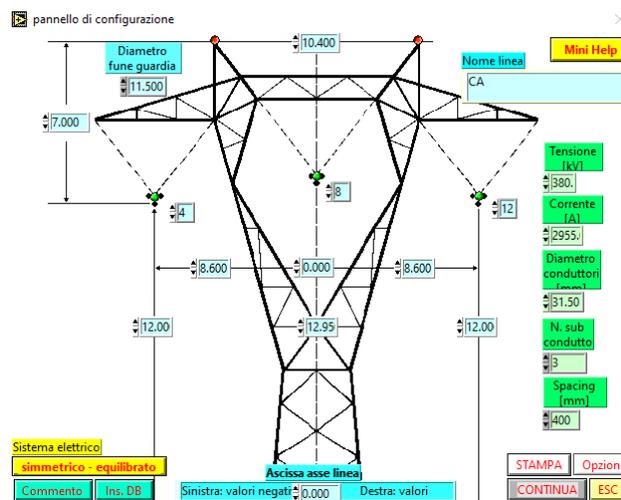


Figura 1-3. Ampiezza della fascia DPA, pari a 57 m nel lato esterno e 63.5 m nel lato interno rispetto all'asse di ciascuno dei due elettrodoti.

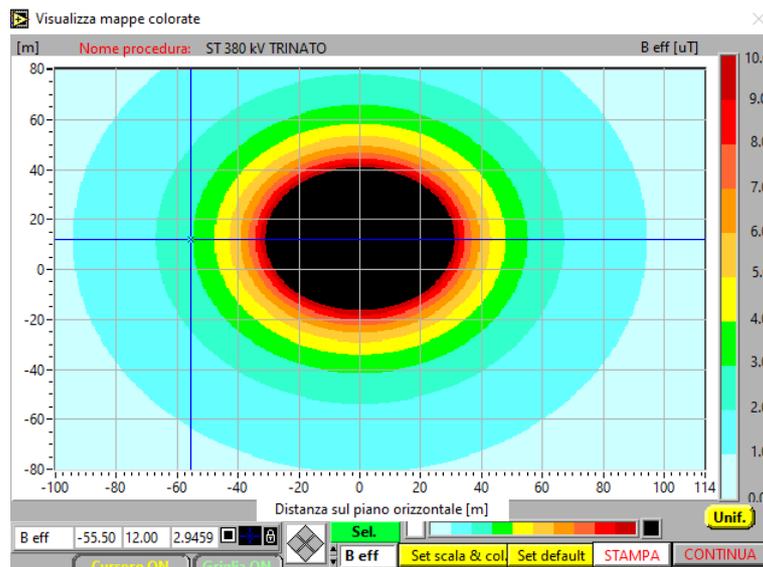
- **Calcolo dell'Ampiezza della fascia APA in caso di "Linea Isolata".** Si è scelto di considerare la configurazione geometrica dei conduttori più sfavorevole, cioè quella con larghezza massima dei conduttori (Sostegno di tipo CA), considerando un franco rispetto al terreno di 12 m. Nella tabella sottostante si riporta prima la configurazione geometrica inserita e successivamente il grafico delle curve isolivello del campo elettromagnetico:



Sezione fascia di rispetto in corrispondenza di un sostegno di tipo CA



Configurazione 380kV s.t. - Tipo CA



Risultati di calcolo bidimensionale della fascia di rispetto dei $3 \mu T$ (DPA=56 m+56m).

- **Calcolo dell'Ampiezza della fascia APA in caso di parallelismo di 3 linee aeree.** Nei pressi della stazione elettrica di Nurri, si diparte un'altra linea aerea a ST a 380 kV con conduttore binati, che collegherà la stazione utente di Ittiri, pertanto il campo elettromagnetico sarà generato dai 3 elettrodotti



in parallelo. La configurazione geometrica è quella dei sostegni di tipo CA ST, con la portata massima in servizio nominale per un conduttore binato di diametro pari a 31,5 mm, pari a 1970 A. Per calcolare l'ampiezza della fascia DPA in questo caso si è inserita la seguente configurazione geometrica:

- ascissa 0 m: Sostegno CA ST, Tensione=380 kV, Conduttore trinato 31.5 mm, Intensità=2955 A;
- ascissa 81 m: Sostegno CA ST, Tensione=380 kV, Conduttore trinato 31.5 mm, Intensità=2955 A;
- ascissa 162 m: Sostegno CA ST, Tensione=380 kV, Conduttore binato 31.5 mm, Intensità=1970 A;

Con tale configurazione la mappa delle curve equivello del campo elettromagnetico ottenuta è riportata nelle figure sottostanti:

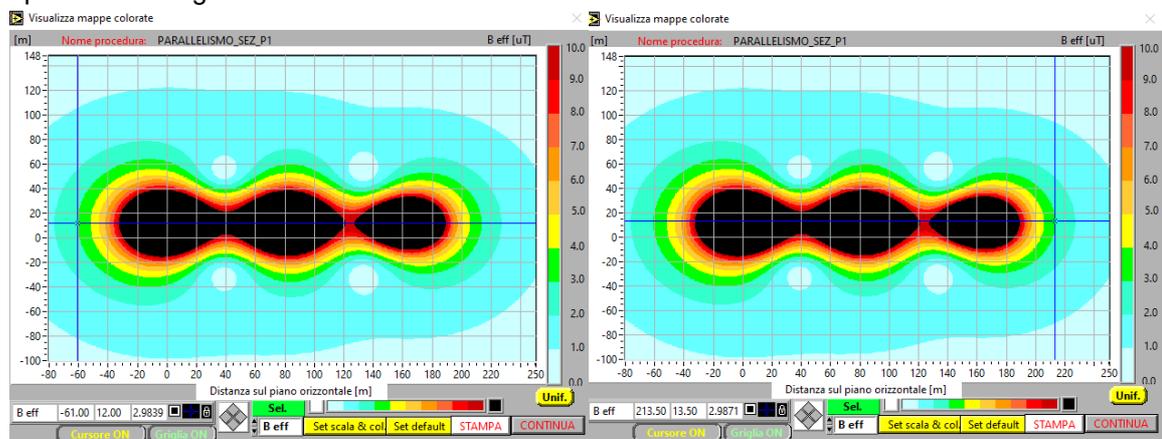


Figura 1-4. Mappa delle curve equivello del campo elettromagnetico in caso di parallelismo di 3 linee aeree a 380 kV poste ad interasse di 81 m.

L'ampiezza della fascia DPA sarà pari a 61 m esternamente all'elettrodotto posto ad ascissa 0 m, e a 51,5 m dall'elettrodotto posto in corrispondenza dell'ascissa 162 m.

Siccome l'interasse tra i due elettrodotti che collegano le due stazioni in progetto è variabile, si è reso necessario calcolare l'ampiezza della fascia DPA in corrispondenza di numerose sezioni, le cui tracce vengono riportate nelle tavole allegate al progetto. In questo modo si è potuta rappresentare la DPA lungo tutto l'elettrodotto in esame.

L'ampiezza della fascia APA, viene riportata nella cartografia allegata al progetto, sovrapposte alla carta tecnica regionale, nell'elaborato con denominazione: *Corografia di progetto con Distanza di Prima Approssimazione*. Inoltre per verificare la presenza di recettori potenzialmente sensibili, la fascia calcolata viene rappresentata sovrapposta alla planimetria catastale, suddivisa per i Comuni di appartenenza.

All'interno della fascia APA, non si segnala la presenza di alcun recettore potenzialmente sensibile.



4.3 CONFORMITA' OPERA IN MATERIA DI CAMPO ELETTRICO

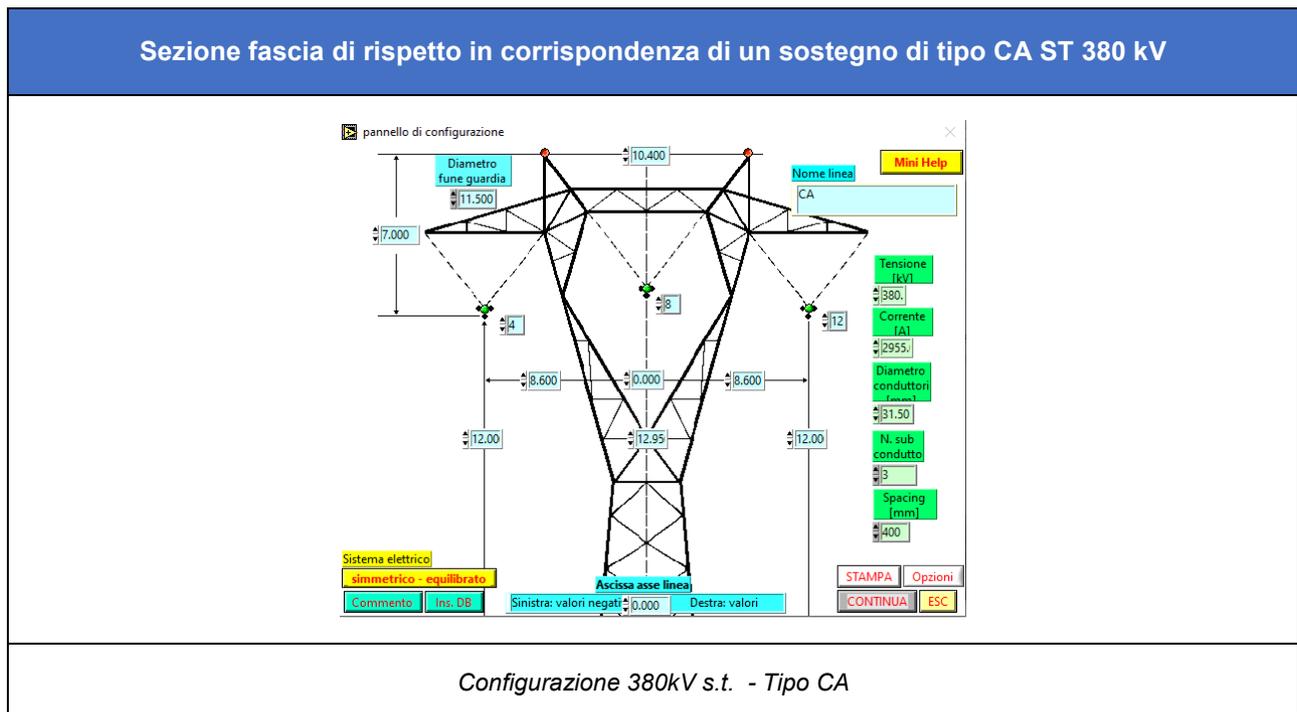
Ogni linea elettrica durante il suo normale funzionamento genera un campo elettrico proporzionale alla tensione della linea stessa. Il valore del campo elettrico decresce molto rapidamente con la distanza.

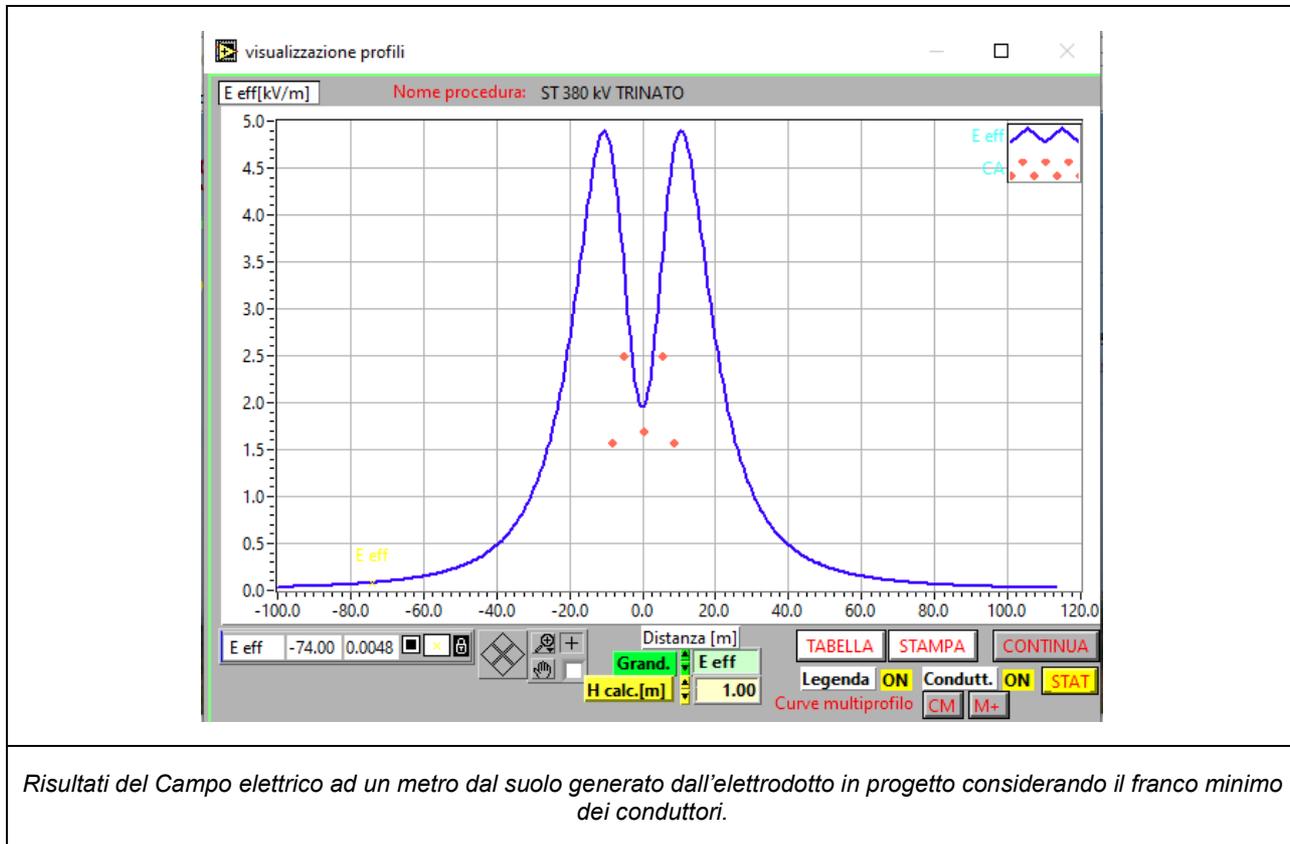
Utilizzando la stessa configurazione geometrica utilizzata per il calcolo dell'induzione magnetica, viene calcolato il valore di campo elettrico generato dagli elettrodotti a 1 m di altezza dal suolo. Per il calcolo è stato utilizzato il programma "EMF Vers 4.08" sviluppato per Terna da CESI in aderenza alla norma CEI 211-4; inoltre, i calcoli sono stati eseguiti in conformità a quanto disposto dal D.P.C.M. 08/07/2003.

Per quanto riguarda l'altezza da terra dei conduttori degli elettrodotti in progetto, è stata considerata la distanza minima progettuale da terra, alla quale possono trovarsi i conduttori stessi. Tale distanza si verifica in condizioni di Massima Freccia che in base alle scelte progettuali risulta essere pari a 12 m.

Con tali ipotesi è stato verificato, per ogni configurazione geometrica, il pieno rispetto del limite di esposizione dettato dal DPCM dell'8 luglio 2003 (5 kV/m).

Come si può vedere nei paragrafi successivi, i valori di campo elettrico sono sempre inferiori al limite di 5 kV/m imposto dalla normativa.



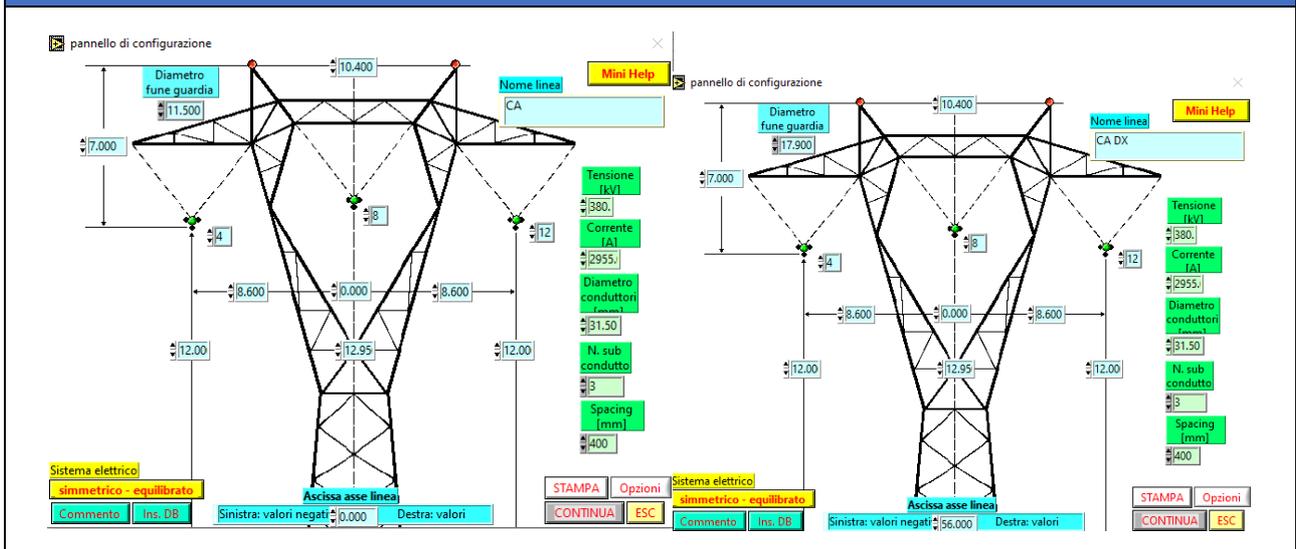


Il valore del Campo Elettrico al Suolo massimo è pari a 4.9 kV/m inferiore ai 5 kV/m imposti da normativa.

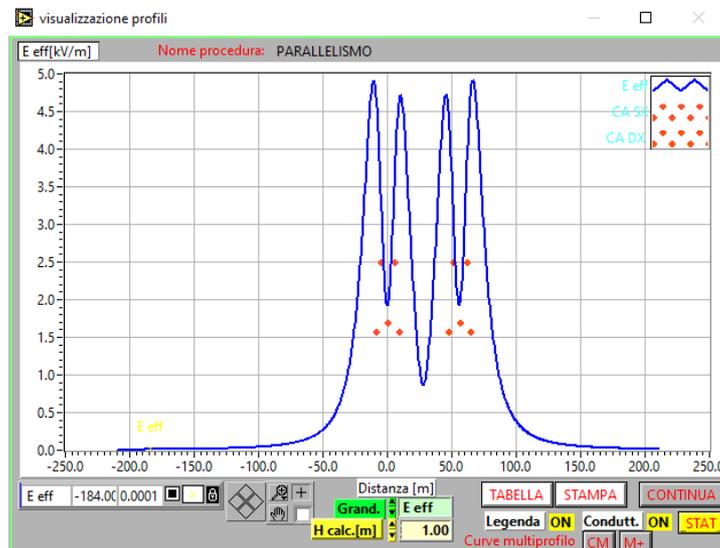
Nella figura sottostante si riporta anche il grafico del campo elettrico ad 1 metro dal suolo, generato da due linee parallele fra loro ad interasse di 56 m, analoghi andamenti si otterranno per distanze via via crescenti:



Sezione fascia di rispetto in corrispondenza di un sostegno di tipo CA ST 380 kV

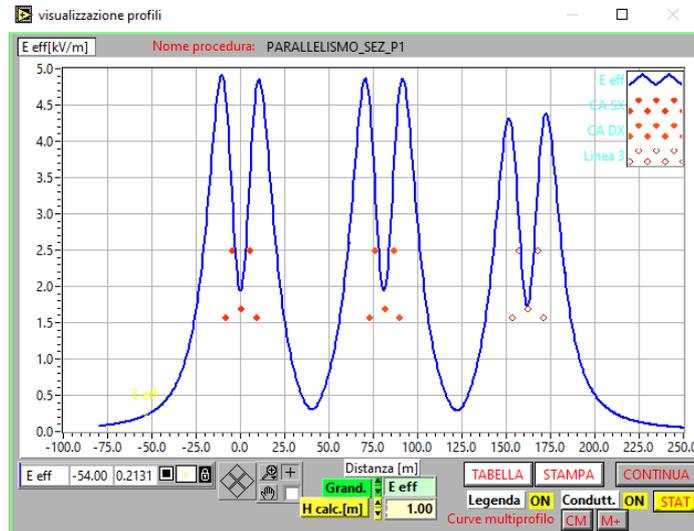


Parallelismo fra due elettrodotti a 380 kV con conduttori trinati a 380 kV, distanziati di 56 m.



Risultati del Campo elettrico ad un metro dal suolo generato dalle due linee parallele distanti 56 m l'una dall'altra.

Per completezza si riporta inoltre il campo elettrico generato dal parallelismo di 3 linee aeree a 380 kV, esercite con la massima portata di corrente in servizio nominale in periodo freddo; con interasse pari a 81 m, configurazione presente nei pressi della stazione di Nurri:



Anche in questo caso il limite di 5 kV/m è rispettato.



5 STAZIONE ELETTRICA

5.1 ASSETTO DI STAZIONE

5.1.1 Disposizione elettromeccanica

La nuova Stazione Elettrica “SE Nurri 2” sarà del tipo unificato TERNA con isolamento in aria e stalli tradizionali: essa sarà pertanto del tipo AIS (Air Insulated Substation) cioè con isolamento sbarre e sezionamenti in aria, unità funzionali in SF6.

Nella massima estensione essa sarà costituita da:

- una sezione 380 kV composta da:
 - n° 1 sistema a doppia sbarra;
 - n° 2 stalli aerei per gli elettrodotti “SE Sanluri – SE Nurri “;
 - n° 1 stallo per connessione aerea dalla Stazione Utente Edison S.p.A;
 - n° 2 stalli per parallelo sbarre;
 - n° 4 stalli per trasformatori 380/150 kV;
 - n° 1 stallo per il reattore;

Nelle due sezioni 150 kV sono previsti in totale 20 stalli così suddivisi:

- Sezione dx (10 stalli totali) anche denominata sezione 1:
 - 1 stallo per il parallelo sbarre tra le due sezioni;
 - 2 stalli per i trasformatori;
 - 5 stalli per l’arrivo di linee in aereo o cavo interrato;
 - 1 stallo aereo per il parallelo sbarre;
 - 1 stallo per il trasformatore induttivo di potenza (TIP);
- Sezione sx (10 stalli totali) anche denominata sezione 2:
 - 1 stallo per il parallelo sbarre tra le due sezioni;
 - 2 stalli per il parallelo sbarre;
 - 2 stalli per i trasformati;
 - 4 stalli per l’arrivo di linee in aereo o cavo interrato;
 - 1 stallo per i condensatori.



Nella figura sottostante è rappresentata la configurazione della stazione di trasformazione “SE Nurri 2”.

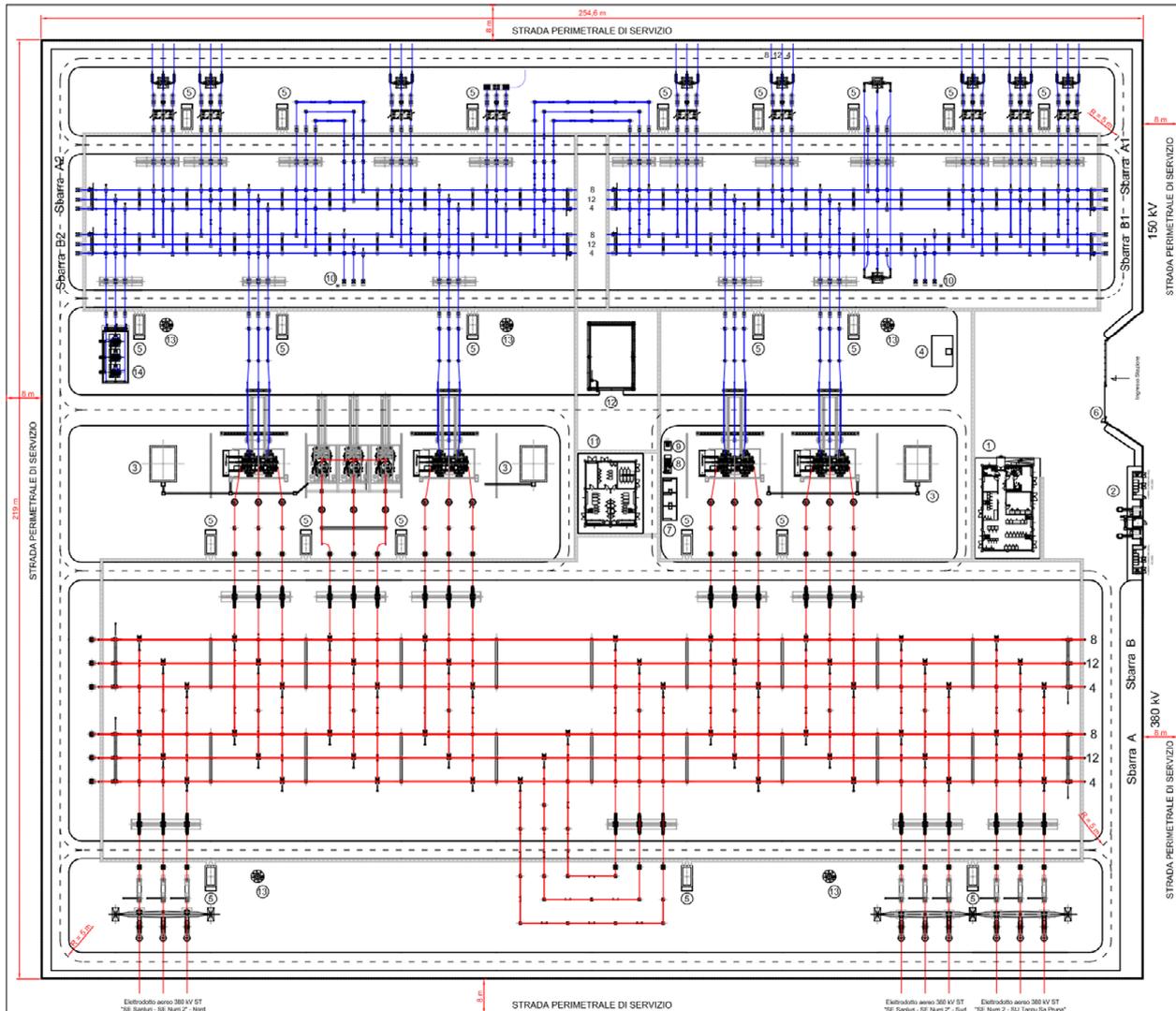


Figura 2 - Planimetria SE Nurri

5.1.2 Apparecchiature

Le principali apparecchiature costituenti il nuovo impianto sono interruttori, sezionatori per connessione delle sbarre AT, sezionatori sulla partenza linee con lame di terra, scaricatori di sovratensione ad ossido metallico a protezione degli autotrasformatori, trasformatori di tensione e di corrente per misure e protezioni, bobine ad onde convogliate per la trasmissione dei segnali (si veda la tavola delle Sezioni elettromeccaniche (cod. G929_DEF_T_041_RTN_sez_em_SE_N_x-4_REV00).

Le principali caratteristiche tecniche complessive della stazione saranno le seguenti:

- Tensione massima sezione 380 kV 420 kV
- Tensione massima sezione 150 kV 170 kV
- Frequenza nominale 50 Hz



- Correnti limite di funzionamento permanente:
 - Sbarre 380 kV 4000 A
 - Stalli linea 380 kV 3150 A
 - Stallo di parallelo sbarre 380 kV 3150 A
 - Stallo ATR 380 kV 2000 A
 - Sbarre 150 kV 2000 A
 - Stalli linea 150 kV 1250 A
 - Stallo di parallelo sbarre 150 kV 2000 A
 - Stallo ATR 150 kV 2000 A
 - Potere di interruzione interruttori 380 kV 50 kA
 - Potere di interruzione interruttori 150 kV 31.5 kA
 - Corrente di breve durata 380 kV 50 kA
 - Corrente di breve durata 150 kV 31.5 kA
 - Condizioni ambientali limite -25/+40 °C

5.2 VALUTAZIONE DELLA FASCE DI RISPETTO

La metodologia di calcolo utilizzata è basata sull'algorithmo bidimensionale normalizzato nella CEI 211-4. In particolare il campo di induzione magnetica viene simulato utilizzando un algoritmo numerico basato sulla legge di Biot-Savart, mentre il campo elettrico viene simulato a mezzo di calcoli basati sul metodo delle cariche immagini. Alla frequenza di rete (50 Hz), il regime elettrico è di tipo quasi stazionario, e ciò permette la trattazione separata degli effetti delle componenti del campo elettrico e del campo magnetico. Questi ultimi in un punto qualsiasi dello spazio in prossimità di un elettrodotto trifase sono le somme vettoriali dei campi originati da ciascuna delle tre fasi e sfasati fra loro di 120°. In questo caso il calcolo è bidimensionale, e viene modellizzato considerando conduttori di lunghezza infinita e con direzione perfettamente ortogonale al piano.

Per i calcoli è stato utilizzato il programma di simulazione "EMF Tools 4.2.2" sviluppato per TERNA dal CESI procedendo sia al calcolo della fascia di rispetto, e di conseguenza determinando la DPA, sia al calcolo del campo elettrico a 1m dal suolo. Per le fasce di rispetto, sono utilizzati i seguenti dati:

- Portata di corrente massima per ciascun elemento;
- Diametro, materiali e disposizioni geometriche come da progetto;
- Profondità/altezza dei conduttori rispetto al suolo;

L'ipotesi fondamentale alla base del calcolo delle fasce di rispetto consiste nel calcolare il campo elettromagnetico generato dai due gruppi sbarre a 380 kV e a 150 kV, considerando la portata massima di corrente che scorre con verso concorde tra le sbarre stesse. Tale ipotesi è fortemente cautelativa poiché la probabilità che nei 4 gruppi sbarra circoli la corrente massima ammissibile in senso concorde è del tutto



irrealistica. Inoltre si sottolinea come, in generale, Terna (ente gestore della RTN) ha dimostrato che generalmente la fascia DPA rimane all'interno della stazione con qualsiasi condizione di corrente circolante). Entrando nel merito del calcolo, mediante il software EMF Tools 4.2.2, si sono calcolate le curve equilivello del campo magnetico.

In particolare, nella sezione vengono modellate le 4 sbarre, come da configurazione geometrica seguente:



Figura 3 - Sezione di calcolo A-A riportata in planimetria.

Ogni gruppo sbarre della sezione 380kV ha distanze reciproche di 5.50 m, mentre i due gruppi distano fra loro 22 m. Esse sono posizionate a 13.8 m dal suolo. A più di 125 m dal primo gruppo sbarre sono ubicate quelle a 150 kV, con un'altezza dal suolo di 7.5 m, distanze reciproche tra le sbarre 2,20m e un interasse di 10,4 m.

La portata di corrente è quella massima prevista su ciascuna sbarra e la disposizione delle fasi su ciascun gruppo sbarra, partendo da sinistra verso destra è la seguente: 4-12-8.

Il campo elettromagnetico generato è dato dalla somma delle seguenti 4 configurazioni:

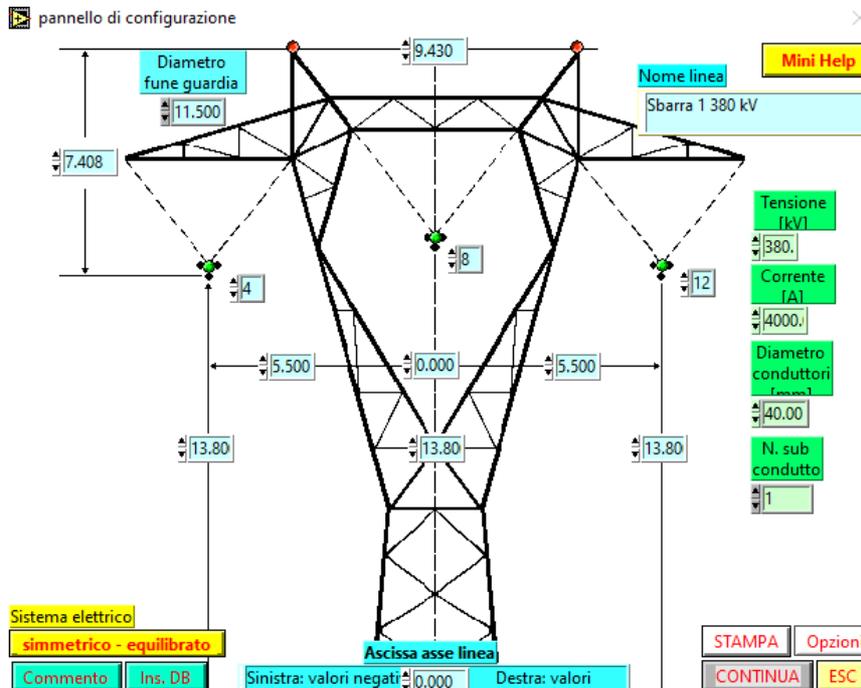


Figura 4. Configurazione geometrica sbarra 1.

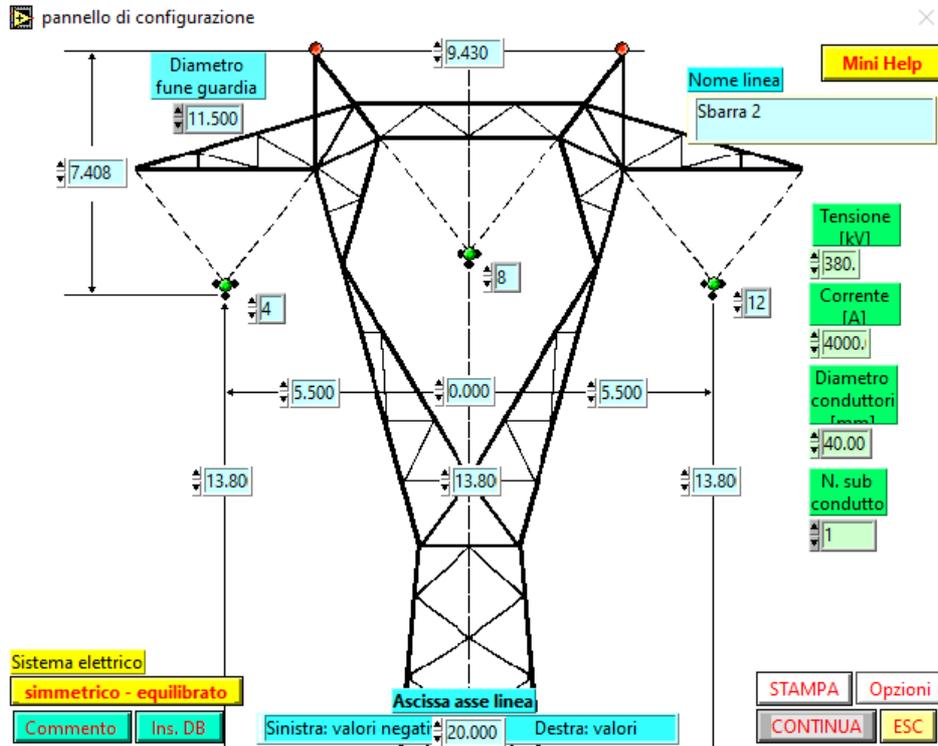


Figura 5. Configurazione geometrica sbarra 2.

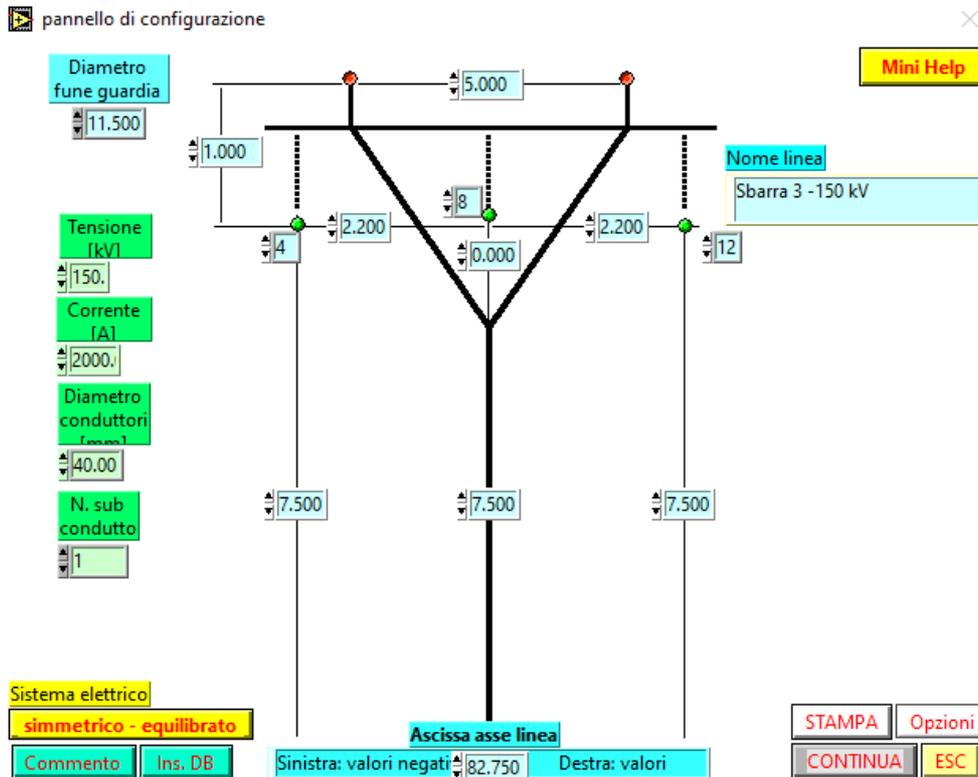


Figura 6. Configurazione geometrica sbarra 3.

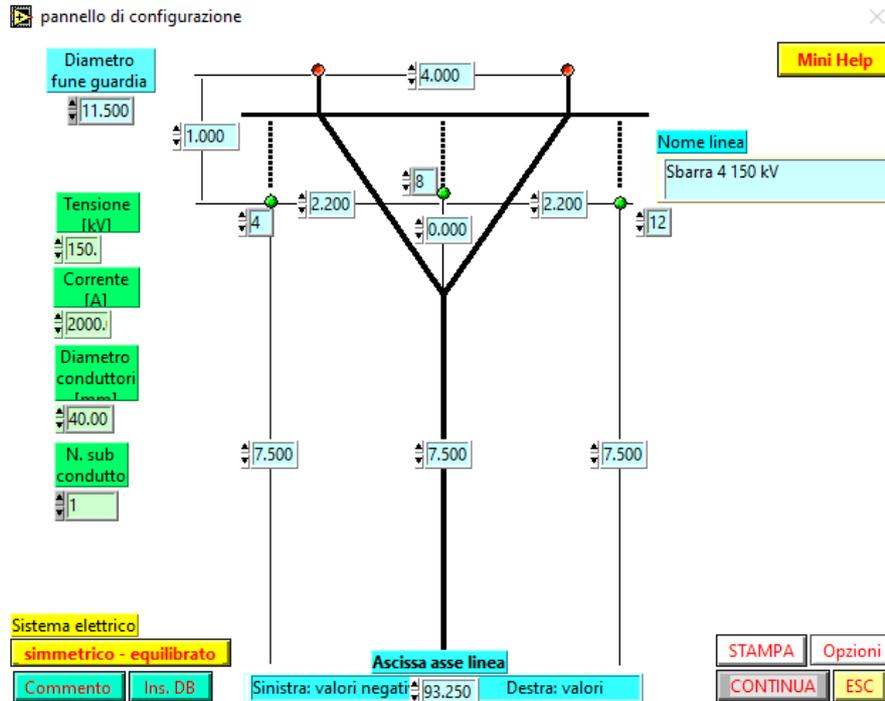


Figura 7. Configurazione geometrica sbarra 4.

Ovviamente nelle figure precedenti è riportata la sagoma di un traliccio, unica rappresentazione schematica presente nel software di calcolo, quindi con la presenza anche di funi di guardia, totalmente ininfluenti ai fini del calcolo. Nella figura sottostante si riportano le curve isolivello del campo elettromagnetico generato, ponendo la progressiva 0 in corrispondenza della sbarra centrale 1:

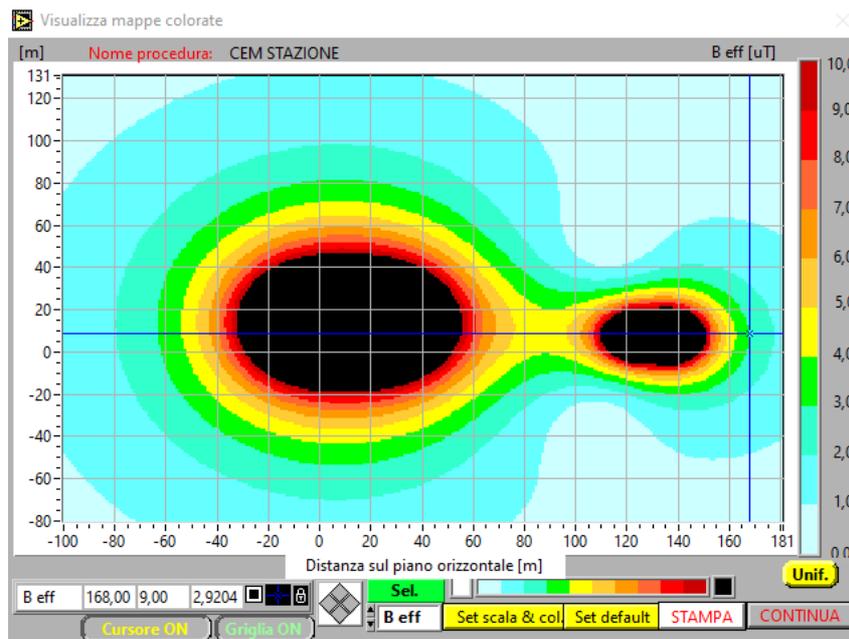


Figura 8. Campo elettromagnetico generato dalle 4 sbarre con verso della corrente concorde.



Come si può notare dalla figura soprastante, l'ampiezza della fascia APA ha estensione di 168 m verso destra dal centro della sbarra 1, mentre verso sinistra è pari a 65m. Internamente alle sbarre il campo è sempre maggiore di $3 \mu\text{T}$.

Mediante queste simulazioni si è potuto rappresentare l'area caratterizzata da valori del campo elettromagnetico superiore a μT in caso di circolazione della corrente massima nelle sbarre con verso concorde nei gruppi sbarra a 150 e 380 kV:

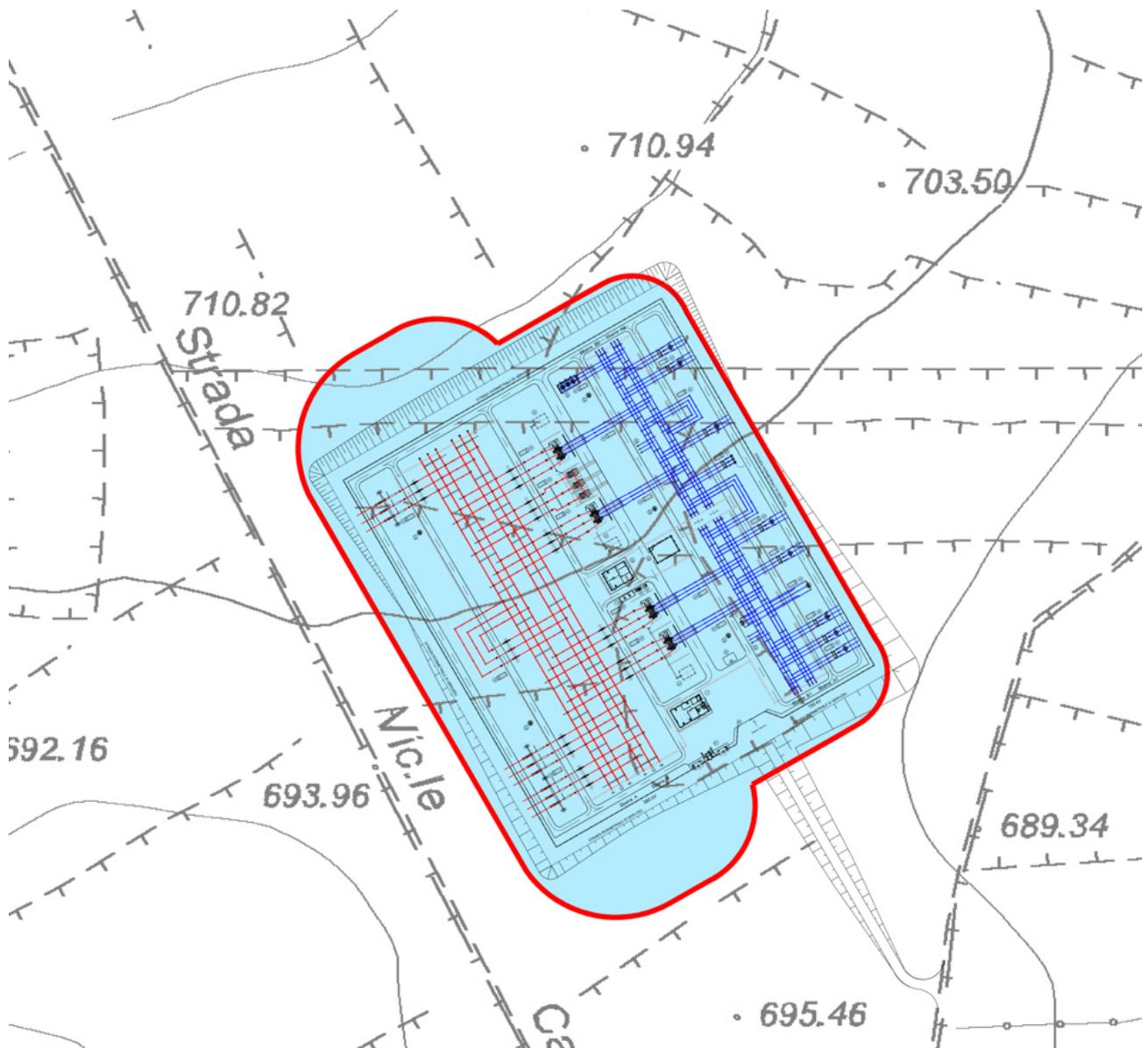


Figura 10. Planimetria con indicazione dell'isolinesa a $3 \mu\text{T}$ (linea color magenta)



5.3 RISULTATI DELLO STUDIO PREVISIONALE CAMPI ELETROMAGNETICI

5.3.1 Campi magnetici

Per quanto evidenziato nei riferimenti, i livelli d'induzione magnetica, corrispondenti ai valori di corrente presunta circolanti negli stalli e nelle sbarre, confermano che i valori rientrano entro le soglie legislative di riferimento.

Si evidenzia come, anche con le correnti nominali, gli effetti dovuti alla stazione, al di fuori della sua recinzione determinano in generale valori del campo magnetico B inferiori a 10 μ T ed in generale rispettano gli obiettivi di qualità dei 3 μ T nei confronti degli edifici limitrofi.

Si evidenzia che i calcoli sono stati effettuati con riferimento a condizioni cautelative, prendendo per la sezione AT a 380 kV la corrente nominale delle sbarre (4000 A) e per la sezione a 150 kV una corrente massima di 2000 A. Da questo contesto vengono escluse le fasce delle linee afferenti alla stazione, per le quali le DPA si sviluppano nel percorso delle linee stesse, come evidenziato nei documenti di progetto dedicati agli elettrodotti.

5.3.2 Campi elettrici

Per i campi elettrici, considerati i livelli di tensione, la disposizione dei conduttori e gli schermi delle varie parti presenti nelle zone di impianto, vengono confermati i modelli disponibili sulla letteratura tecnica, i calcoli effettuati evidenziano che non vengono superati i valori limite di 5 kV/m, ancor meno al di fuori della recinzione di stazione.



6 CONSIDERAZIONI FINALI

Il metodo di calcolo adottato e le scelte cautelative operate sono conformi alle indicazioni del Decreto Ministeriale 29/05/2008 “Approvazione delle metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto”.

In conclusione, l'analisi effettuata ha permesso di evidenziare il pieno rispetto dell'obiettivo di qualità dettato dal DPCM del 8 luglio 2003.

È stato inoltre dimostrato il rispetto del limite di esposizione per il campo elettrico, così come fissato nel DPCM del 8 luglio 2003.