

ALFI GREEN S.R.L.

Impianto Agrivoltaico Avanzato denominato “Bandissolo” da 24.979,5 kWp, abbinato a un sistema di accumulo elettrochimico da 12.000 kW, opere connesse ed infrastrutture indispensabili

Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)

Progetto Definitivo Impianto Agrivoltaico Avanzato combinato con SdA e Opere Elettriche di Utenza

Allegato 04 - Calcolo dei campi elettromagnetici

Rev 0 – Novembre 2024

Professionista incaricato: Ing. Daniele Cavallo – Ordine Ingegneri Prov. Brindisi n. 1220

INDICE

1.	PREMESSA.....	3
2.	NORMATIVA	5
3.	CAMPO MAGNETICO.....	6
3.1	POWER STATION (CABINE DI CONVERSIONE).....	6
3.2	DORSALI 36 KV.....	6
3.2.1	RISULTATI SEZIONE 1	8
3.2.2	RISULTATI SEZIONE 2	10
3.3	CABINA UTENTE	11
3.4	LINEA 36 KV.....	12
3.4.1	RISULTATI	13
4.	CONCLUSIONI.....	15

Questo documento è di proprietà di Alfi Green S.r.l. e il detentore certifica che il documento è stato ricevuto legalmente. Ogni utilizzo, riproduzione o divulgazione del documento deve essere oggetto di specifica autorizzazione da parte di Alfi Green S.r.l.

1. PREMESSA

La società ALFI GREEN S.r.l. intende realizzare un impianto Agrivoltaico Avanzato ai sensi della normativa vigente, della potenza di 24.979,5 kWp, abbinato a un sistema di accumulo elettrochimico da circa 12.000 kW (di seguito denominato "Impianto"), che sarà situato nel comune di Argenta (FE). Limitatamente alle opere connesse sarà anche interessato il comune di Portomaggiore (FE).

Il progetto "**Bandissolo**", avrà una potenza complessiva in immissione pari a 30.000 kW e sarà collegato in antenna a 36 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto - Ravenna Canala" e alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore - Bando", come indicato dal Gestore di rete nella soluzione tecnica minima generale per la connessione (STMG), trasmessa alla Società il 26 agosto 2024 e formalmente accettata il 13 settembre 2024.

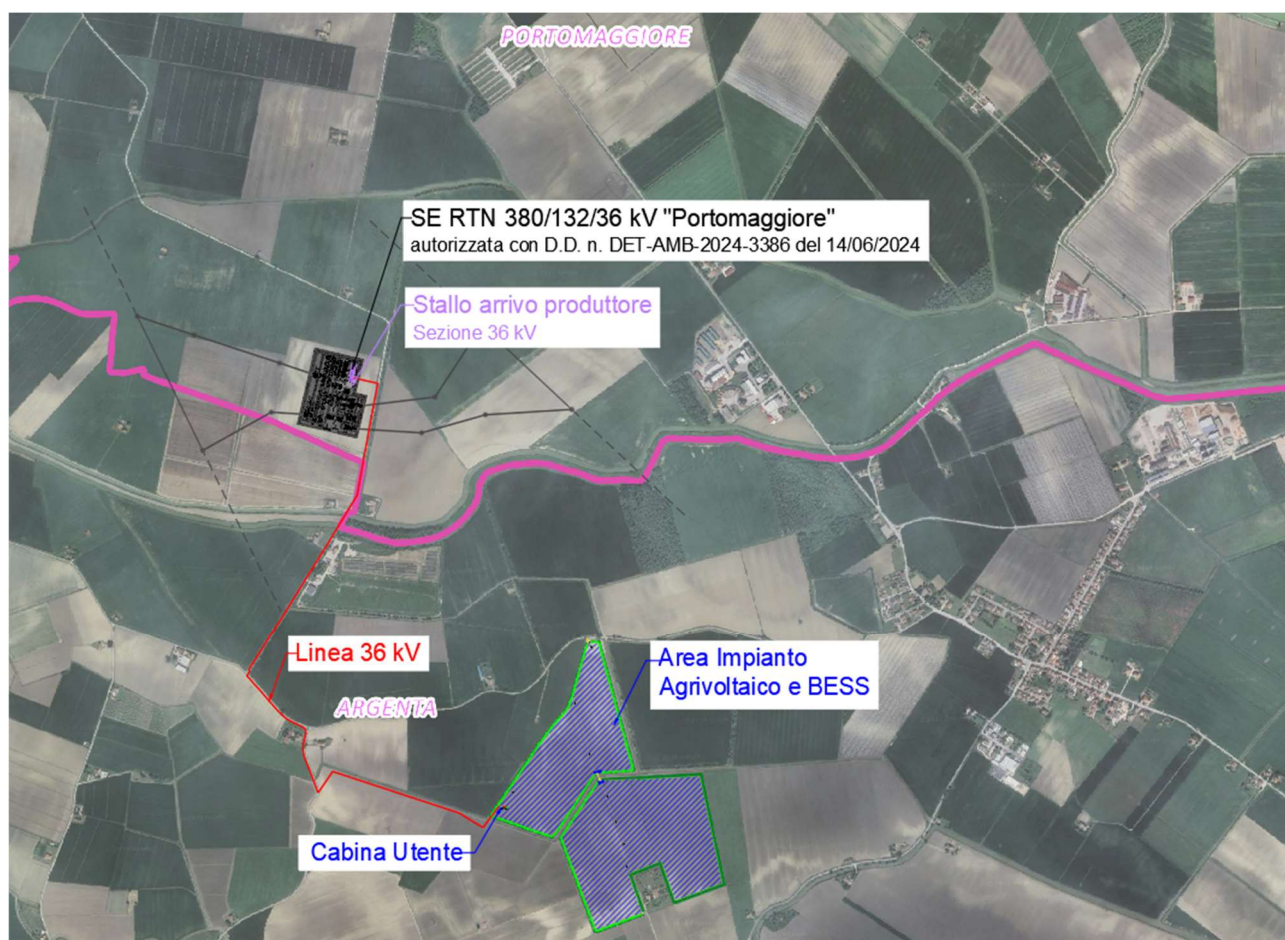


Figura 1-1: Inquadramento delle opere progettuali su ortofoto

Le opere progettuali dell'impianto si possono così sintetizzare:

1. Impianto agrivoltaico– ubicato nel comune di Argenta (FE), sarà costituito da moduli fotovoltaici bifacciali e realizzato con strutture fisse orientate est-ovest. L'impianto è progettato per soddisfare pienamente i requisiti di impianto agrivoltaico avanzato ai sensi delle (i) Linee Guida sugli impianti agrivoltaici, pubblicate dal Ministero della Transizione Ecologica (MiTE) a giugno 2022, (ii) Norma tecnica CEI PAS 82-93 "Impianti Agrivoltaici", emanata a dicembre 2023, nonché (iii) del Decreto del Ministero dell'Ambiente della Sicurezza Energetica del 22 dicembre 2023 N.436 (DM Agrivoltaico) recante le disposizioni per l'incentivazione della realizzazione dei sistemi agrivoltaici di natura sperimentali in attuazione dell'articolo 114 comma 1 del D.Lgs. N.199 del 2021

ed in coerenza con le misure di sostegno agli investimenti previste dal piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR), e relative a regole operative emanate dal GSE. La potenza complessiva sarà pari a 24,98 MWp;

2. Sistema di accumulo elettrochimico (di seguito "BESS" o "SdA") – di tipo distribuito, sarà integrato all'interno dell'impianto agrivoltaico e interconnesso con lo stesso. Il sistema avrà una potenza di circa 12 MW, con una capacità di stoccaggio pari a 4 h;

3. Linee in cavo interrato a 36 kV (di seguito "Dorsali 36 kV") – collegheranno l'impianto fotovoltaico e le BESS alla cabina elettrica a 36 kV;

4. Cabina elettrica a 36 kV (di seguito "Cabina Utente") – sarà di proprietà della società e verrà posizionata all'interno dell'Impianto;

5. Linea in cavo interrato a 36 kV (di seguito "Linea 36 kV") – collegherà la Cabina Utente alla sezione a 36 kV della futura SE RTN 380/132/36 kV della RTN denominata "Portomaggiore", di proprietà di Terna. Tale linea si svilupperà per una lunghezza di circa 2,7 km;

6. Stallo a 36 kV (di seguito "Impianto di Rete") - consisterà nello stallo di arrivo produttore all'interno della sezione a 36 kV della nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto – Ravenna Canala" e alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore – Bando".

Il progetto della stazione Terna di "Portomaggiore" e dei relativi raccordi linea è già stato benestariato dal Gestore di Rete Terna S.p.A. , ed autorizzato dagli enti competenti con D.D. n. DET-AMB-2024-3386 del 14/06/2024 rilasciata dall'ARPAE Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna. Il progetto autorizzato della SE RTN 380/132/36 kV e dei relativi raccordi linea, pertanto, non fa parte delle opere da autorizzarsi con la presente istanza.

L'impianto è completamente situato all'interno di "aree idonee" come definite dall'art. 20, comma 8, lettera c-quater del D.Lgs. 199/2021 e successive modifiche. Di conseguenza, il progetto è soggetto a una procedura autorizzativa semplificata, prevista dall'art. 22 dello stesso decreto legislativo e ss.mm.ii.

Questa relazione riassume i risultati dello studio dei campi elettromagnetici relativi alle cabine di conversione posizionate all'interno dell'Impianto, alle Dorsali 36 kV, alla Cabina Utente e alla Linea 36 kV, come descritto ai punti 1, 3, 4 e 5, in conformità ai limiti di esposizione per la protezione della popolazione fissati dal DPCM 8 luglio 2003.

2. NORMATIVA

Il **DPCM 8 luglio 2003** stabilisce i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per proteggere la popolazione dai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz). Questi limiti, specifici per le basse frequenze, sono riassunti nella seguente tabella:

Tabella 2-1: Valori limite di esposizione ai campi elettrici e magnetici secondo il DPCM 8/07/2003

Parametro	Campo Elettrico [kV/m]	Induzione Magnetica [μ T]
Limite di esposizione	5	100
Valore di attenzione	-	10
Obiettivo di qualità	-	3

Il decreto specifica che i valori di esposizione al campo elettrico e magnetico devono essere espressi come valori efficaci. Per il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità, l'induzione magnetica deve essere considerata come mediana dei valori misurati nell'arco di 24 ore in condizioni normali di esercizio, in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, scolastici o in luoghi con permanenze superiori a quattro ore giornaliere.

È importante notare che questi limiti non si applicano ai lavoratori professionalmente esposti che operano nei settori della costruzione, manutenzione o gestione delle infrastrutture elettriche, poiché per tali figure sono previste normative specifiche.

I campi a frequenza estremamente bassa (ELF), come quelli generati dagli elettrodotti, sono composti da due componenti distinte:

- **Campo elettrico**, prodotto dalla presenza di cariche elettriche o tensioni, direttamente proporzionale al valore della tensione di linea.
- **Campo magnetico**, generato dalle correnti elettriche.

Nell'impianto in esame, non sono presenti condutture aeree, e tutti i componenti, inclusi cavi, quadri elettrici, gruppi di conversione, cabine di trasformazione e cabine batterie, sono dotati di schermatura e involucro metallico collegato a terra, che garantiscono una completa schermatura delle emissioni verso l'esterno. Di conseguenza, i limiti di esposizione per il campo elettrico risultano automaticamente soddisfatti.

Nei capitoli seguenti vengono descritti i calcoli effettuati per determinare i campi magnetici associati alle diverse componenti dell'impianto.

3. CAMPO MAGNETICO

Lo studio dei campi elettromagnetici è stato articolato considerando le seguenti sorgenti principali:

1. **Cabine di conversione (Power Stations):** queste strutture, situate all'interno dell'Impianto Agrivoltaico, comprendono un inverter, un trasformatore e un quadro elettrico a 36 kV. L'inverter ha il compito di convertire la potenza generata in corrente continua dai moduli fotovoltaici alla frequenza di rete, mentre il trasformatore innalza la tensione al livello di 36 kV richiesto per il sistema;
2. **Dorsali 36 kV:** Le dorsali 36 kV garantiranno il collegamento tra l'impianto fotovoltaico, i sistemi BESS e la cabina elettrica a 36 kV. I cavi saranno installati in configurazione a terna e interrati a una profondità di 1,2 metri. Il tracciato delle dorsali è chiaramente illustrato nella Tav02_22a, intitolata "Planimetria – Tracciato Dorsali 36 kV e tipico posa cavi";
3. **Cabina Utente 36 kV:** localizzata all'interno dell'impianto, la Cabina Utente 36 kV è situata in un'area non accessibile al pubblico. Al suo interno si trova un edificio in muratura che ospita il quadro elettrico destinato a raccogliere le dorsali a 36 kV. Da questa cabina parte la linea a 36 kV che connette l'impianto alla stazione RTN;
4. **Linea in cavo interrato a 36 kV:** questa linea collega la Cabina Utente allo stallo di arrivo produttore nella sezione a 36 kV della futura stazione RTN 380/132/36 kV denominata "Portomaggiore". Si tratta di una linea interrata costituita da una terna di cavi a 36 kV, progettata per garantire un collegamento sicuro ed efficiente tra le infrastrutture dell'impianto e la rete RTN. Il tracciato seguito dalla Linea 36 kV è chiaramente identificabile alla Tav02_22b "Planimetria – Tracciato Linea 36 kV e tipico posa cavi".

3.1 POWER STATION (CABINE DI CONVERSIONE)

Le cabine di conversione sono collocate interamente all'interno dell'area dell'impianto agrivoltaico, in zone riservate esclusivamente ai lavoratori autorizzati, che svolgono attività professionali. Secondo quanto stabilito dall'articolo 1 del DPCM 8 luglio 2003, per i lavoratori non si applicano i limiti di esposizione, il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità fissati per la protezione della popolazione.

Sulla base della metodologia definita dal DPCM 29 maggio 2008 (punto 5.2.1) e utilizzando la formula riportata, la Distanza di Prima Approssimazione (DPA) relativa all'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ è stimata in pochi metri, generalmente inferiori a 10 m, per una cabina di conversione prefabbricata conforme agli standard nazionali indicati nel decreto. Nel progetto agrivoltaico in esame, le cabine di conversione sono posizionate ad almeno 50m dalle aree esterne, anche nel caso più sfavorevole. Di conseguenza, la fascia di rispetto rientra interamente nell'area di pertinenza dell'impianto.

3.2 DORSALI 36 KV

Per il collegamento di ciascun gruppo di trasformazione al quadro installato nella Cabina Utente, sarà realizzata una rete a 36 kV mediante cavi direttamente interrati. Per il presente studio, sono state selezionate due sezioni all'interno dell'impianto agrivoltaico che rappresentano le condizioni più gravose, caratterizzate dalla massima corrente e dal massimo numero di terne affiancate.

Le dorsali saranno interrate a una profondità di circa 1,2 metri, con una configurazione a trifoglio, come illustrato di seguito.

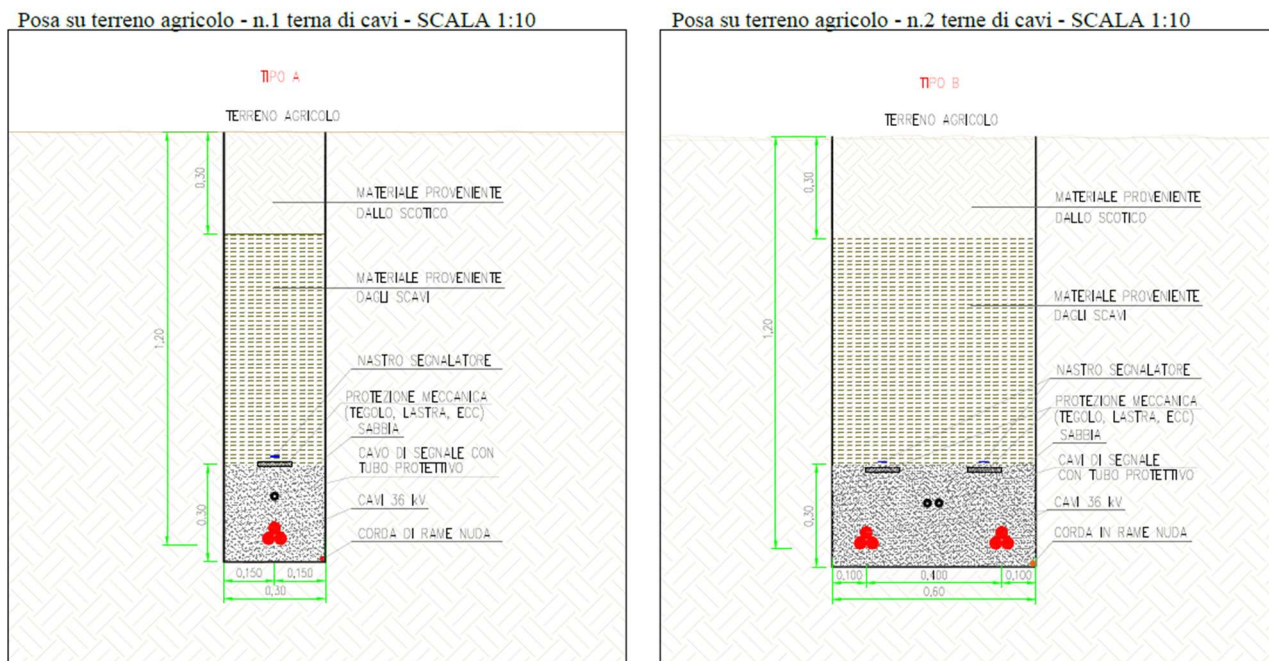


Figura 3-1: Modalità di posa cavi Dorsali 36 kV

Il calcolo del campo magnetico associato alle dorsali a 36 kV è stato eseguito utilizzando un software conforme ai metodi standardizzati dal Comitato Elettrotecnico Italiano, in particolare alla norma CEI 211-4: "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche" (Luglio 1996).

Per le dorsali interrate, è stato adottato un modello bidimensionale che analizza il comportamento del campo magnetico in sezioni rappresentative dei tracciati. I cavi sono stati considerati posati a una profondità di 1,2 metri, con una disposizione a trifoglio, trascurando l'attenuazione offerta dallo schermo metallico dei cavi.

Il valore del campo magnetico è stato determinato al livello del suolo, in conformità con l'articolo 5 del DPCM 8 luglio 2003 e la guida CEI 211-6. Per il calcolo, sono stati presi in considerazione i valori massimi di corrente generati da ciascuna power station connessa alle dorsali a 36 kV.

Le assunzioni adottate sono di natura prudenziale, tenendo conto che la corrente generata dai sistemi può variare significativamente in base alle condizioni meteorologiche durante il giorno. Secondo il DPCM citato, i limiti del campo magnetico devono essere intesi come il valore mediano registrato nelle 24 ore, durante le normali condizioni operative.

Tabella 3.1: Dati di progetto per la valutazione del campo magnetico

Sezione	Descrizione	Dorsali/Tratta	Numero Power Station Connesse	Corrente max (A)
Sezione 1	Sezione attraversata dalle Dorsali 1 e 2	C03 - CU	3	212
		C07 - CU	4	283
Sezione 2	Sezione attraversata dalla Dorsale 2	C07 - CU	4	283

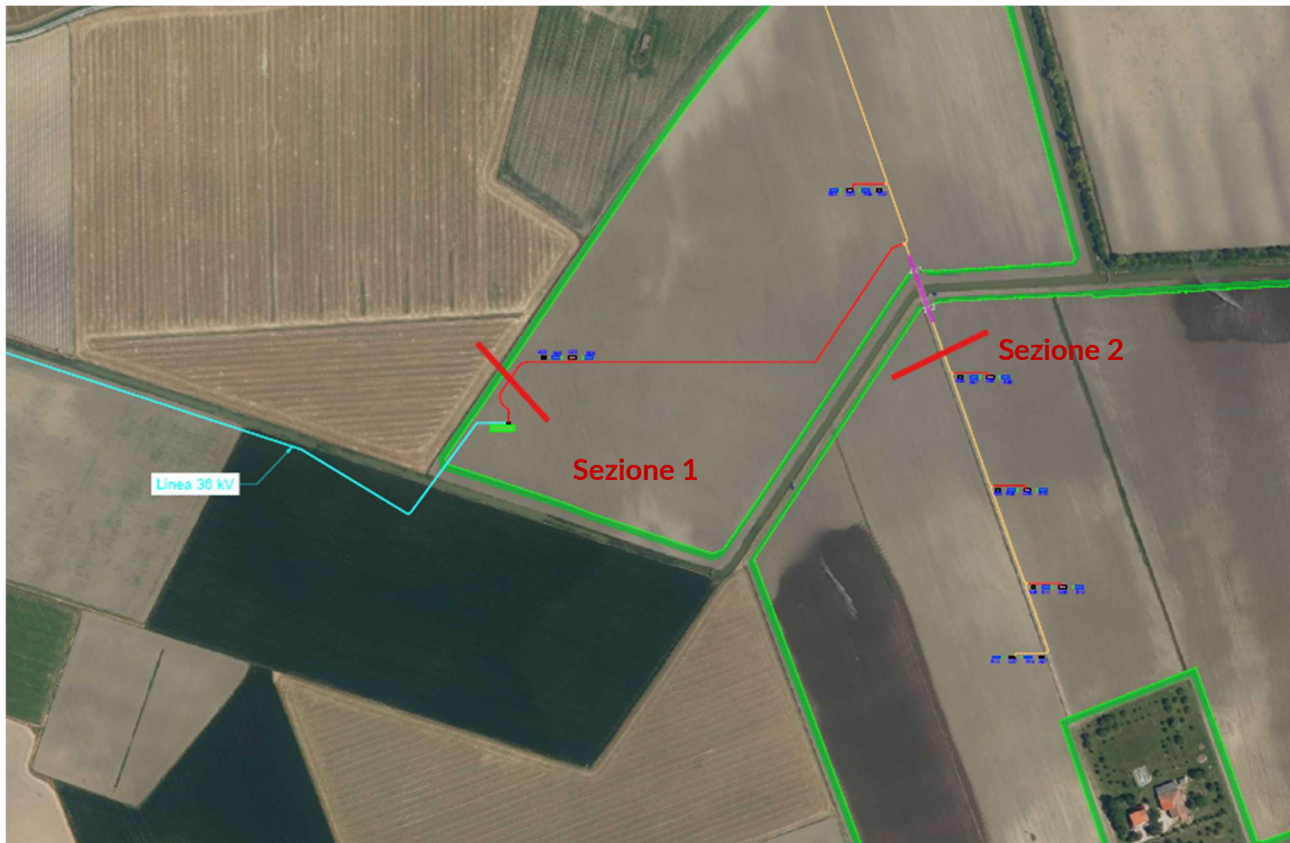


Figura 3-2: Sezioni di studio

3.2.1 RISULTATI SEZIONE 1

L'analisi del campo magnetico generato, calcolato al livello del suolo, indica che l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ viene superato fino a una distanza di circa 0.9 metri dall'asse dello scavo.

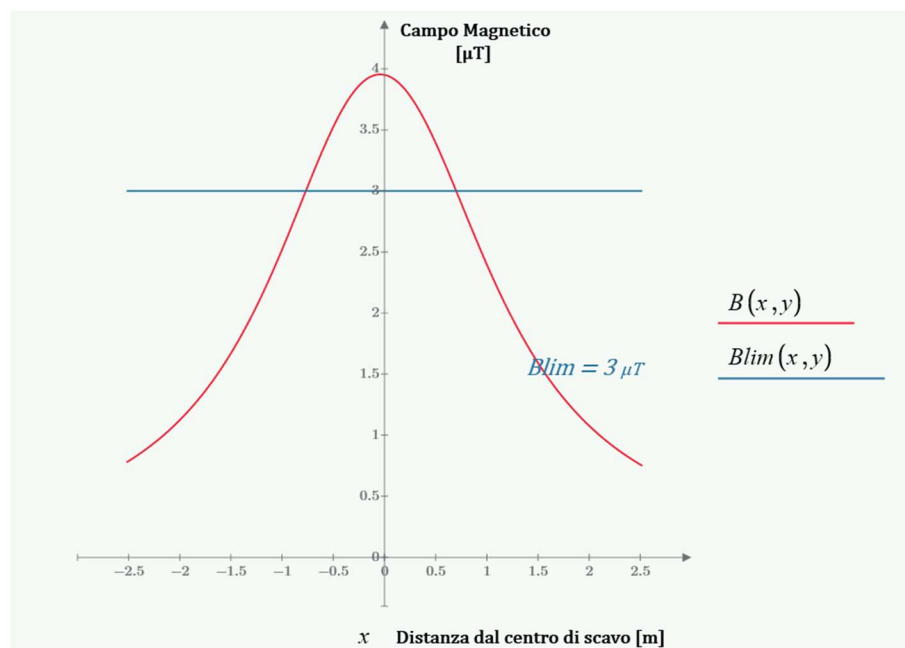


Figura 3-3: Andamento del campo magnetico calcolato al suolo

La DPA per il campo magnetico, calcolata alla profondità di installazione dei cavi interrati, risulta pari a 1,5 metri. Questo significa che, rispetto all'asse dello scavo, il campo magnetico eccede l'obiettivo di qualità di $3 \mu T$ fino a una distanza di 1,5 metri.

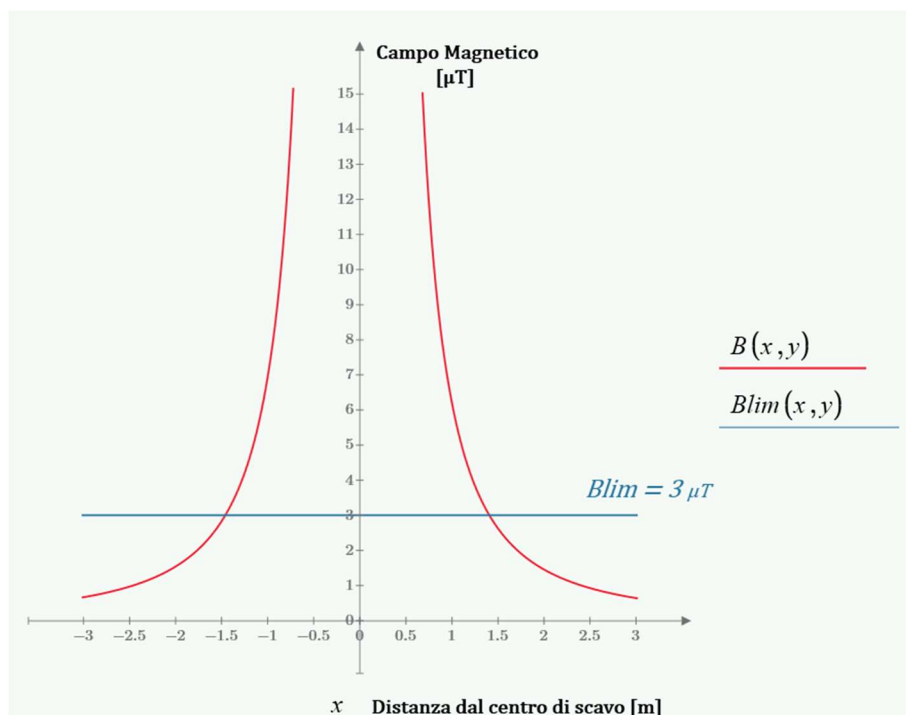


Figura 3-4: Andamento del campo magnetico calcolato alla profondità di posa

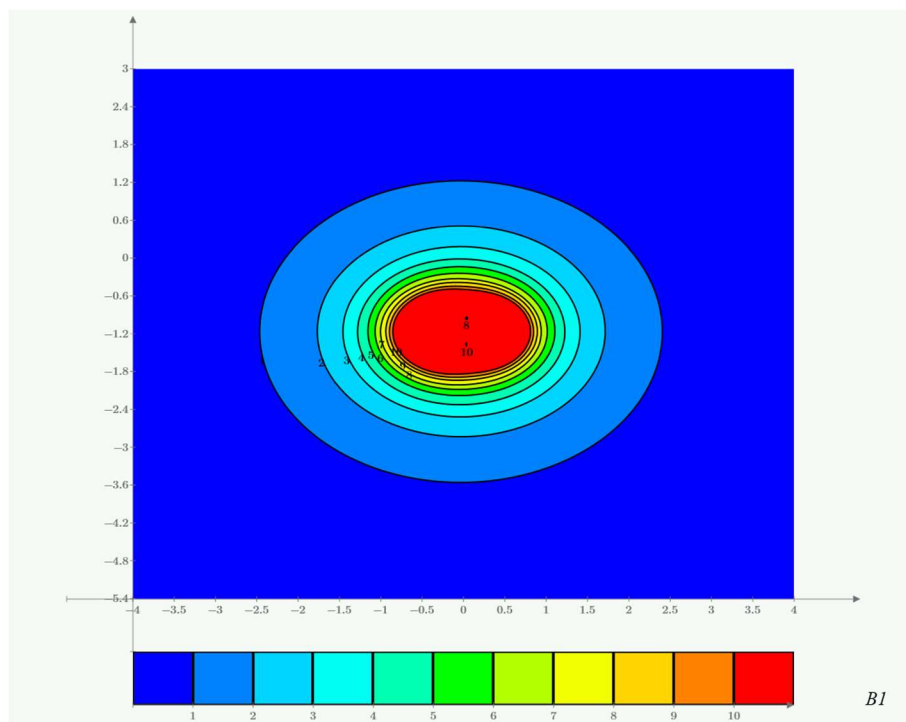


Figura 3-5: Andamento del campo magnetico intorno al cavo per il calcolo della DPA

3.2.2 RISULTATI SEZIONE 2

Per la sezione 2, l'analisi del campo magnetico al livello del suolo mostra che l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ è superato fino a una distanza di circa 0,9 metri dall'asse dello scavo.

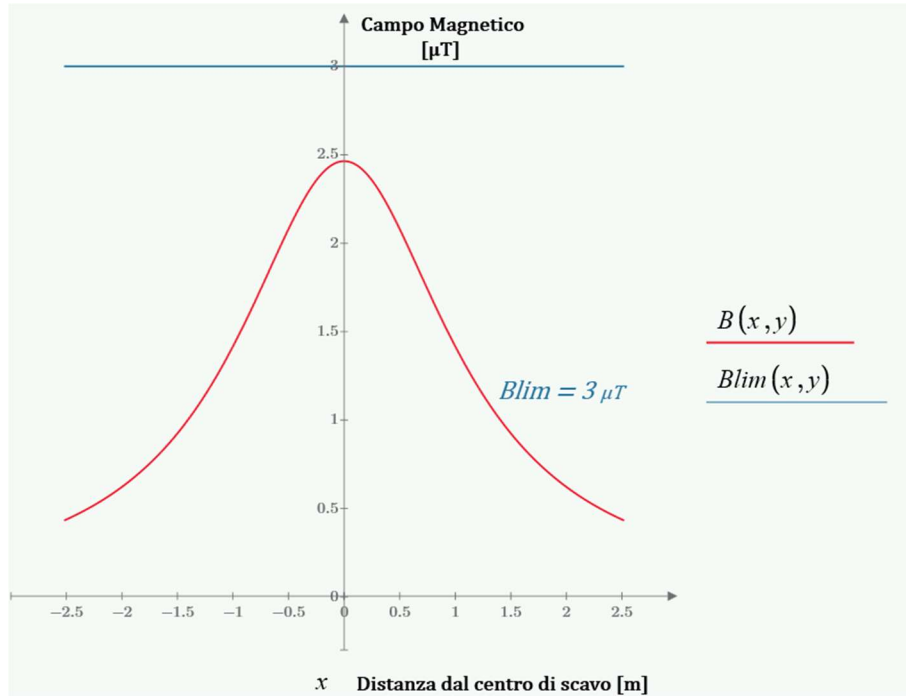


Figura 3-6: Andamento del campo magnetico calcolato al suolo

La DPA per il campo magnetico, determinata alla profondità di posa dei cavi interrati, è pari a 1,1 metri. Questo indica che il campo magnetico supera l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ fino a una distanza di 1,1 metri dall'asse dello scavo.

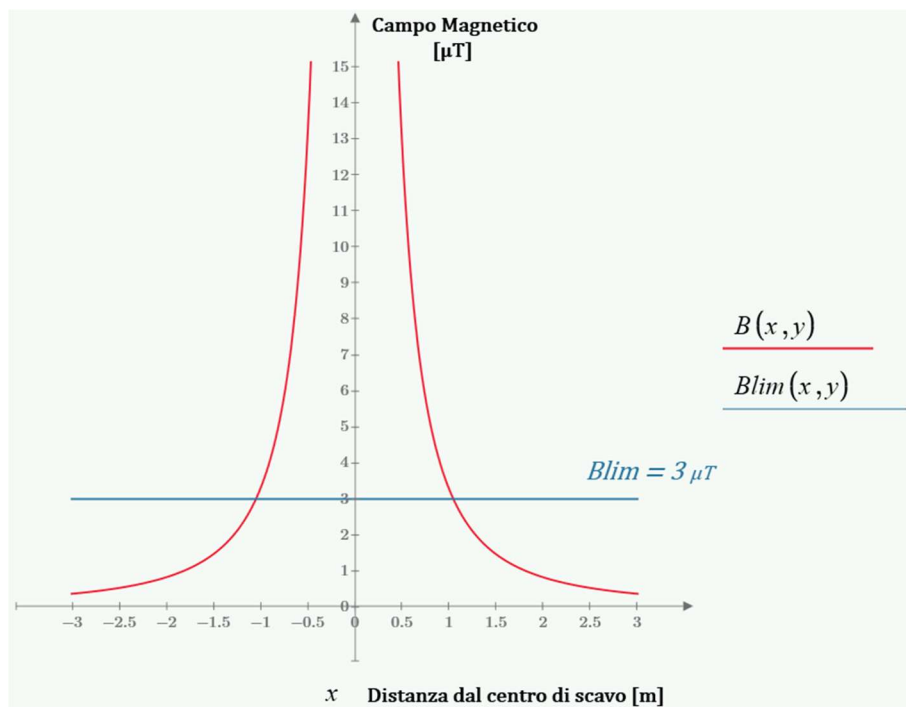


Figura 3-7: Andamento del campo magnetico calcolato alla profondità di posa

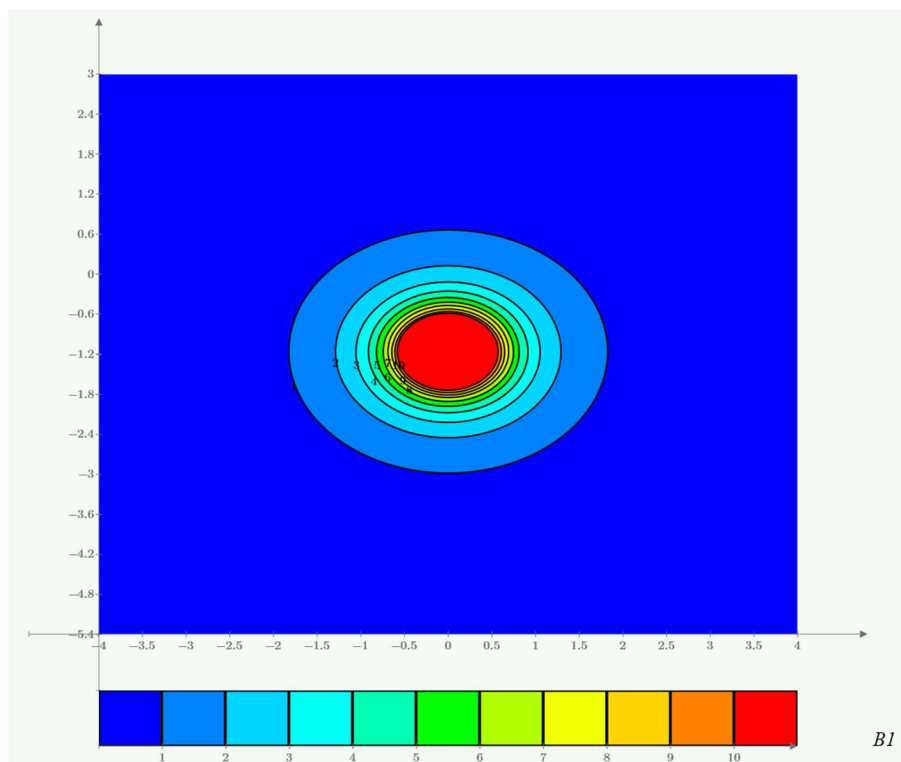


Figura 3-8: Andamento del campo magnetico intorno al cavo per il calcolo della DPA

3.3 CABINA UTENTE

La Cabina Utente è situata all'interno della recinzione dell'impianto agrivoltaico, in un'area non accessibile al pubblico. Essa ospita un edificio in muratura al cui interno è installato un quadro elettrico a 36 kV, al quale si collegano le dorsali a 36 kV provenienti dal parco fotovoltaico e la linea in cavo interrato per la connessione alla stazione RTN. Inoltre, l'edificio include un piccolo trasformatore ausiliario dedicato all'alimentazione dei servizi interni della cabina.

Il quadro elettrico, composto da un sistema di sbarre, interruttori e sezionatori, è completamente segregato in un involucro metallico collegato a terra, che assicura una schermatura totale del campo elettrico verso l'esterno, rispettando pienamente i requisiti normativi.

Per quanto riguarda il campo magnetico, le principali sorgenti da considerare sono i cavi a 36 kV che si attestano al quadro elettrico. Di conseguenza, le fasce di rispetto, il cui calcolo è trattato al punto **3.3**, possono essere applicate anche all'interno della Cabina Utente.

Per valutare l'effetto del trasformatore ausiliario, si fa riferimento alla metodologia indicata nel **DM 29 maggio 2008**, che considera come principali sorgenti di campo magnetico le condutture in bassa tensione del trasformatore. La tabella presente nel decreto definisce la **Distanza di Prima Approssimazione (DPA)** per l'obiettivo di qualità di **3 μ T**, in relazione alla potenza nominale del trasformatore.

Nel caso in esame, poiché il trasformatore ausiliario avrà una potenza nettamente inferiore a 250 kVA, la DPA risulta inferiore a 1 metro dal box trasformatore, rimanendo chiaramente confinata all'interno dell'edificio, senza coinvolgere aree esterne o accessibili.

Diametro dei cavi (m)	Tipologia trasformatore (kVA)	Corrente (A)	Dpa (m)
0.010	250	361	1
	400	578	1
	630	909	1.5
0.012	250	361	1
	400	578	1.5
	630	909	1.5
0.014	250	361	1
	400	578	1.5
	630	909	1.5
0.018	250	0.947	1.5
	400	1.199	1.5
	630	1.503	2
0.022	250	361	1.5
	400	578	1.5
	630	909	2
0.027	250	361	1.5
	400	578	2
	630	909	2.5
0.035	250	361	1.5
	400	578	2
	630	909	2.5

Figura 3-9: Stratto D.M. 29.05.2008 – DPA per l'obiettivo di qualità 3 μ T

3.4 LINEA 36 KV

Questa linea collegherà la Cabina Utente allo stallo di arrivo produttore nella sezione a 36 kV della futura stazione RTN 380/132/36 kV "Portomaggiore" e sarà realizzata tramite una terna di cavi interrati a 36 kV. Poiché responsabile del trasporto dell'intera potenza generata dall'impianto, rappresenta lo scenario più gravoso in termini di emissioni di campo magnetico.

La linea sarà posata a una profondità di circa 1,2 metri, con configurazione a trifoglio, come illustrato di seguito.

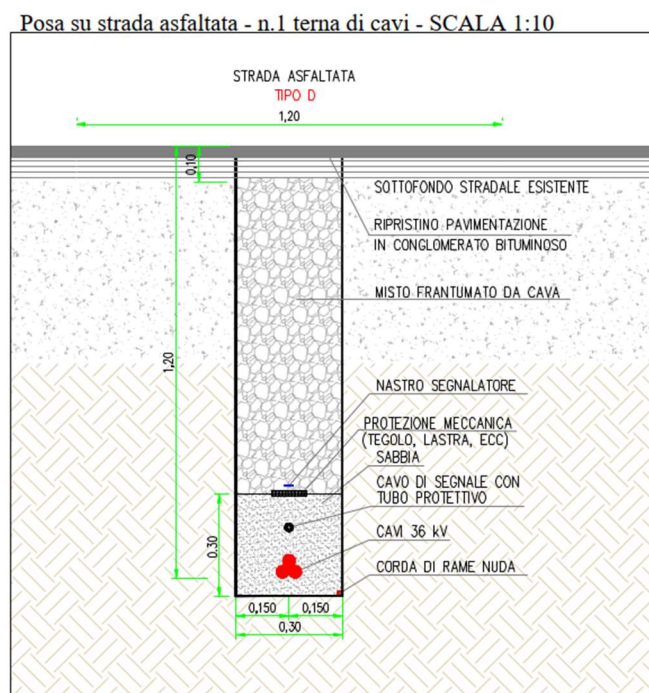


Figura 3-10: Modalità di posa cavi su strada asfaltata

Il metodo di calcolo applicato è lo stesso descritto per le dorsali a 36 kV.

Tabella 3.2: Dati di progetto per la valutazione del campo magnetico

Sezione	Descrizione	Dorsali/Tratta	Numero Power Station Connesse	Corrente max (A)
Sezione 1	Sezione attraversata dalla Linea 36 kV	Cabina Utente – SE RTN	7	494

3.4.1 RISULTATI

L'analisi del campo magnetico generato dalla linea interrata a 36 kV, calcolato al livello del suolo, indica che l'obiettivo di qualità di 3 μT viene superato fino a una distanza di circa 1,3 metri dall'asse dello scavo.

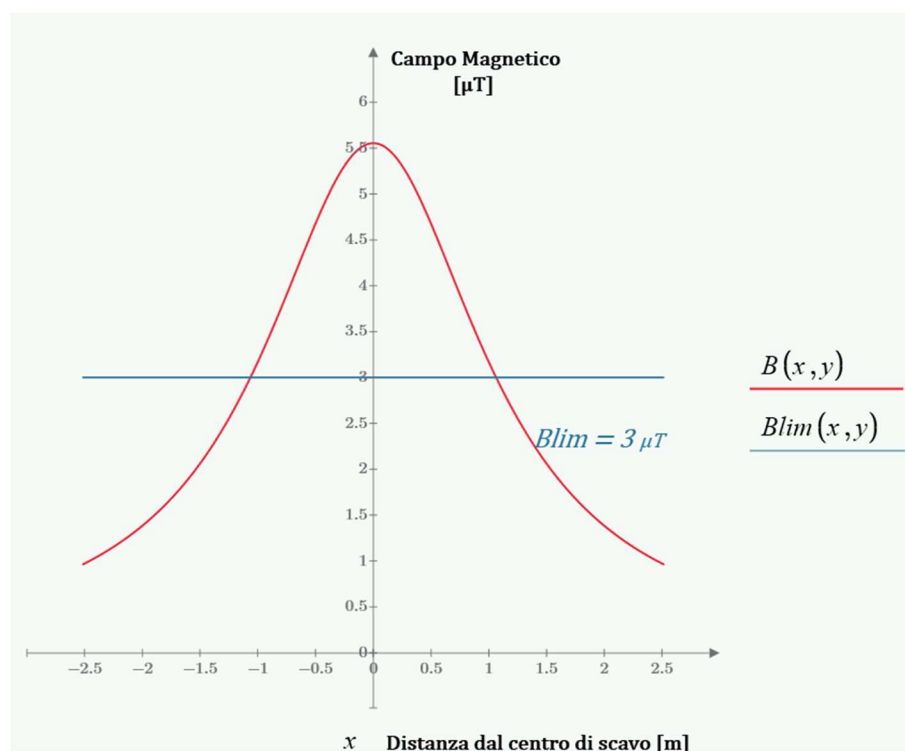


Figura 3-11: Andamento del campo magnetico calcolato al suolo

La DPA per il campo magnetico, calcolata alla profondità di posa dei cavi interrati, è di 1.7 metri. Questo indica che, a partire dall'asse dello scavo, il campo magnetico supera l'obiettivo di qualità di 3 μT fino a una distanza di 1.7 metri.

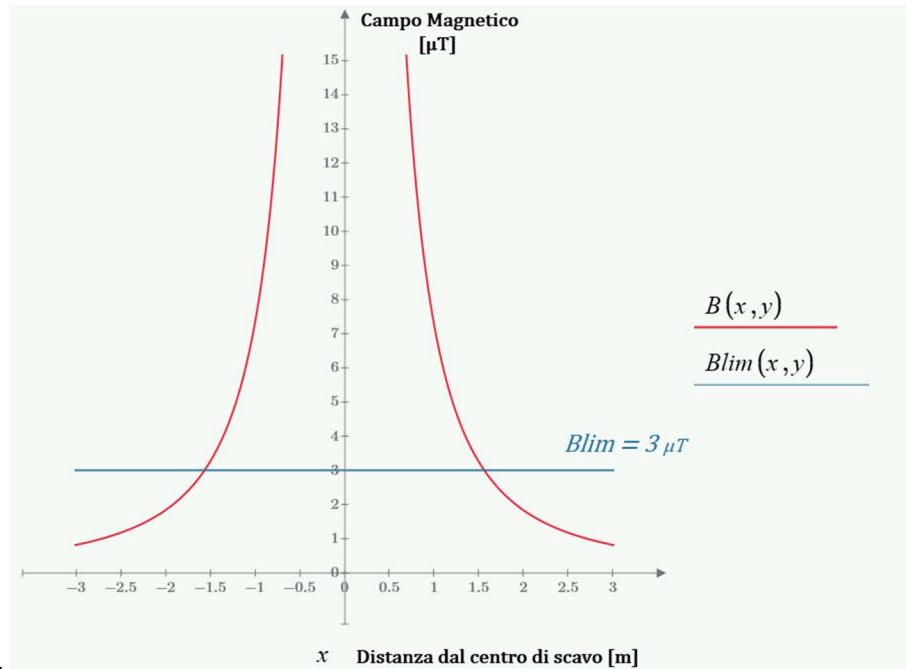


Figura 3-12: Andamento del campo magnetico calcolato alla profondità di posa

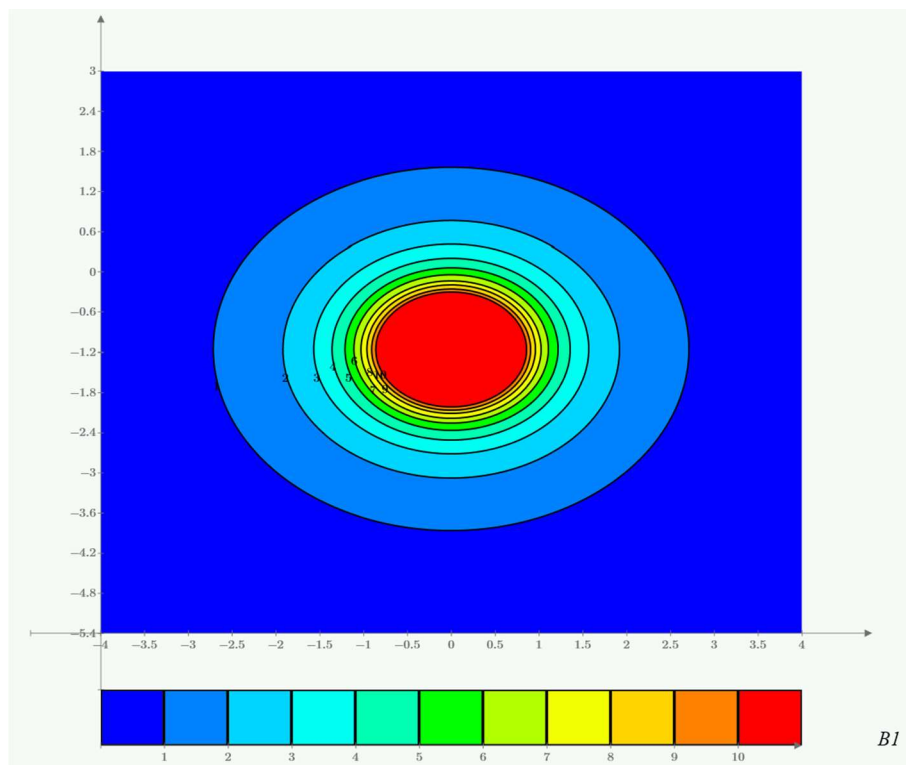


Figura 3-13: Andamento del campo magnetico intorno al cavo per il calcolo della DPA

4. CONCLUSIONI

Nell'elaborato TAV02_23, intitolato "Identificazione su catastale fasce di rispetto - Linea 36 kV", si evidenzia che la Distanza di Prima Approssimazione (DPA) ricade quasi interamente all'interno della viabilità comunale esistente. Fa eccezione una breve tratta che attraversa terreni destinati ad attività agricola, privi di abitazioni nelle vicinanze.

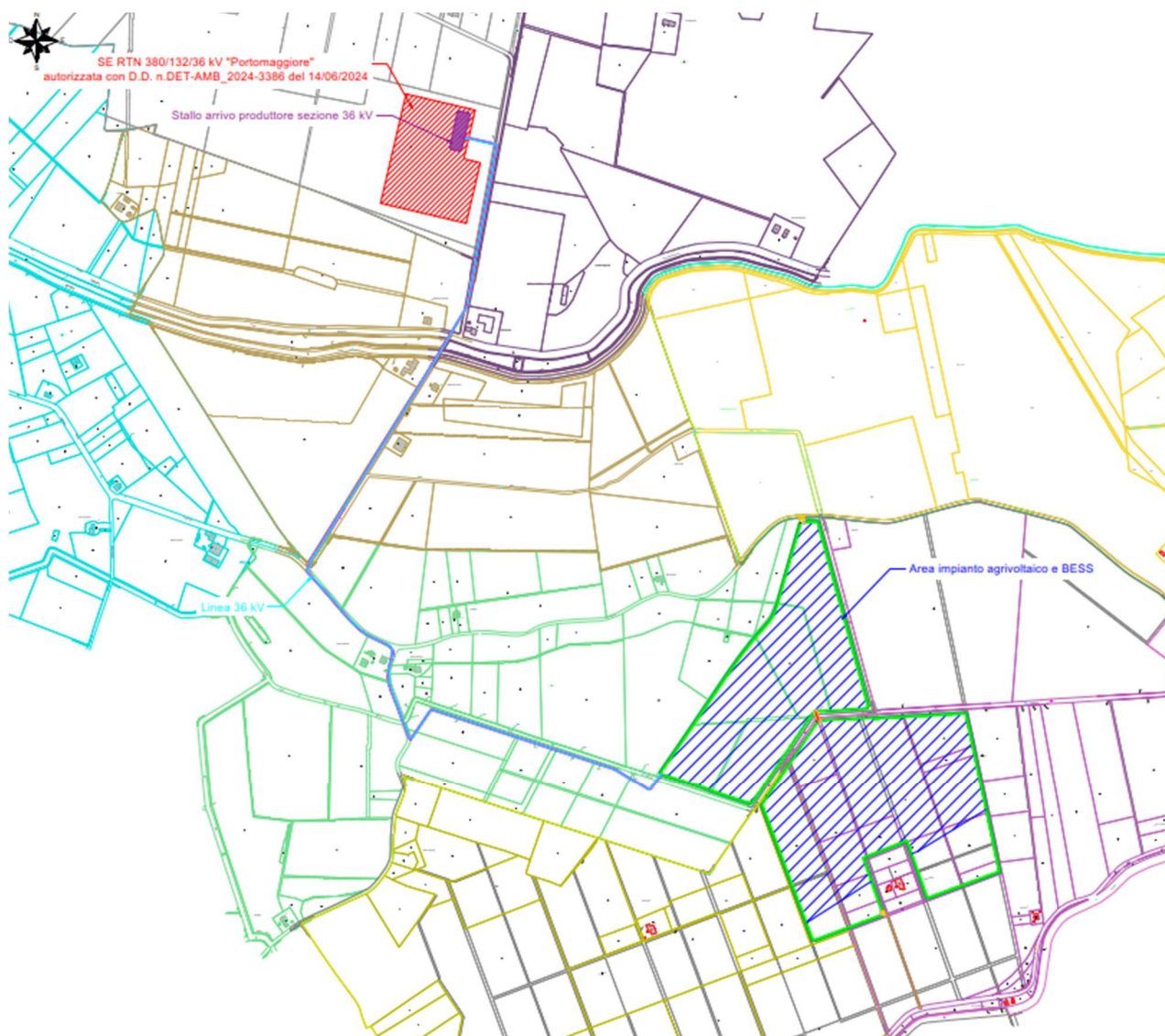


Figura 4-1: Identificazione su catastale fascia di rispetto - Linea 36 kV

Lo studio ha evidenziato che nessuno dei luoghi sensibili, come definiti dal DPCM 8 luglio 2003, ricade all'interno delle fasce di rispetto generate dalle linee elettriche e dalle cabine dell'impianto "Bandissolo". Pertanto, il parco fotovoltaico e le opere connesse risultano pienamente conformi alle normative vigenti in materia di esposizione ai campi elettromagnetici.