



COMUNI DI GELA
PROVINCIA DI CALTANISSETTA
REGIONE SICILIA

**PROGETTO DEFINITIVO DI UN IMPIANTO AGRI-FOTOVOLTAICO
 DI POTENZA DI PICCO P=83'051.28 kWp CON SISTEMA DI
 ACCUMULO PER UNA POTENZA DI IMMISSIONE COMPLESSIVA
 PARI A 100'000 kW**

Proponente

Gela Solar Power Srl
 CF e PI: 11947660961
 Via Dante 7 (20123) - Milano (MI)

Progettazione



Preparato
Dario Ing. Bertani

Verificato
Gianandrea Ing. Bertinazzo

Approvato
Vasco Ing. Piccoli

PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Titolo elaborato

**IMPIANTO AGRI-FOTOVOLTAICO
 VALUTAZIONE CEM PARCO FV**

<i>Elaborato N.</i> R014	<i>Data emissione</i> 28/02/2022			
	<i>Nome file</i> RS06REL0014A0			
<i>N. Progetto</i> ENE059	<i>Pagina</i> COVER	00	28/02/22	PRIMA EMISSIONE
		REV.	DATA	DESCRIZIONE

Sommario

1	Introduzione	3
1.1	Riferimenti normativi	3
1.2	Breve descrizione dell'impianto agri-FV in oggetto	4
1.3	Soglie limite	6
2	Verifica campo elettrico	6
3	Verifica campo magnetico	7
3.1	Moduli Fotovoltaici.....	7
3.2	Inverter	7
3.3	Trasformatore BT/MT.....	7
3.4	Cavidotti interrati in MT	8
3.5	Cavidotto interrato AT ed SSE utente MT/AT.....	13

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

1 Introduzione

Scopo del presente documento è quello di descrivere le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche presenti nell'impianto agri-fotovoltaico "Settefarine" e connesse ad esso, ai fini della verifica del rispetto dei limiti della legge n.36/2001 e dei relativi Decreti attuativi.

Lo studio di impatto elettromagnetico si rende necessario al fine di una valutazione del campo elettrico e magnetico nei riguardi della popolazione. In particolare per l'impianto saranno valutate le emissioni elettromagnetiche dovute alle cabine elettriche di trasformazione, ai cavidotti ed alla sotto-stazione utente. Si individueranno, in base al DM del MATTM del 29.05.2008, "fasce di rispetto" per le opere sopra dette.

Per "fascia di rispetto", così come definita dalla Legge 22 febbraio 2001 n° 36, si intende la zona all'interno della quale 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.

1.1 Riferimenti normativi

Legge 22 febbraio 2001, n. 36 - Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici

DPCM 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

DM 29/05/08 - Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti

CEI 106-12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT"

"Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 - Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche"

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

1.2 Breve descrizione dell'impianto agri-FV in oggetto

Il progetto dell'impianto agri-fotovoltaico denominato "Settefarine" prevede la realizzazione di tre campi FV, una rete di elettrodotti interrati in media tensione che confluiscono in un unico punto costituito dalla cabina di smistamento MT principale; un elettrodotto interrato in media tensione a 36 kV renderà disponibile l'energia generata nella sottostazione di trasformazione MT/AT (36/150 kV) da realizzarsi nel Comune di Butera (CL), condivisa con altri utenti produttori.

L'energia generata sarà infine resa disponibile, tramite un breve cavidotto AT, presso la futura sottostazione Terna di trasformazione e smistamento 150/220 kV, denominata "Butera 2", da inserire in entra-esce lungo la linea 220 kV esistente "Chiaromonte Gulfi – Favara", presso la quale sarà ubicato il punto di consegna alla RTN.

La potenza nominale complessiva dell'impianto agri-fotovoltaico, determinata dalla somma delle potenze nominali di ciascun campo, è pari a 83,05128 MWp, mentre la potenza in immissione nella RTN è determinata dalla potenza indicata sulla STMG, ed è pari a 100 MW.

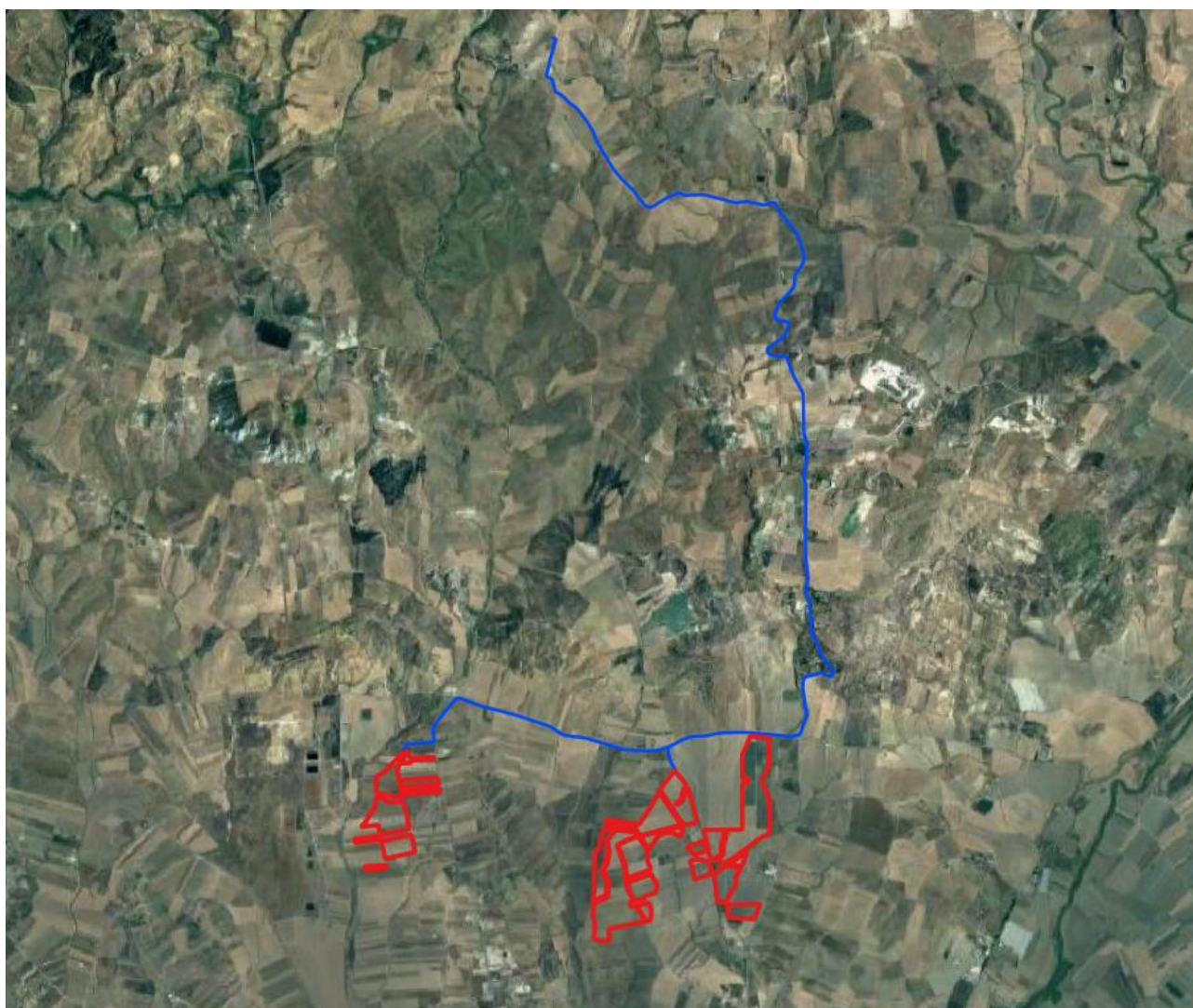


Figura 1 - Inquadramento su ortofoto dell'area di intervento

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Presso il confine Nord del campo n° 2 sarà posizionata la cabina di smistamento MT principale, presso la quale sarà ubicato il punto di arrivo dell'elettrodotto MT principale e il quadro di media tensione dal quale si dipartono cinque linee in media tensione a 36 kV, 3 dirette verso i campi fotovoltaici e 2 per alimentare il sistema di accumulo.

L'impianto sarà infatti integrato da un sistema di accumulo costituito da batterie al Litio (tecnologia Litio-Ferro-Fosfato) e relative apparecchiature elettroniche, da 30MW / 60MWh, per una potenza in immissione nella RTN complessiva pari a 100 MW: un paragrafo all'interno di questa relazione ed una relazione dedicata descriveranno nello specifico il sistema di accumulo

In uscita dalla cabina MT principale sarà previsto un cavidotto in Media Tensione a 36kV che arriverà sino alla nuova SE condivisa di trasformazione 36/150kV.

All'interno di ciascun campo sarà posizionate una cabina di smistamento di media tensione, dotata di opportune protezioni elettriche, alla quale saranno collegati, con configurazione radiale, le cabine di trasformazione in gruppi di massimo cinque per ciascuna linea radiale.

Per ciascun campo FV sono previste un numero variabile di cabine di trasformazione (da un minimo di una ad un massimo di undici), ciascuna delle quali è realizzata tramite soluzione containerizzata e contiene un trasformatore di potenza MT/BT e quadri elettrici in bassa e media tensione.

Per l'impianto FV in oggetto si prevede l'utilizzo di inverter di stringa, installati direttamente in campo in prossimità delle stringhe di moduli FV ad essi afferenti, a ciascuno dei quali possono essere collegate fino ad un massimo di 21 stringhe di moduli FV. Ad ogni cabina di trasformazione saranno collegati 12 inverter di stringa.

I moduli fotovoltaici, realizzati con tecnologia bifacciale ed in silicio mono-cristallino ad elevata efficienza, saranno collegati elettricamente in serie a formare stringhe da 26 moduli, e posizionati su strutture ad inseguimento solare mono-assiale, in configurazione a singola fila con modulo disposto verticalmente (configurazione 1-P).

L'utilizzo di tracker consente la rotazione dei moduli FV attorno ad un unico asse orizzontale avente orientazione Nord-Sud, al fine di massimizzare la radiazione solare captata dai moduli stessi e conseguentemente la produzione energetica del generatore FV.

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

1.3 Soglie limite

Il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fissa i limiti di esposizione e valori di attenzione per la protezione della popolazione dall'esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all'esercizio degli elettrodotti. Si riporta di seguito uno stralcio degli articoli di particolare rilevanza per la corrente analisi:

Art. 3. Limiti di esposizione e valori di attenzione

1. Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

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

Art. 4. Obiettivi di qualità

1. Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μT per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Lo stesso DPCM, all'art 6, fissa i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità ($B=3\mu\text{T}$) di cui al sovra-menzionato art. 4 ed alla portata della corrente in servizio normale. L'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti) definisce quale fascia di rispetto lo spazio circostante l'elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

2 Verifica campo elettrico

Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto sarebbero determinate fasce di rispetto (calcolate in funzione del limite di esposizione, nonché valore di attenzione, pari a 5kV/m) che sono sempre inferiori a quella fornita dal calcolo dell'induzione magnetica.

Tutti i cavi interrati sono infatti dotati di schermo in rame collegato a terra, che confina il campo elettrico tra il conduttore e lo schermo stesso; considerando inoltre l'ulteriore effetto schermante del terreno, il campo elettrico è da considerarsi trascurabile in ogni punto circostante l'impianto.

Pertanto, l'obiettivo dei paragrafi successivi sarà quello di calcolare le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento al limite di qualità di 3 μT .

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3 Verifica campo magnetico

Nel seguente capitolo viene riportata l'analisi del campo magnetico generato dai principali componenti d'impianto e, ove previsto, il calcolo della relativa "fascia di rispetto".

3.1 Moduli Fotovoltaici

I moduli fotovoltaici generano energia elettrica in corrente e tensione continue; per cui la generazione di campi magnetici variabili è limitata ai soli transistori di corrente (durante la ricerca del punto di massima potenza da parte dell'inverter, e durante l'accensione o lo spegnimento) i quali risultano di ridotta entità e di breve durata.

Nelle procedure di certificazioni dei moduli fotovoltaici secondo le serie di norme IEC 61215 e IEC 61730 non sono infatti previste prove di compatibilità elettromagnetica, in quanto irrilevanti per questi componenti.

3.2 Inverter

Gli inverter sono apparecchiature il cui scopo principale è di convertire l'energia generata dai moduli FV da corrente continua a corrente alternata. Gli inverter selezionati per il presente progetto impiegano componentistica elettronica operante ad alte frequenze al fine di minimizzare le perdite di conversione. È comunque opportuno considerare che tali apparecchiature elettroniche, per poter essere commercializzabili, siano corredate delle necessarie certificazioni di compatibilità elettromagnetica a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa.

Per quanto riguarda il progetto relativo alla presente analisi, si prevede l'utilizzo inverter di stringa SunGrow, modello SG250HX, i quali sono conformi alla normativa CEM, ed in particolare alle norme EN 62109-1 / -2, IEC 62109-1 / -2 e IEC 62920.

3.3 Trasformatore BT/MT

Per quanto riguarda le cabine di trasformazione, considerabili alla stregua di cabine secondarie di trasformazione, è stata determinata la distanza di prima approssimazione tramite il metodo di calcolo descritto nel par. 5.2.1 dell'allegato al DM 29/05/2008.

La distanza di prima approssimazione corrisponde alla distanza dalle pareti esterne della cabina, e viene calcolata considerando una linea trifase con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale in bassa tensione in ingresso al trasformatore, considerando una distanza tra le fasi pari al diametro reale del cavo.

La DPA è calcolabile tramite la seguente formula:

$$DPA = 0.40942 \times x^{0.5241} \times \sqrt{I}$$

Dove:

- DPA = Distanza di Prima Approssimazione [m];
- I = corrente nominale [A];
- X = diametro reale dei cavi [m].

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Per il presente impianto fotovoltaico viene quindi considerato un trasformatore BT/MT di taglia pari a 3'000 kVA, avente una corrente nominale circolante nell'avvolgimento secondario pari a circa 2'167 A (pari alla corrente nominale dell'inverter ad esso afferente).

Il diametro esterno equivalente dei cavi in bassa tensione (blindosbarre) è pari a 31,6mm.

La DPA così calcolata, arrotondata per eccesso al numero intero superiore, risulta essere pari a 3 m.

È opportuno evidenziare che le cabine di trasformazione sono posizionate all'interno del campo fotovoltaico, quindi non accessibili a personale non autorizzato, ed in condizioni di normale esercizio non sono presidiate. Si può quindi escludere qualsiasi rischio per la salute pubblica.

3.4 Cavidotti interrati in MT

Come anticipato, la scelta di prevedere esclusivamente linee interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno; inoltre la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne cosiddette "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo nelle immediate prossimità dei cavi.

Per quanto riguarda il campo magnetico, l'utilizzo di cavi cordati ad elica implica l'esclusione di tale tipologia di linea dalla valutazione, in base a quanto prescritto dal D.M.29/05/2008 al punto 3.2 (e art. 7.1.1 CEI 106-11) in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i.

Non è possibile affermare lo stesso per il tratto di collegamento tra il Parco Fotovoltaico e la stazione di trasformazione MT/AT, costituito (nel tratto più gravoso, ovvero caratterizzato dalla maggior potenza trasportata) da un cavidotto composto da n°3 terne di cavi unipolari di sezione pari a 400 mm² disposti a trifoglio, come rappresentato in Figura 2. Per ulteriori dettagli in merito alla modalità di posa dei cavidotti si rimanda all'elaborato dedicato "*Particolare posa cavi*".

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

CAVIDOTTO MEDIA TENSIONE
SCALA 1:10

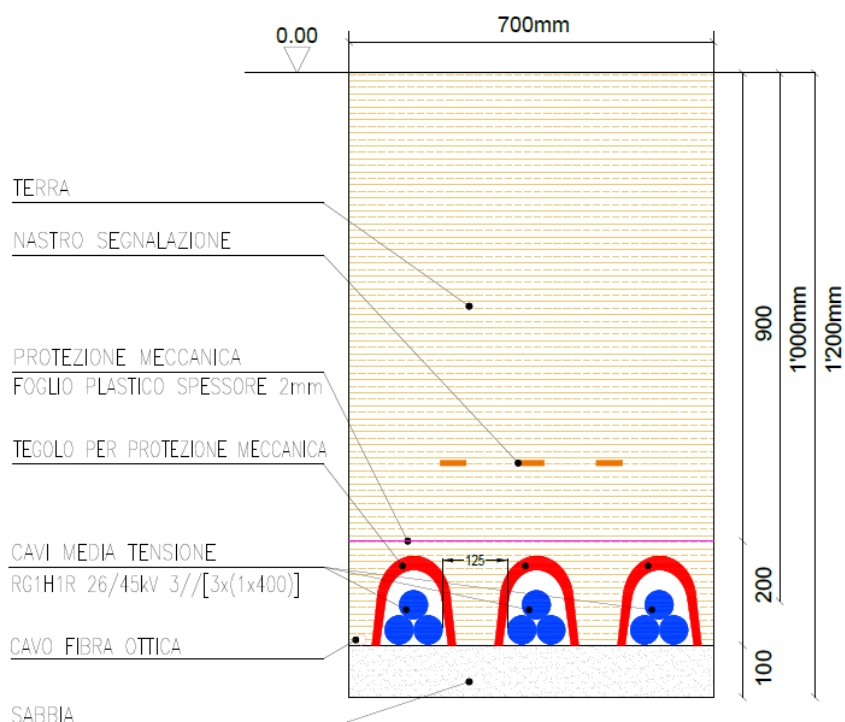


Figura 2 - Modalità di posa cavi MT

Per la determinazione del campo magnetico generato da cavi percorsi da corrente, nel caso di un sistema trifase quale quello in oggetto, si può fare riferimento alla norma CEI 106-12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT" la quale fornisce la relazione di calcolo di cui alla formula seguente:

$$B = 0.6 \times \sqrt{6} \times \frac{S \times I}{R^2}$$

dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale, S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I [A].

Considerata la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato di cui prima, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto.

Considerata quindi la disposizione spaziale delle tre terne, e fissando l'asse centrale del sistema in corrispondenza della terna di cavi centrale, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

$$B = 0.1 \times \sqrt{6} \times \frac{S_1 \times I_1}{(x - x_1)^2 + (h + d)^2} + 0.1 \times \sqrt{6} \times \frac{S_2 \times I_2}{(x - x_2)^2 + (h + d)^2} + 0.1 \times \sqrt{6} \times \frac{S_3 \times I_3}{(x - x_3)^2 + (h + d)^2}$$

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Dove:

- B = induzione magnetica in un generico punto distante R dal centro del sistema (posizione baricentrica delle terne di cavi [m]);
- h = distanza dal suolo [m];
- d = profondità di posa del cavidotto [m];
- S = diametro reale del cavo [m];
- I = corrente circolante nel cavo [A].

Sono stati quindi calcolate, fissando vari valori di h, le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo.

Le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli sono le seguenti:

Profondità di posa dei cavi	1,2 m
Distanza terna 1 dall'asse y	- 0,125 m
Distanza terna 2 dall'asse y	0 m
Distanza terna 3 dall'asse y	0,125 m
Sezione conduttore	400 mm ²
Portata nominale	800 A
Portata corretta in funzione delle condizioni di posa ($k_{TOT} = 0,76$)	608 A

Considerando una corrente di 608 A pari alla portata corretta dei cavi in esame (ipotesi ampiamente cautelativa, aventi una sezione di 400mm² ed un diametro reale di 55 mm, si ottengono valori relativi all'induzione magnetica riportati nella seguente tabella e rappresentati graficamente nel grafico in Figura 3.

	Distanza dal suolo [m]					
	0	1	1,5	2	2,5	3
-5	0,943	0,845	0,784	0,721	0,658	0,597
-4,5	1,154	1,011	0,925	0,838	0,754	0,676
-4	1,443	1,226	1,101	0,980	0,867	0,765
-3,5	1,852	1,509	1,325	1,153	1,000	0,867
-3	2,455	1,886	1,607	1,361	1,153	0,980
-2,5	3,389	2,392	1,960	1,606	1,324	1,100
-2	4,919	3,064	2,390	1,884	1,507	1,224
-1,5	7,576	3,920	2,881	2,176	1,688	1,341
-1	12,305	4,895	3,375	2,447	1,847	1,440
-0,5	19,553	5,750	3,762	2,644	1,957	1,506
0	24,233	6,105	3,911	2,717	1,997	1,529
0,5	19,553	5,750	3,762	2,644	1,957	1,506
1	12,305	4,895	3,375	2,447	1,847	1,440
1,5	7,576	3,920	2,881	2,176	1,688	1,341
2	4,919	3,064	2,390	1,884	1,507	1,224
2,5	3,389	2,392	1,960	1,606	1,324	1,100
3	2,455	1,886	1,607	1,361	1,153	0,980
3,5	1,852	1,509	1,325	1,153	1,000	0,867
4	1,443	1,226	1,101	0,980	0,867	0,765
4,5	1,154	1,011	0,925	0,838	0,754	0,676
5	0,943	0,845	0,784	0,721	0,658	0,597

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

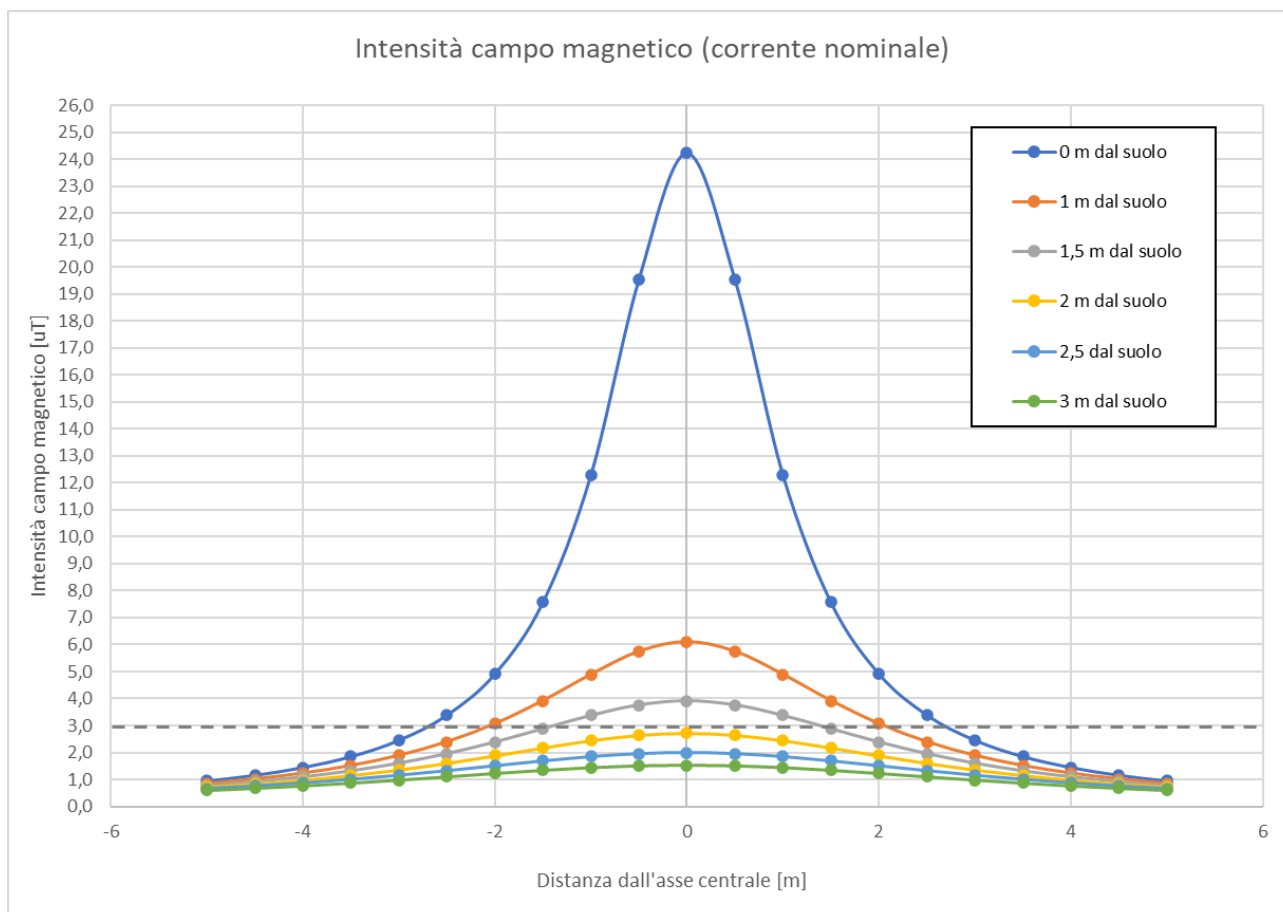


Figura 3 - Campo magnetico - Corrente nominale

Si può osservare come nel caso peggiore, ovvero considerando un'altezza dal suolo pari a 0, il valore di $3 \mu\text{T}$ è raggiunto ad una distanza inferiore a 2,5 m dall'asse del cavidotto.

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Il valore della Distanza di Prima Approssimazione (DPA) così calcolato è risultato pari a 3m (valore approssimato per eccesso). Tale valore è stato inoltre considerato per verificare la presenza di eventuali recettori sensibili lungo il percorso di tutti i cavidotti MT esterni all'impianto, rappresentati tramite linee blu/azzurre in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Tramite un'analisi dettagliata del percorso del sovra-menzionato cavidotto, il cui percorso è rappresentato nella figura seguente, è stato possibile escludere la presenza di recettori sensibili ricadenti all'interno della DPA dei cavidotti interrati.

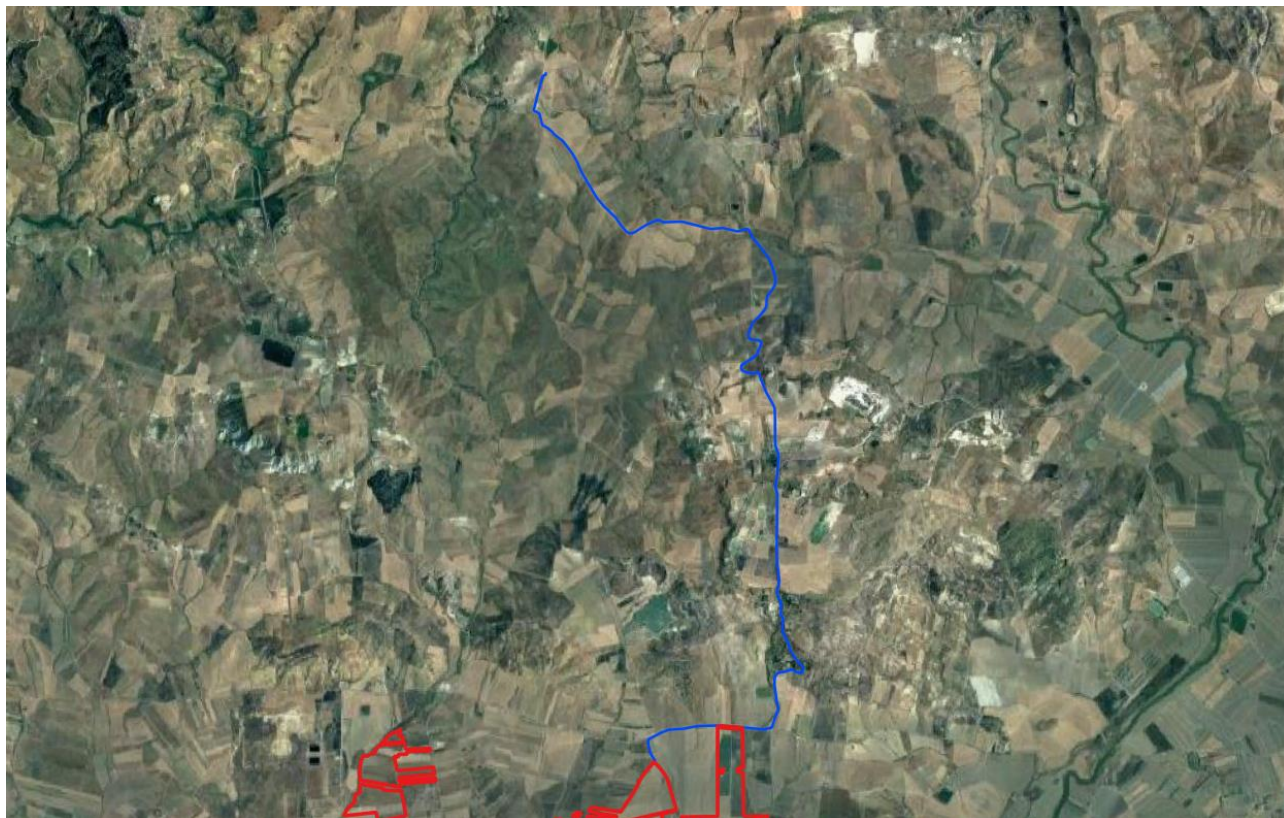


Figura 4 - Percorso cavidotto interrato di connessione dell'impianto FV

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.5 Cavidotto interrato AT ed SSE utente MT/AT

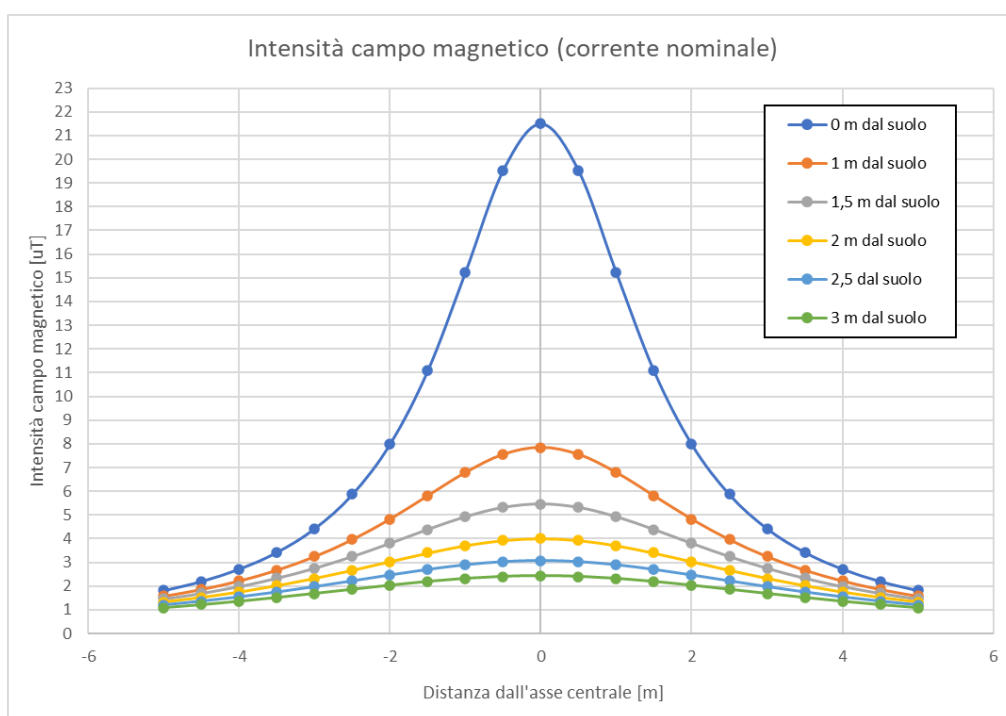
Per quanto concerne la linea di connessione in cavo a 150 kV, sarà considerata la DPA relativa ad una semplice terna di cavi interrati disposti a trifoglio, aventi le seguenti caratteristiche:

- $S = 1600 \text{ mm}^2$,
- $d = 108 \text{ mm}$.

Sarà considerata una corrente pari a 933 A, pari alla portata nominale del cavo selezionato.

È opportuno evidenziare come tale ipotesi sia ampiamente cautelativa, in quanto la massima corrente effettivamente generabile dall'impianto, nella sezione AT, è pari a circa 385 A, mentre ipotizzando che la sottostazione utente (attualmente solo predisposta per l'ampliamento) venisse effettivamente saturata da altri produttori impegnando la massima potenza dello stallo AT a disposizione (220 MVA) la massima corrente transitante sarebbe pari a 847 A.

Considerando una corrente di 933 A, e cavi aventi diametro reale di 108 mm, si ottiene un andamento del valore dell'induzione magnetica come rappresentato nel grafico in figura.



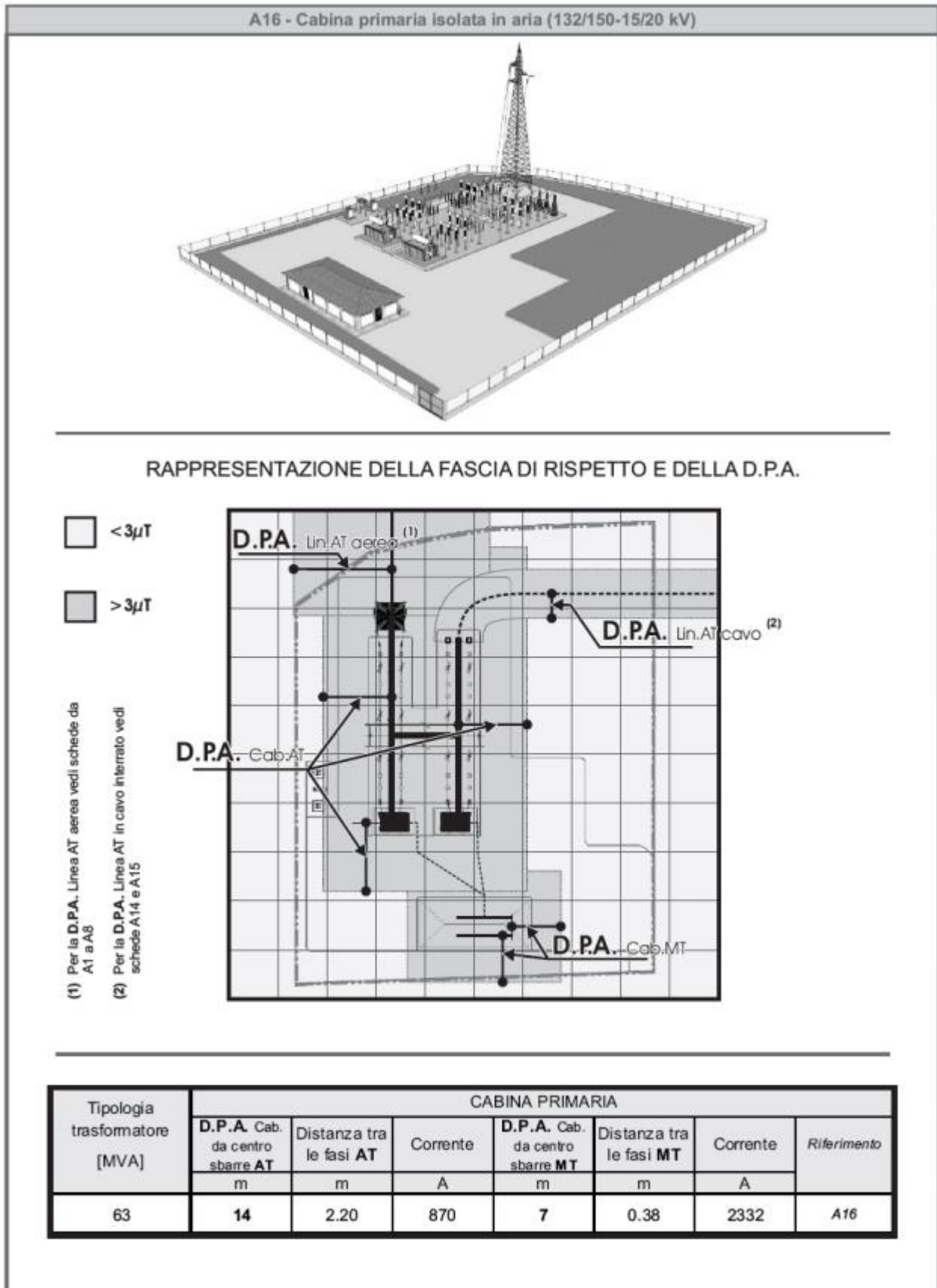
Si può osservare come nel caso peggiore, ovvero considerando un'altezza dal suolo pari a 0, il valore di $3 \mu\text{T}$ è raggiunto ad una distanza inferiore a 2 m dall'asse del cavidotto. Si considera quindi una DPA pari a **4m** per l'opera in analisi.

Tramite un'analisi dettagliata del percorso del sovra-menzionato cavidotto, il cui percorso è rappresentato nella figura seguente, è stato possibile escludere la presenza di recettori sensibili ricadenti all'interno della corrispondente DPA.

Per quanto concerne la SE condivisa, l'Enel ha unificato sul territorio nazionale le fasce di rispetto in caso di opere elettriche esercite in alta tensione dopo prolungate misure presso i propri impianti. Si riporta di seguito un estratto dalla "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 - Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche".

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Le medesime DPA saranno rispettate per la realizzazione delle opere relative al progetto in oggetto.



00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione