



REGIONE LAZIO

Comune di Paliano



PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO A TERRA DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 37.807,2 kWp INTEGRATO CON UN SISTEMA DI ACCUMULO DELLA POTENZA DI 12.000 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 48.000 kW UBICATO NEL COMUNE DI PALIANO (FR) E DELLE OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI ANAGNI (FR)

TITOLO

Relazione Impatto Elettromagnetico

PROGETTAZIONE

PROPONENTE

 **STUDIO
RINNOVABILI**

SR International S.r.l.
C.so Vittorio Emanuele II, 282-284 - 00186 Roma
Tel. 06 8079555 - Fax 06 80693106
C.F e P.IVA 13457211004



ATON 27 S.r.l.

ATON 27 S.r.l.
VIA EZIO MACCANI 54 - 38121 Trento (TN)
C.F e P.IVA 02708670225
PEC: aton27.srl@pec.it

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	15/07/2023	Dott. Ing. Sica	Ing. Bartolazzi	Ing. Bartolazzi	Relazione Impatto Elettromagnetico

Codice Elaborato

TCN-PLN-RIE

Scala

-

Formato

A4

INDICE

INDICE DELLE FIGURE	2
1. OGGETTO DEL DOCUMENTO	4
2. INTRODUZIONE	4
2.1 I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI	5
2.2 EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE	6
3. RIFERIMENTI LEGISLATIVI NAZIONALI	7
4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO	11
5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO	12
5.1 MODULI FOTOVOLTAICI	12
5.2 MULTI-MPPT STRING INVERTER.....	13
6. TRASFORMATORE BT/MT	13
7. CABINA DI RACCOLTA	14
8. CAVIDOTTI IN MEDIA TENSIONE.....	15
9. ESPOSIZIONE POST-OPERAM DEL PROGETTO.....	18
9.1 CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO	18
9.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI INTERNI IN MT.....	18
9.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO	19
9.1.3 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI.....	19
9.2 CAVIDOTTO ESTERNO DI CONNESSIONE TRA LA CABINE DI RACCOLTA E LA STAZIONE ELETTRICA UTENTE	24
9.2.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT	24
9.2.2 TIPOLOGIA DI SCAVO	24
9.2.3 PERCORSO DEL CAVIDOTTO E RICETTORI	26
9.2.4 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B	28
10. CONCLUSIONI	35

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE.	7
Figura 2 – Valori della Distanza di prima approssimazione per una cabina di consegna con trasformatore.	15
Figura 3 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.	16
Figura 4 – Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE.	17
Figura 5 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT	19
Figura 6 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto	19
Figura 7 – Layout dell'impianto con indicazione dei cavidotti interni e dei recettori potenzialmente sensibili	20
Figura 8 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità	21
Figura 9 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità	23
Figura 10 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT da 500 mmq	24
Figura 11 – Sezioni degli scavi dei cavidotti in MT	25
Figura 12 – Materiali di riempimento per scavo cavi esterni.....	25
Figura 13 – Inquadramento su ortofoto	26
Figura 14 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R03.....	27
Figura 15 - Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R04	27
Figura 16 - Inquadramento su ortofoto-posizione dei recettori R05 e R06	28
Figura 17 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.	29
Figura 18 - Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto BESS in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.	31

Figura 19 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dalle sbarre AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità..... 33

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Limiti della normativa italiana sull'esposizione a campi elettromagnetici a 50 Hz, indicati nel DPCM dell'8 Luglio 2003..... 9

Tabella 2 – Induzione magnetica B generata da comuni elettrodomestici a 50 Hz..... 10

Tabella 3 – Caratteristiche tecniche dell'impianto 12

Tabella 4 – DPA Trsformatori..... 14

Tabella 5 - DPA Cabine di Trasformazione 14

Tabella 6 – Distanza minima tra recettori e scavi per cavi interni. 20

Tabella 7 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale. 22

Tabella 8 - Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale 23

Tabella 9– Distanze tra i ricettori dislocati lungo il percorso del cavidotto di evacuazione .. 28

Tabella 10 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori lungo il percorso del cavidotto di evacuazione..... 29

Tabella 11 - Caratteristiche tecniche dell'impianto BESS 30

Tabella 12 - Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori lungo il percorso del cavidotto BESS... 32

Tabella 13 – Valori del campo B sulle sbarre in AT in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale sul terreno..... 34

1. OGGETTO DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha lo scopo di descrivere i possibili campi elettromagnetici generati dall'impianto agrivoltaico e dalle opere di connessione alla rete in AT di Terna SpA, da realizzare nel territorio comunale di Paliano nella regione Lazio, prendendo in considerazione tutti gli elementi e dispositivi elettronici ed elettromeccanici, che potrebbero esserne una fonte. In particolare, si porrà maggiore attenzione alle linee elettriche in cavo interrato:

- in MT a 30 kV, interne al campo agrivoltaico, che collegano le cabine di trasformazione BT/AT (denominate CTi) alla cabina di raccolta CDR;
- in MT a 30 kV, esterno all'area d'impianto, che collega la cabina di raccolta alla stazione elettrica utente MT/AT 30/150 kV, la quale sarà collegata alla futura Stazione della RTN di proprietà della società Terna SpA, da realizzarsi nel territorio comunale di Anagni.

Si rimanda alla Relazione tecnica degli impianti elettrici TCN-PLN-RTE, per l'esposizione dettagliata delle caratteristiche tecniche ed elettriche dei cavidotti di connessione dell'impianto agrivoltaico in oggetto.

2. INTRODUZIONE

Lo sviluppo economico di un paese è strettamente collegato ai consumi e alla disponibilità di energia, la cui fonte primaria oggi è il petrolio.

I combustibili fossili però, oltre al fatto che vengono consumati con una velocità milioni di volte superiore a quella con la quale si sono accumulati naturalmente, essendo quindi destinati ad una progressiva rarefazione, sono anche i principali responsabili del degrado dell'ambiente, con gravi conseguenze sulla salute dell'uomo, sulla flora, sulla fauna e sul patrimonio artistico.

Di recente la Commissione Europea ha proposto gli obiettivi di riduzione delle emissioni atmosferiche da raggiungere entro il 2030. Gli obiettivi devono essere raggiunti per mantenere il proposito di riduzione delle emissioni di gas-serra a livello europeo di almeno 80% entro il 2050 rispetto al 1990. Il 14 luglio del 2021, la Commissione europea ha adottato il pacchetto climatico "Fit for 55", che propone le proposte legislative per raggiungere entro il 2030 gli obiettivi del Green Deal. In particolare, la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra del 55% rispetto ai livelli del 1990, con l'obiettivo di arrivare alla "carbon neutrality" per il 2050. L'obiettivo del 55% è estremamente ambizioso. Per fare una comparazione, dal 1990 al 2020 le emissioni nell'Unione europea si sono ridotte del 20%. Il Green Deal intende ridurre le emissioni dal 20 al 55% in meno di dieci anni.

Alla produzione e al trasporto di energia elettrica, siano essi basati su fonti tradizionali fossili sia su fonti rinnovabili, si associano delle emissioni elettromagnetiche, dovute in massima parte alla corrente elettrica che scorre nei cavidotti aerei e/o interrati. Nella progettazione di nuovi impianti di produzione di energia elettrica risulta dunque necessario assicurarsi che da tali opere non scaturiscano situazioni possibilmente dannose per la popolazione legate all'esposizione a campi elettromagnetici. L'interazione tra campi elettromagnetici e sistemi biologici è governata in generale dalle equazioni di Maxwell, che descrivono la propagazione, riflessione e assorbimento dei campi elettromagnetici in tutti i mezzi, tra cui anche i tessuti biologici. In particolare, lo studio di possibili effetti legati all'esposizione a campi elettromagnetici è affrontato da una disciplina scientifica che prende il nome di bio-elettromagnetismo, che in sintesi è basata sull'analisi di due aspetti:

- **Dosimetria:** valutazione quantitativa del campo elettromagnetico a cui è esposto un soggetto in presenza di una data sorgente elettromagnetica.
- **Effetti biologici:** valutazione di possibili effetti biologici legati all'esposizione a una certa dose di campo.

Quest'ultimi possono essere sia dannosi che positivi (nel caso di applicazioni biomedicali) e sono strettamente legati alle caratteristiche dei campi elettromagnetici cui si è esposti ovvero frequenza, intensità, polarizzazione e forma d'onda.

Il parametro di maggior interesse è la frequenza, poiché campi a bassa frequenza agisce sui sistemi biologici secondo meccanismi sostanzialmente diversi da quelli ad alta frequenza. Nel caso della bassa frequenza, come quello di elettrodotti a 50 Hz quali quello in esame, è possibile dimostrare che campi elettrici e magnetici sono sostanzialmente indipendenti (o disaccoppiati), per cui possono essere trattati separatamente.

2.1 I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

Il **campo elettrico** è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. Dal momento che i valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano, l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante. La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.

L'intensità maggiore del campo elettrico in elettrodotti aerei si misura generalmente al centro della campata, ossia nel punto in cui i cavi si trovano alla minore distanza dal suolo. L'andamento e il valore massimo delle intensità dei campi dipenderanno anche dalla disposizione e dalle distanze tra i conduttori della linea. Nel caso di **elettrodotti interrati**, il campo elettrico è ridotto dai rivestimenti dei cavi e soprattutto dall'interramento, tanto che già a brevissima distanza dal cavo il campo è sostanzialmente trascurabile. Si pensi infatti che date le caratteristiche dielettriche del terreno, il piano di terra costituisce un riferimento elettrico equipotenziale, a potenziale nullo. Per tale motivo, il campo elettrico non è generalmente di interesse per la valutazione di effetti biologici legati alla presenza di elettrodotti in bassa frequenza, e le normative che fissano i limiti di esposizione a bassa frequenza sono incentrate sul campo magnetico.

Il **campo magnetico** generato dalla corrente che scorre in un elettrodotto è invece la grandezza di maggiore interesse per la valutazione di possibili effetti biologici. Infatti, si presenta come un'onda di bassa impedenza, quindi in grado di penetrare facilmente all'interno della quasi totalità dei materiali (solo quelli ferromagnetici possono ostacolarla). L'interazione con i tessuti organici si esplica prevalentemente con la generazione di correnti indotte dalle variazioni del campo magnetico nel tessuto stesso. Quando tali correnti sono superiori a determinate soglie, possono indurre degli effetti acuti dannosi.

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico indotto da un elettrodotto sono principalmente le seguenti:

- 1) *Intensità delle sorgenti (correnti di linea);*
- 2) *Distanza dalle sorgenti (conduttori);*

- 3) *Disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);*
- 4) *Presenza di sorgenti compensatrici;*
- 5) *Suddivisione delle sorgenti (terne multiple).*

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee interrate. Campi a bassa frequenza sono emessi anche da alcuni strumenti elettromedicali e dalle apparecchiature domestiche o industriali alimentate da energia elettrica.

2.2 EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE

Si è precedentemente anticipato che gli effetti biologici indotti dall'esposizione a campi elettromagnetici sono legati a meccanismi di accoppiamento sostanzialmente diversi a seconda che i campi siano ad alta o bassa frequenza.

Ad **alta frequenza** (telefonia cellulare, emissioni radiotelevisive ecc.), il meccanismo di interazione di base è quello dell'orientamento dei dipoli che costituiscono un tessuto secondo la polarità del campo, che oscillano ad alta frequenza: ciò induce una dissipazione di energia che viene assorbita dal tessuto, riscaldandolo. Tale riscaldamento, oltre una certa soglia, comporta degli effetti dannosi sul tessuto stesso fino anche alla morte cellulare per esposizioni acute. La grandezza di interesse con cui caratterizzare l'esposizione ad alta frequenza è la **Specific Absorbtion Rate** (SAR) [W/Kg], che rappresenta l'energia per unità di tempo e di massa assorbita dal tessuto. Numerosi studi sperimentali condotti nell'ultimo ventennio hanno permesso l'individuazione dei livelli di SAR responsabili di effetti dannosi. Sulla base di tali livelli si sono quindi definiti dei limiti di esposizione, cui fanno riferimento le normative nazionali ed internazionali. Non si approfondiranno ulteriormente tali aspetti, concentrando l'attenzione sulla bassa frequenza, che include il caso degli elettrodotti.

A **bassa frequenza**, l'interazione con i tessuti organici si esplica prevalentemente con la generazione di **correnti indotte** dalle variazioni nel tempo del campo magnetico.

Tali correnti sono la principale conseguenza dell'esposizione e la loro intensità J è definita mediante la seguente espressione:

$$J \approx \pi \frac{L}{2} \sigma f B$$

in cui L e σ sono rispettivamente la dimensione caratteristica e la conducibilità del tessuto, f e B sono la frequenza e l'intensità dell'induzione magnetica indotta dall'esposizione nel tessuto biologico. Studi sperimentali hanno messo in evidenza l'esistenza di livelli di correnti indotte alle quali si manifestano effetti biologici dannosi. Questi ultimi partono dalla stimolazione nervosa e la contrazione neuro-muscolare, fino alla fibrillazione ventricolare e la folgorazione per esposizioni acute.

Sulla base dei livelli sperimentalmente individuati si definiscono quindi dei limiti di base di esposizione e, con opportuni coefficienti di sicurezza (10 o 50) si definiscono i livelli di riferimento per la normativa di protezione dai campi elettromagnetici. Allo stato dell'arte l'istituzione più autorevole per la revisione degli studi di ricerca e la definizione dei limiti è costituito dalla International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), che gode del riconoscimento ufficiale dell'OMS e della IARC (International Agency for Research on

Cancer). La definizione dei limiti di base secondo la guida ICNIRP (1998) si basa solo sugli effetti biologici della cui pericolosità per la salute si abbia una accertata evidenza scientifica.

È possibile differenziare due tipi di rischi:

- Il rischio da esposizione (anche istantanea) a livelli elevati, per i quali sono noti gli effetti avversi da un punto di vista medico (effetti acuti).
- Il rischio da esposizione prolungata a livelli inferiori, per i quali non è ancora possibile trarre conclusioni definitive.

Per quanto riguarda gli effetti cancerogeni, allo stato dell'arte non c'è evidenza sperimentale della loro esistenza, anche se alcuni studi epidemiologici evidenziano una correlazione statistica tra i casi di leucemia infantile e la vicinanza agli elettrodotti che trasportano elevate correnti e valori di induzione magnetica superiori a $0.2 \mu\text{T}$. La IARC ha invece deciso di classificare l'esposizione ambientale a campi magnetici ELF come possibilmente cancerogena con riferimento alla leucemia infantile.

In **Figura 1** si riassumono i valori di induzione magnetica individuati come limiti di riferimento per le normative secondo l'ICNIRP e il CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization). Si riporta anche la soglia di attenzione epidemiologica (SAE), relativa a possibili correlazioni epidemiologiche con casi di leucemia infantile.

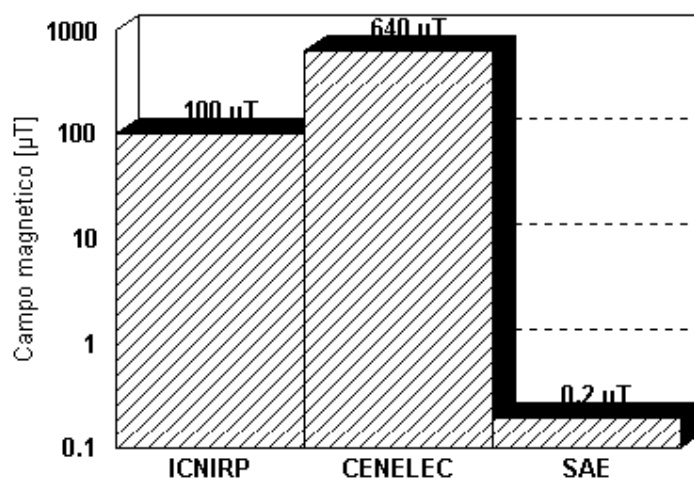


Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE.

Riassumendo dunque, l'ICNIRP prescrive come limite di riferimento per l'esposizione a campi elettromagnetici di bassa frequenza il valore di induzione magnetica B pari a $100 \mu\text{T}$, mentre il CENELEC considera un valore più elevato, pari a $640 \mu\text{T}$.

3. RIFERIMENTI LEGISLATIVI NAZIONALI

Numerosi paesi come ad esempio la Germania adottano come limiti di legge relativi all'esposizione ai campi elettromagnetici i livelli di riferimento individuati dalla commissione ICNIRP.

L'Italia anche in seguito a pressioni mediatiche ha provveduto a emanare norme via via più restrittive in materia di protezione dai campi elettromagnetici, anche in assenza di studi sperimentali che suggeriscano tale direzione. Attualmente, l'esposizione ai campi elettromagnetici è regolamentata dalla Legge quadro 22/02/2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", pubblicata sulla G.U. 7 marzo 2001, n.55, che stabilisce il quadro normativo per gli impianti esistenti e per quelli costruendi. Tale quadro ha fissato i criteri e il contesto di riferimento per l'esposizione ai campi elettromagnetici ed è stata seguita nel 2003 da decreti attuativi che indicano i valori limite da rispettare. Dall'articolo 3 della Legge suddetta si riportano le definizioni delle grandezze di interesse per la caratterizzazione dell'esposizione a campi elettromagnetici:

- a) **esposizione:** è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;
- b) **limite di esposizione:** è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettera a);
- c) **valore di attenzione:** è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettere b) e c). Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge;
- d) **obiettivi di qualità** sono:
 - 1) i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali secondo le competenze definite dall'articolo 8;
 - 2) i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato secondo le previsioni di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), ai fini della progressiva mitigazione dell'esposizione ai campi medesimi;
- e) **elettrodotto:** è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;
- f) **esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici:** è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;
- g) **esposizione della popolazione:** è ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici.

Successivamente due D.P.C.M. dell'8 luglio 2003 hanno fissato i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione. I due decreti disciplinano separatamente le basse (elettrodotti) e le alte frequenze (impianti radiotelevisivi, stazioni radio base, ponti radio). In particolare, si riportano di seguito gli articoli 3 e 4, in cui sono presenti i valori limite per elettrodotti esistenti (art. 3) e per la progettazione di nuovi elettrodotti (art. 4).

Articolo 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.

Articolo 4 **Obiettivi di qualità**

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. Riassumendo dunque i limiti di legge in vigore in Italia relativi all'esposizione a campi elettromagnetici alla frequenza di 50 Hz sono quelli riportati in **Tabella 1**.

Campi a 50 Hz

	Campo Elettrico [kV/m]	Campo Magnetico [μT]
Lim. di esp.	5	100
Valori di att.	-	10
Ob. di qual.	-	3

Tabella 1 – Limiti della normativa italiana sull'esposizione a campi elettromagnetici a 50 Hz, indicati nel DPCM dell'8 Luglio 2003.

A titolo esemplificativo si riportano in **Tabella 2** i livelli di induzione magnetica generati da comuni elettrodomestici alimentati dalla rete elettrica a 50 Hz. Si noti che in prossimità degli stessi si raggiungono valori ben superiori ai limiti di legge, anche se l'uso di tali strumenti non comporta tipicamente esposizione di tipo prolungato.

Fonte	Induzione magnetica μT	
	vicino	30 cm
Apriscatole	2000	16
Asciugacapelli	2500	7
Aspirapolvere	800	20
Coperta elettrica	30	-
Ferro da stiro	30	0.4
Forno elettrico	1000	20
Frullatore	700	10
HiFi	5	5
Lampada 325 W	2500	-
Lampada alogena	12	12
Lampada a incandescenza	400	4
Caffettiera elettrica	2.5	0.15
Monitor computer	0.25	0.25
Radiosveglia	5	5
Rasoio elettrico	1500	9
Saldatore	800	20
Sega elettrica	1000	25
Trapano	800	16
TV color	500	4
Ventilatore	180	40

Tabella 2 – Induzione magnetica B generata da comuni elettrodomestici a 50 Hz.

Successivamente, in esecuzione della Legge 36/2001 e del suddetto il D.P.C.M. 08/07/2003, è stato emanato il D.M. ATTM del 29/05/2008, che ha definito i criteri e la metodologia per la determinazione delle fasce di rispetto, introducendo inoltre il criterio della "distanza di prima approssimazione (DPA)" e delle connesse "aree o corridoi di prima approssimazione".

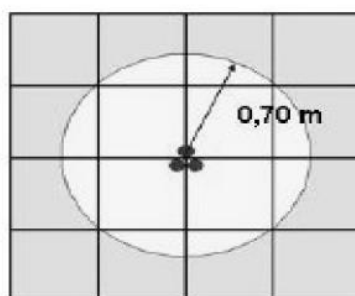
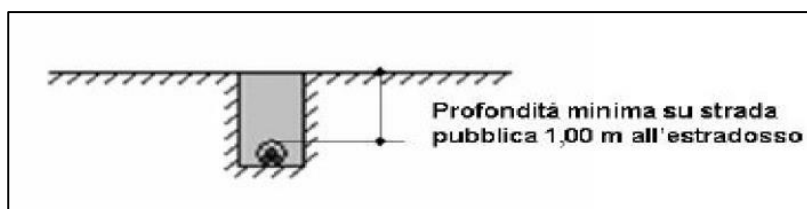
In particolare, si ricorda che con esso sono state date le seguenti definizioni:

- portata in corrente in servizio normale: è la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento;
- portata di corrente in regime permanente: massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato (secondo CEI 11-17 par. 1.2.05);
- fascia di rispetto: è lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità;
- 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 di Dpa si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Inoltre, è stato definito il valore di corrente da utilizzare nel calcolo come la portata in corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata ed in dettaglio:
- per linee aeree con tensione superiore a 100 kV la portata di corrente in servizio normale viene calcolata ai sensi della norma CEI 11-60;
- per le linee in cavo la corrente da utilizzare nel calcolo è la portata in regime permanente così come definita nella norma CEI 11-17.

In base al D.M. Ambiente 29.05.2008, restano escluse dall'applicazione della metodologia le linee esercite a frequenze diverse da quella di rete (50 Hz), le linee definite di classe zero e di prima classe secondo il D.I. 21.03.1988 n.449, nonché le linee in AT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree) in quanto, in tutti questi casi, le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanze previste dal D.I. n.449/88 e dal D.M.LL.PP. del 16.01.1991.

In questo caso le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e dalla Norma CEI EN 50341-2-13 "Linee elettriche aeree con tensione superiore a 1 kV in c.a. - Parte 2-13: Aspetti Normativi Nazionali (NNA) per l'Italia (basati sulla EN 50341-1: 2012).

Nell'immagine successiva è riportata la curva di livello dell'induzione magnetica generata da un cavo cordati ad elica, i cui calcoli sono stati effettuati con il modello tridimensionale "Elico" della piattaforma "EMF Tools", che tiene conto del passo d'elica.



Si evince che il cavo da 185 mmq, con un valore di portata di 325 A, interrato ad 1 m di profondità, genera un campo B pari a 3 μ T ad una distanza di circa 0,7 m. Mentre, con lo stesso metodo analitico, un cavo da 240 mmq, con una portata di 441 A, anch'esso interrato ad 1 m di profondità, ha una DPA di circa 0,9 m dal centro del cavo stesso.

4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO

L'impianto agrivoltaico di Paliano, verrà realizzato su strutture ad inseguitori solari monoassiali, del tipo "2-in-portrait", con una potenza nominale installata di circa 37,807 MWp. Inoltre sarà integrato un sistema di accumulo avente una potenza di circa 12 MW, composto da n.24 battery container aventi capacità di 2 MWh ciascuno. Di seguito si riporta la **Tabella 3** riassuntiva con le principali caratteristiche tecniche dell'impianto necessarie per la redazione della relazione in oggetto:

Potenza nominale dell'impianto [MWp]	37,807
Potenza sistema di accumulo [MWp]	12
Potenza richiesta per la connessione alla rete [MWp]	48
Potenza modulo agrivoltaico monocristallino [Wp]	590
Numero di moduli totali	64.080
Area d'impianto recintata [ha]	43.26
N° cabine elettriche di trasformazione	8
N° cabine di raccolta	1
Lunghezza totale cavo esterno in MT AC [m]	3.500
Lunghezza totale cavi interni in MT AC [m]	7.700

Tabella 3 – Caratteristiche tecniche dell'impianto

5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO

Un impianto agrivoltaico è costituito dei seguenti componenti principali:

- moduli fotovoltaici;
- quadri di parallelo stringhe;
- cablaggi in BT;
- inverter;
- battery containers;
- cabine di trasformazione;
- cavidotti in MT interni ed esterni al campo FV.

Tali componenti o sistemi elettrici, percorsi da corrente, generano campi elettromagnetici di diversa intensità dei quali, ci occuperemo in maniera dettagliata nel proseguo dello studio.

5.1 MODULI FOTOVOLTAICI

Per il layout d'impianto sono stati scelti moduli fotovoltaici bifacciali del tipo LR5-72HGD, della Longi, della potenza nominale di 590 Wp (o similari) in condizioni STC. Ogni modulo dispone inoltre di diodi di by-pass alloggiati in una cassetta IP65 e posti in antiparallelo alle celle così da salvaguardare il modulo in caso di contro-polarizzazione di una o più celle dovuta ad ombreggiamenti o danneggiamenti. Tali moduli generano correnti continue la cui entità è variabile con la radiazione incidente sulla loro superficie captante. La corrente al punto di massima potenza che attraversa i cavi uscenti da un modulo agrivoltaico è pari a circa 13,58 A, decisamente irrilevante per la generazione di un campo elettromagnetico.

Difatti, nella certificazione dei moduli fotovoltaici alla norma CEI 82-8 (IEC 61215) non sono assolutamente menzionate prove di compatibilità elettromagnetica, proprio perché assolutamente irrilevanti.

5.2 MULTI-MPPT STRING INVERTER

Per la conversione dell'energia elettrica prodotta da continua in alternata a 50 Hz sono previsti inverter multistringa, con elevato fattore di rendimento, posizionati a lato delle strutture metalliche degli inseguitori solari. La tipologia dell'inverter utilizzato è il modello della Huawei SUN2000-330KTL-H1 (o similare) avente una potenza nominale in uscita in AC di 300 kW.

Gli inverter sono apparecchiature costituite per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze. D'altro canto il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo). A questo scopo gli inverter prescelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC): EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, EN 50530, IEC 60068, IEC 61683. Gli inverter, viste le correnti in gioco, non emettono campi elettromagnetici rilevanti dannosi per la salute umana o recanti interferenze con altri componenti elettronici.

6. TRASFORMATORE BT/MT

Le cabine di trasformazione dell'impianto, denominate CTi, conterranno oltre ai quadri elettrici di protezione in BT ed MT anche un trasformatore elevatore BT/MT. L'impianto sarà dotato di 8 cabine di trasformazione totali.

I trasformatori verranno alloggiati o in appositi box metallici prefabbricati di opportune dimensioni o direttamente dentro il vano a loro dedicato. In base al DM del 29/05/2008, cap.5.2.1, l'ampiezza della Distanza di Prima Approssimazione per la valutazione dei campi elettromagnetici indotti (DPA) dai componenti elettrici della cabina, si determina considerando la corrente del lato in bassa tensione del trasformatore, tenendo conto di una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore.

Per la determinazione della DPA cioè, si applica la seguente formula:

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0,40942 * x^{0,5242}$$

dove:

- DPA, è la distanza di prima approssimazione (m);
- I, la corrente nominale fornita dagli inverter (A);
- x, è il diametro dei cavi (m).

Considerando che il valore della tensione nominale sul lato BT di un trasformatore di potenza BT/MT all'interno di ogni cabina (tensione in uscita dal quadro BT di collegamento con gli inverter) è pari a 800 V e, tenendo inoltre conto del diametro esterno dei cavi in BT (opportunamente dimensionati usando come riferimento dei cavi 3x(3x300) mmq), si ottengono i seguenti risultati:

	Potenza (kVA)	DPA (m)
Trasformatore A	5000	10,30
Trasformatore B	4000	8,95
Trasformatore C	3150	7,47
Trasformatore D	2500	6,43

Tabella 4 – DPA Trsformatori.

Considerando la disposizione dei trasformatori nelle singole cabine di trasformazione (CTi), si hanno i seguenti risultati:

	Potenza (kVA)	DPA (m)
CT1	8000	17.9
CT2	5000	10.30
CT3, CT6, CT7	6300	14,94
CT4, CT8	4000	8,95
CT5	2500	6,43

Tabella 5 - DPA Cabine di Trasformazione

Nessun ricettore si trova all'interno della circonferenza avente il raggio pari al valore della DPA appena calcolata, centrata nel locale in cui è installato il trasformatore BT/MT all'interno della cabina utente di trasformazione. Inoltre, tali cabine elettriche non sono permanentemente presidiate durante il periodo di produzione dell'impianto FV. Lo sarebbero solamente in fase di manutenzione o di controllo del personale formato, ma questo avverrà soltanto per brevi periodi di tempo.

7. CABINA DI RACCOLTA

In relazione alla specifica ubicazione degli impianti elettrici dei locali cabina di raccolta, ubicata all'interno dell'area dell'impianto agrivoltaico, è applicabile il criterio basato sulla DPA, distanza di prima approssimazione. Questa è stata calcolata sulla base della tabella riportata nell'articolo 5.2.1 dell'allegato al D.M. 29 maggio 2008, considerando che il limite fissato dall'obiettivo di qualità di 3 μ T di cui all'art. 4 del D.P.C.M. 08/07/2003 risulta rispettato per le aree ad una distanza superiore a quanto riportato nelle allegate rappresentazioni grafiche della fascia di rispetto e della D.P.A e cioè di 2,0 m dal fabbricato di pertinenza dell'edificio cabina se venisse installato un trasformatore BT/MT di potenza pari a 630 kVA (**Figura 2**).

Se la cabina fosse priva di trasformatore, la DPA da considerare è quella della linea MT entrante/uscente e pertanto, si rimanda al capitolo successivo per la valutazione del campo elettromagnetico generato dai cavi in MT sui ricettori prossimi al percorso del cavidotto.

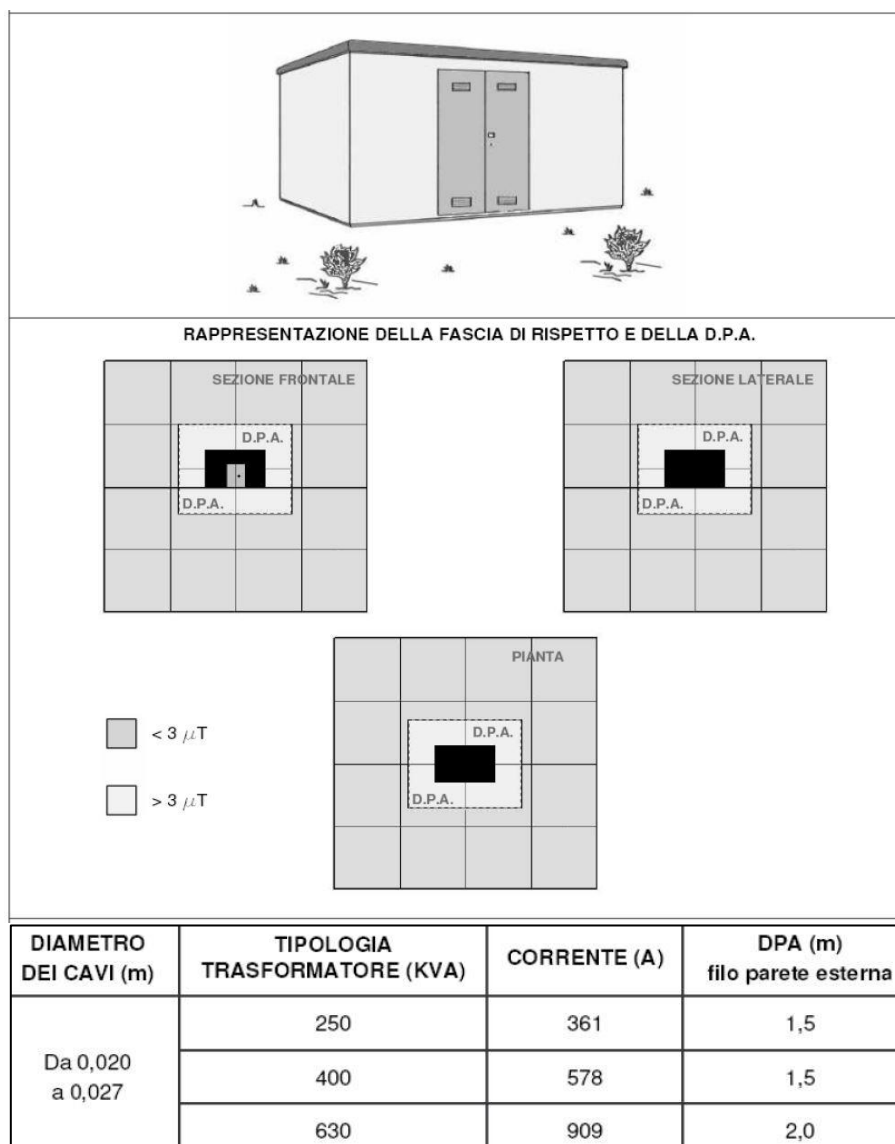


Figura 2 – Valori della Distanza di prima approssimazione per una cabina di consegna con trasformatore.

8. CAVIDOTTI IN MEDIA TENSIONE

Di maggiore interesse, come già accennato, è invece l'esposizione legata al passaggio di corrente sia nei cavidotti interni all'impianto che di collegamento alla stazione elettrica utente, in quanto esiste la possibilità che il percorso di tali cavidotti sia prossimo ad unità abitative (o ricettori). Sarà dunque necessario verificare che l'esposizione associata sia conforme ai limiti di legge.

La progettazione per la costruzione dell'elettrodotto di media tensione, viene redatta nel rispetto del D.M. del 21 Marzo 1988 n.28 (Norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne di classe zero, prima e seconda) e la sua realizzazione avverrà in conformità agli articoli 3, 4 e 6 del DPCM 80.07.93 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi per la protezione della popolazione dalle

esposizione ai campi elettrici e magnetici alle frequenze di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti". Si precisa che, secondo quanto previsto dal Decreto 29 Maggio 2008 (G.U. n.156 del 5 luglio 2006) la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art.6 del DPCM 08 Luglio 2003 non si applica per le linee di media tensione in cavo cordato ad elica (interrato od aereo), in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal D.M. del 21 Marzo 1988 n.28 sopra citato e s.m.i.

Tipicamente, i cavidotti per il trasporto dell'energia prodotta da impianti fotovoltaici sono costituiti da sistemi trifase, per ragioni di efficienza elettrica. Dal punto di vista elettromagnetico, ciò costituisce un vantaggio poiché mentre il campo magnetico generato da un sistema unifilare decade linearmente con la distanza, quello relativo a sistemi trifase decade con il quadrato della distanza, per via dello sfasamento tra le correnti della terna. Più in particolare, come già precedentemente specificato, le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico indotto da un elettrodotto sono principalmente le seguenti:

- 1) Intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- 2) Distanza dalle sorgenti (conduttori);
- 3) Disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- 4) Presenza di sorgenti compensatrici;
- 5) Suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

Con riferimento ad un tratto rettilineo di linea di un cavidotto trifase, si riportano in **Figura 3** le equazioni che descrivono l'andamento dell'induzione magnetica B con la distanza dal cavidotto, nel caso di tre possibili configurazioni geometriche della terna.

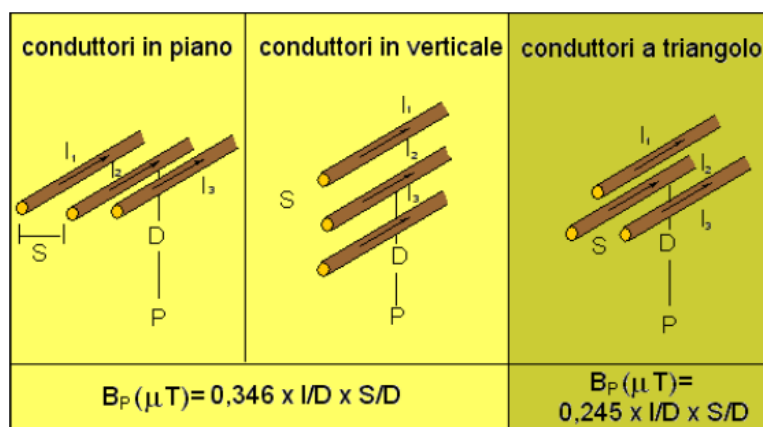


Figura 3 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.

Si osserva dalle relazioni in **Figura 3** che il campo B aumenta linearmente con la corrente di linea I e decade con il quadrato della distanza D dalla linea. Inoltre, il campo B aumenta linearmente con la distanza tra i conduttori S. Ciò rappresenta il motivo per cui cavidotti aerei, che presentano conduttori generalmente più distanti tra loro, generano campi che decadono più lentamente con la distanza rispetto a cavidotti interrati, a parità di corrente. Infine, si noti che la configurazione a triangolo è quella cui si associa minore generazione di campo B, per via dell'opposizione tra le fasi.

Più diffusa un'altra configurazione geometrica della terna, in cui si prevede una struttura elicoidale (cordata) dei conduttori. In tale configurazione la ridotta distanza tra i conduttori e la continua trasposizione delle fasi fornita dalla cordatura (ricordiamo che linee con le fasi trasposte, cioè ottimizzate, abbattano il campo magnetico), fa sì che l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ venga raggiunto a distanze brevissime ($0.5 - 0.8 \text{ m}$) dall'asse del cavo. Pertanto, per cavidotti con tale configurazione, l'impatto elettromagnetico è da considerarsi sempre trascurabile. Da un punto di vista quantitativo, per avere un'idea del campo generato dai cavidotti interni ad un generico impianto, si considerino tre tipologie di cablaggi con portate in corrente di tre classi: 300 A, 600 A e 900 A. Nell'ipotesi di terna piana, si riporta in **Figura 4** l'andamento del campo B generato al livello del suolo dal passaggio di corrente di 300, 600 e 900 A, supponendo una distanza tra i conduttori pari a 5 cm (tipica di un cavidotto MT) ed un interramento di 1 m.

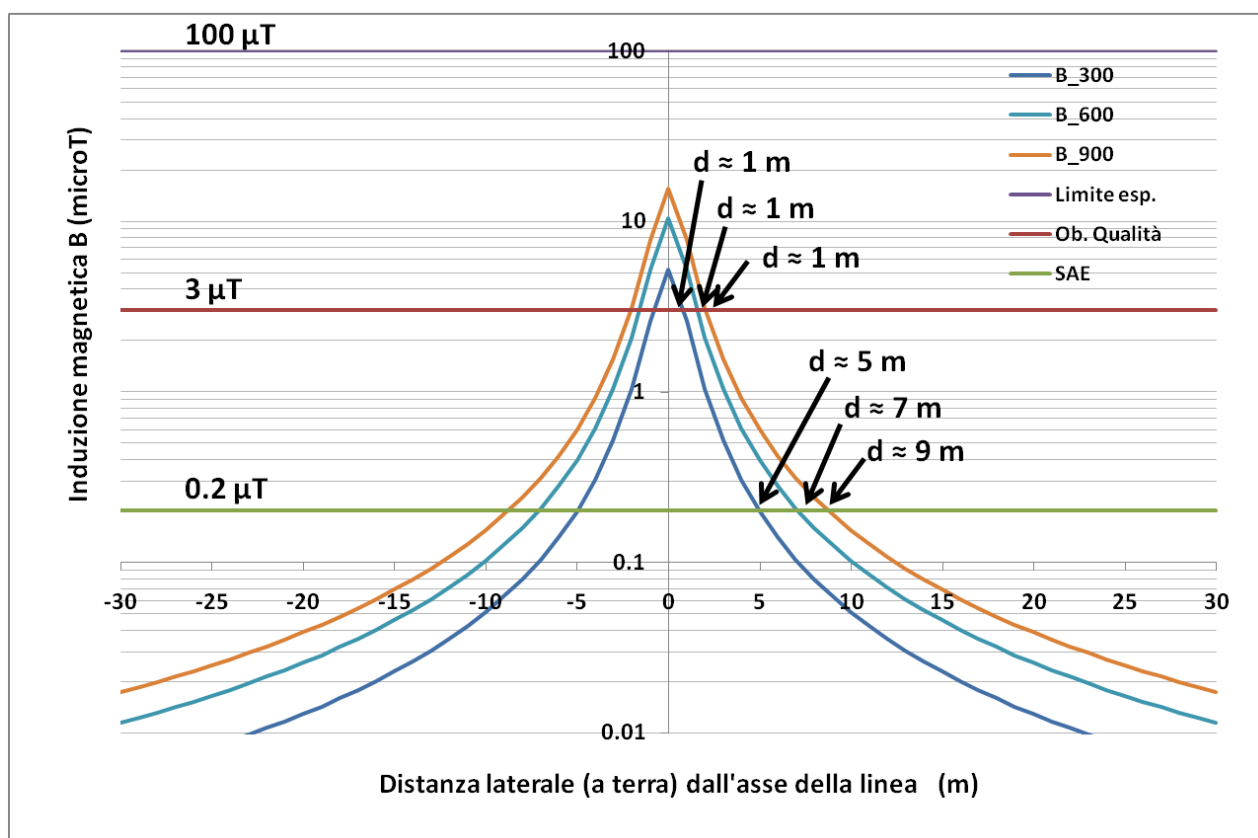


Figura 4 – Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE.

Si osservi dalla stessa figura come il campo magnetico assuma il valore massimo in corrispondenza della minima distanza dei conduttori dal suolo, ossia in corrispondenza (sopra) l'asse della linea, e decada molto rapidamente con la distanza laterale. Nella stessa figura sono indicati i valori di riferimento indicati dalla normativa: limite di esposizione (100 μT) e Obiettivo di Qualità per la progettazione di nuovi elettrodotti (3 μT). È anche indicata la Soglia di

Attenzione Epidemiologica (SAE) di $0.2 \mu\text{T}$, seppure essa non sia un limite di legge. Con riferimento a tali valori, si sono indicate le distanze oltre le quali il campo B è al di sotto di tali limiti. In particolare, il limite di esposizione di $100 \mu\text{T}$ non viene mai raggiunto. L'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$, che è il principale riferimento normativo per i cavidotti del presente progetto, è superato solo nelle immediate vicinanze del cavidotto, ma già entro 1 m di distanza il campo B è inferiore a $3 \mu\text{T}$. Infine, la SAE di $0.2 \mu\text{T}$ è raggiunta a distanza di 5, 7 e 9 m. In generale, si può osservare come tali distanze siano molto ridotte, per via della bassa distanza tra i conduttori e delle correnti non molto elevate. Già in questa fase appare quindi evidente come l'esposizione legata ai cavidotti di impianto non comporti situazioni critiche dal punto di vista elettromagnetico, salvo casi particolari.

9. ESPOSIZIONE POST-OPERAM DEL PROGETTO

Date le suddette premesse metodologiche, si descrivono di seguito i risultati dello studio del campo elettromagnetico generato sia dai cavidotti interni all'impianto agrivoltaico in MT a 30 kV che collegano le cabine di trasformazione (CTi) alla cabina di raccolta (CDR), sia dal cavidotto di connessione in MT a 30 kV, tra la cabina di raccolta (CDR) e la stazione elettrica utente MT/AT 30/150 kV di Terna Spa, distanti circa 3.500 m.

9.1 CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO

9.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI INTERNI IN MT

Generalmente, la scelta della sezione del conduttore dei cavi dipende dalla corrente d'impiego e dalla portata effettiva del cavo in relazione al suo regime di funzionamento (regime permanente, ciclico o transitorio) ed alle sue condizioni di installazione (temperatura ambientale, modalità di posa, numero di cavi e loro raggruppamento, etc.) (CEI 11-17). I collegamenti in MT saranno realizzati in conformità allo schema elettrico unifilare mediante cavi in alluminio con tensione d'isolamento 30 kV. I cavidotti interni in MT saranno interrati ad una profondità di circa 1,2 m dal livello del suolo.

Il cavo utilizzato in MT per la connessione tra le cabine di trasformazione e la cabina di raccolta sarà del tipo ARE4H5(AR)E (o similare) unipolare, del tipo "air-bag", conforme alle specifiche TERNA DC4385 e disposto a trifoglio nello scavo. Si riportano di seguito le caratteristiche del suddetto cavo:

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	peso del cavo	raggio minimo di curvatura	sezione nominale	posa in aria a trifoglio	posa interrata a trifoglio p=1 °C m/W	posa interrata a trifoglio p=2 °C m/W
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation trefoil	underground installation trefoil p=1 °C m/W	underground installation trefoil p=2 °C m/W
(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm ²)	(A)	(A)	(A)
Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV						Caratt. elettriche / Electrical charact. - 18/30 kV			
50	8,2	25,5	40,7	1110	550	50	187	167	131
70	9,7	25,6	40,8	1150	550	70	231	204	159
95	11,4	26,5	41,8	1240	560	95	279	244	189
120	12,9	27,4	42,9	1350	580	120	321	277	214
150	14,0	28,1	43,6	1440	580	150	361	310	238
185	15,8	29,5	45,1	1580	600	185	415	351	269
240	18,2	31,5	47,4	1810	630	240	489	408	311
300	20,8	34,7	50,9	2120	670	300	563	459	350
400	23,8	37,9	54,6	2520	730	400	657	526	399
500	26,7	41,0	58,1	2970	770	500	761	650	453
630	30,5	45,6	63,0	3590	840	630	883	682	515

Figura 5 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT

9.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO

Si riporta nella **Figura 6** una rappresentazione grafica della sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT con profondità di posa pari a 1,2 m, con larghezza variabile in relazione al numero di terne posate nello scavo:

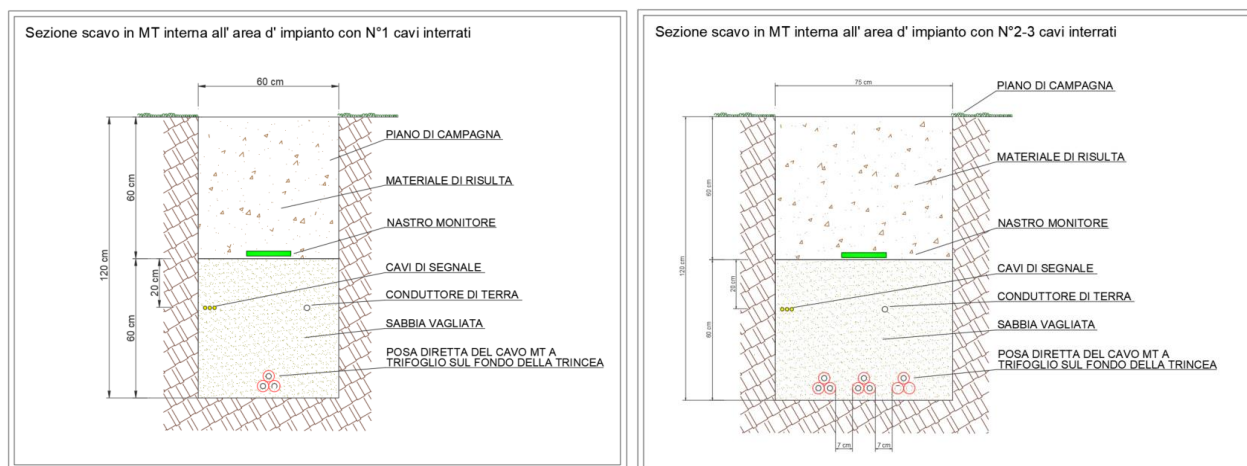


Figura 6 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto

9.1.3 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI

Nella **Figura 7** è riportata una porzione del layout dell'impianto agrivoltaico in cui sono visibili: in magenta ed in rosso rispettivamente le cabine di trasformazione e la cabina di raccolta, in magenta il percorso dei cavidotti interni, in verde la posizione dei possibili ricettori potenzialmente sensibili al campo B interno.



Figura 7 – Layout dell’impianto con indicazione dei cavidotti interni e dei recettori potenzialmente sensibili

I recettori più vicini al percorso dei cavi interni in MT dell’impianto sono i recettori R1 ed R2 le cui distanze sono riportate in **Tabella 6**.

Ricettore	Distanza [m]
R1	290
R2	390

Tabella 6 – Distanza minima tra recettori e scavi per cavi interni.

Calcolo del valore d’induzione B sul Ricettore R1 prossimo all’area d’impianto:

Lo scavo più vicino al ricettore R1 è quello tra la CT7 e CT6. All’interno di questo scavo saranno depositati 2 terne di cavi del tipo ARE4H5(AR)E (o similare) unipolare, del tipo “air-bag”, di sezione pari a 500 mmq ciascuna.

La corrente che percorre tale cavo, genera un valore d’induzione B direttamente proporzionale alla portata del cavo. Il calcolo del campo elettromagnetico generato dal cavidotto è stato

effettuato utilizzando la formula analitica riportata al paragrafo 2.2, nell'ipotesi di terna di cavi a geometria triangolare.

Per completezza si riporta la suddetta espressione analitica:

$$B = 0.245 \cdot \frac{I \cdot S}{D^2}$$

essendo I la corrente di linea, S la distanza tra conduttori e D la distanza radiale dalla linea.

È possibile ed utile ricavare l'espressione della distanza dall'asse della linea a livello del suolo (distanza laterale), oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto dell'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ (d è la profondità di posa):

$$R_0 = \sqrt{0.082 \cdot I \cdot S - d^2}$$

Quanto all'intensità di corrente utilizzata nel calcolo, ai sensi del capitolo 5.1.1 "Corrente di calcolo" dell'allegato al DMATT 29 maggio 2008 (G.U. n. 156 del 5 luglio 2008): "Per le linee in cavo la corrente da utilizzare nel calcolo è la portata in regime permanente così come definita nella norma CEI 11-17". Quest'ultima definisce la portata in regime permanente come il massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato.

Il campo di induzione magnetica B generato dai cavi interrati assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva riportata in **Figura 8**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

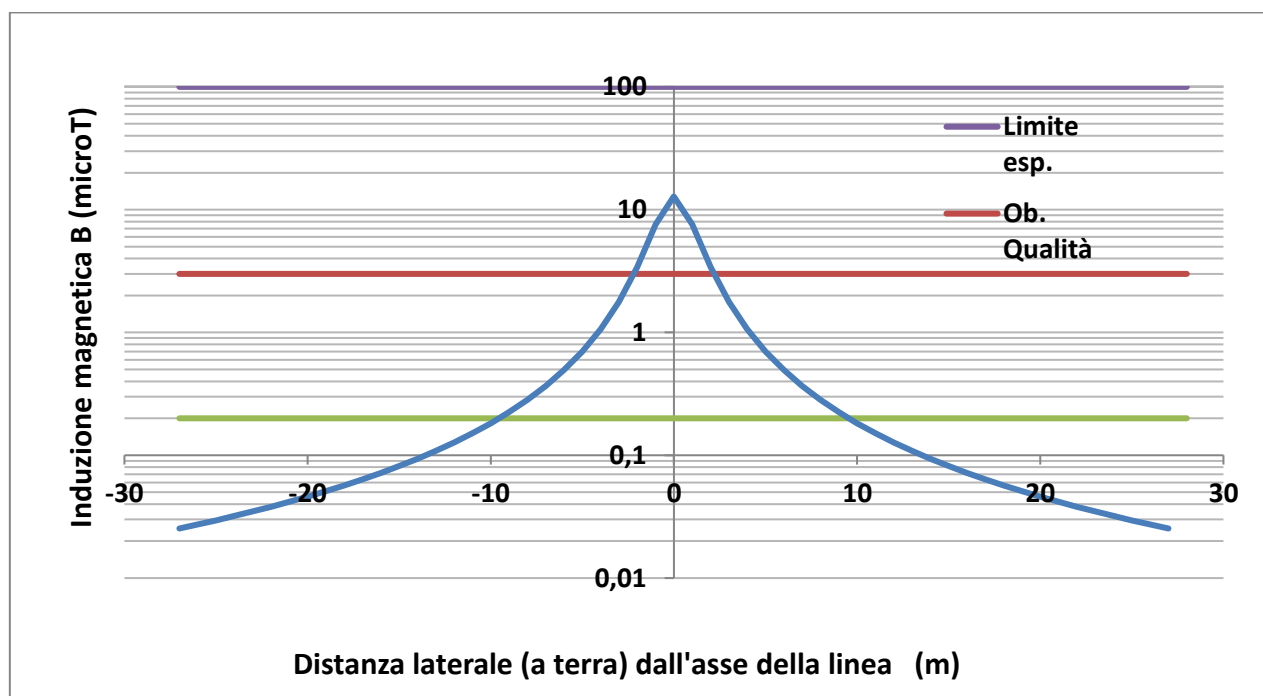


Figura 8 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 7** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 8**. Il punto 0 rappresenta il punto in cui si proietta ortogonalmente il cavidotto (posato a 1,2 m di profondità) sul manto stradale. Si noti che in questo punto si ha valore di B pari a circa 12,81 μ T.

Punti	Distanza [m]	B (μ T)
0	0,0	12,81
1	1,0	7,60
2	2,0	3,41
3	3,0	1,78
4	4,0	1,06
5	5,0	0,70
6	6,0	0,49
7	7,0	0,37
8	8,0	0,28
9	9,0	0,22
10	10,0	0,18

Tabella 7 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale.

Il ricettore R1 è distante circa 290 metri dallo scavo. Come si evince dal grafico precedente, a tale distanza, il valore del campo B è prossimo allo zero e dunque di valore trascurabile sul ricettore in oggetto. Dalla **Tabella 7** si evince che l'obiettivo di qualità viene raggiunto ad una distanza pari a circa 2,5 m dal punto 0 della superficie del terreno.

Calcolo del valore d'induzione B sul Ricettore R2 prossimo all'area d'impianto:

Lo scavo più vicino al ricettore R2 è quello tra la CT4 e CT5. All'interno di questo scavo saranno depositati 2 terne di cavi del tipo ARE4H5(AR)E (o similare) unipolare, del tipo "air-bag; due terne di sezione 400 mm².

La corrente che percorre tale cavo, genera un valore d'induzione B direttamente proporzionale alla portata del cavo. Il calcolo del campo elettromagnetico generato dal cavidotto è stato effettuato utilizzando la formula analitica riportata al paragrafo 2.2, nell'ipotesi di terna di cavi a geometria triangolare.

Il campo di induzione magnetica B generato dai cavi interrati assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva riportata in **Figura 9**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

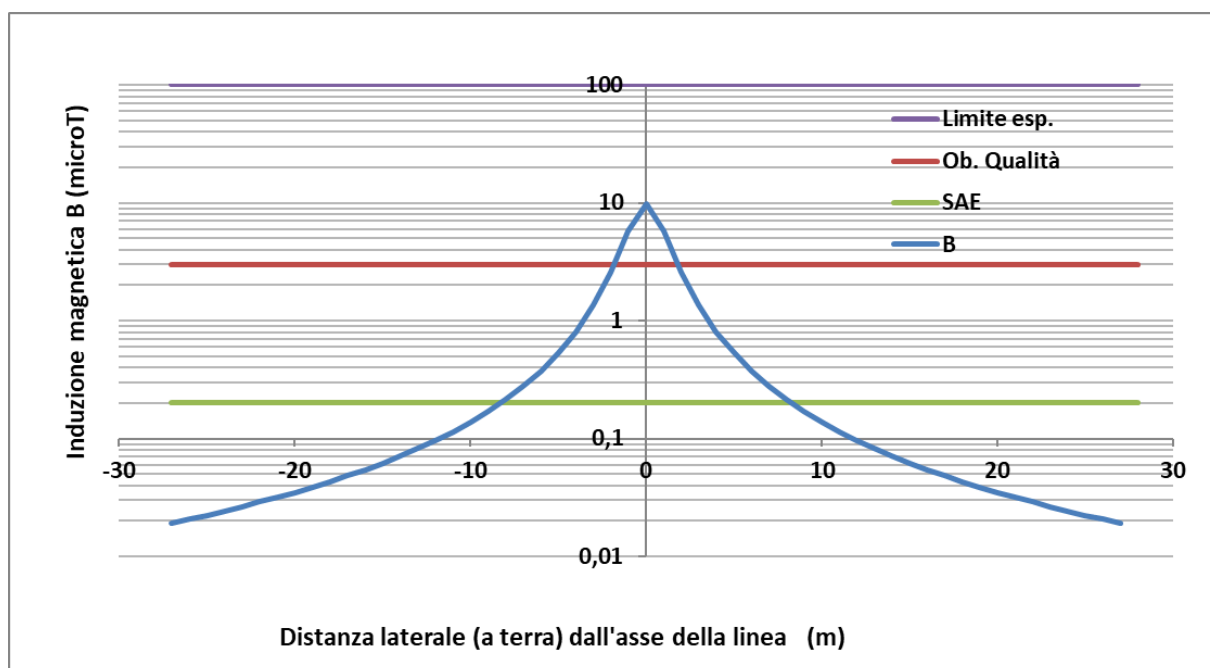


Figura 9 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 8** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 9**. Il punto 0 rappresenta il punto in cui si proietta ortogonalmente il cavidotto, posato a 1,2 m di profondità, sul manto stradale, si noti che in questo punto si ha valore di B pari a circa 9,75 μT .

Punti	Distanza [m]	$B(\mu T)$
0	0,0	9,75
1	1,0	5,78
2	2,0	2,59
3	3,0	1,35
4	4,0	0,81
5	5,0	0,53
6	6,0	0,38
7	7,0	0,28
8	8,0	0,22
9	9,0	0,17
10	10,0	0,14

Tabella 8 - Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale

Il ricettore R2 è distante circa 390 metri dallo scavo. Come si evince dal grafico precedente, a tale distanza, il valore del campo B è prossimo allo zero e dunque di valore trascurabile sul ricettore in oggetto. Dalla **Tabella 8** si evince che l'obiettivo di qualità viene raggiunto ad una distanza pari a circa 2 m dal punto 0 della superficie del terreno.

9.2 CAVIDOTTO ESTERNO DI CONNESSIONE TRA LA CABINE DI RACCOLTA E LA STAZIONE ELETTRICA UTENTE

9.2.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT

Anche in questo caso, la scelta della sezione del conduttore, dipende dalla corrente d'impiego e dalla portata effettiva del cavo in relazione al suo regime di funzionamento ed alle sue condizioni di installazione (CEI 11-17). Il collegamento in MT tra la cabina di raccolta e la stazione elettrica utente sarà realizzato in conformità allo schema elettrico unifilare allegato al seguente progetto, mediante cavi in corda di rame, con tensione d'isolamento 30 KV e interrati ad una profondità di circa 1,2 m dal livello del suolo.

La connessione avverrà mediante n.3 terne di cavi del tipo ARE4H5(AR)E (o similare) unipolare del tipo "air-bag, cordati ad elica visibile, disposti a trifoglio nello scavo, aventi ciascuno una sezione nominale di 500 mmq ed interrati con protezione meccanica aggiuntiva. Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche dei cavi in questione:

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	peso del cavo	raggio minimo di curvatura	sezione nominale	posa in aria a trifoglio	posa interrata a trifoglio p=1 °C m/W	posa interrata a trifoglio p=2 °C m/W
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation trefoil	underground installation trefoil p=1 °C m/W	underground installation trefoil p=2 °C m/W
(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm ²)	(A)	(A)	(A)
Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV						Caratt. elettriche / Electrical charact. - 18/30 kV			
50	8,2	25,5	40,7	1110	550	50	187	167	131
70	9,7	25,6	40,8	1150	550	70	231	204	159
95	11,4	26,5	41,8	1240	560	95	279	244	189
120	12,9	27,4	42,9	1350	580	120	321	277	214
150	14,0	28,1	43,6	1440	580	150	361	310	238
185	15,8	29,5	45,1	1580	600	185	415	351	269
240	18,2	31,5	47,4	1810	630	240	489	408	311
300	20,8	34,7	50,9	2120	670	300	563	459	350
400	23,8	37,9	54,6	2520	730	400	657	526	399
500	26,7	41,0	58,1	2970	770	500	761	650	453
630	30,5	45,6	63,0	3590	840	630	883	682	515

Figura 10– Caratteristiche tecniche del cavo in MT da 500 mmq

9.2.2 TIPOLOGIA DI SCAVO

I cavi saranno interrati, protetti da tubo in PVC opportunamente dimensionato con diametro minimo di 58.1 mm, ed installati normalmente in una trincea della profondità di 1,2 m, con

disposizione delle fasi a trifoglio. Nella figura successiva sono rappresentate due tipologie di scavi in relazione al tipo di percorso stradale:

SEZIONI TIPO CAVIDOTTO INTERRATO IN MT ESTERNO ALL' AREA D'IMPIANTO: CONNESSIONE CDR-SU

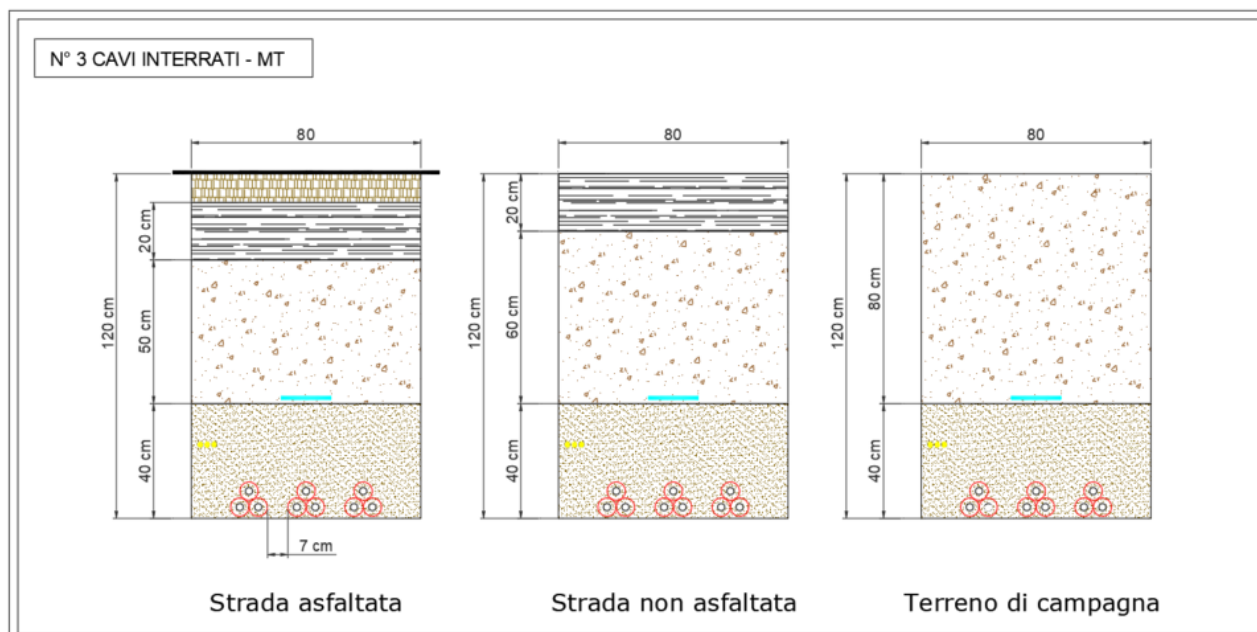


Figura 11– Sezioni degli scavi dei cavidotti in MT

Di seguito si riportano i materiali di riempimento per le tipologie di scavi:



Figura 12– Materiali di riempimento per scavo cavi esterni

9.2.3 PERCORSO DEL CAVIDOTTO E RICETTORI

Dal quadro elettrico in MT a 30 kV in uscita dalla cabina di consegna, il cavidotto interrato, con cavo della sezione di 500 mmq ciascuno, trasporteranno l'energia complessiva prodotta dall'impianto agrivoltaico e sistema di accumulo, fino alla stazione elettrica utente MT/AT 30/150 kV, la quale sarà collegata alla futura stazione della RTN di proprietà della società Terna SpA, da realizzarsi nel territorio comunale di Anagni.

La **Figura 13** mostra in dettaglio il percorso del cavidotto in arancione, in rosso è riportata la futura Stazione elettrica utente, in azzurro la posizione della futura Stazione Elettrica della RTN, in blu l'area di impianto.

Nelle figure successive invece, sono riportati in dettaglio i ricettori individuati lungo il percorso del cavidotto potenzialmente più sensibili perché più vicini al percorso dei cavi.

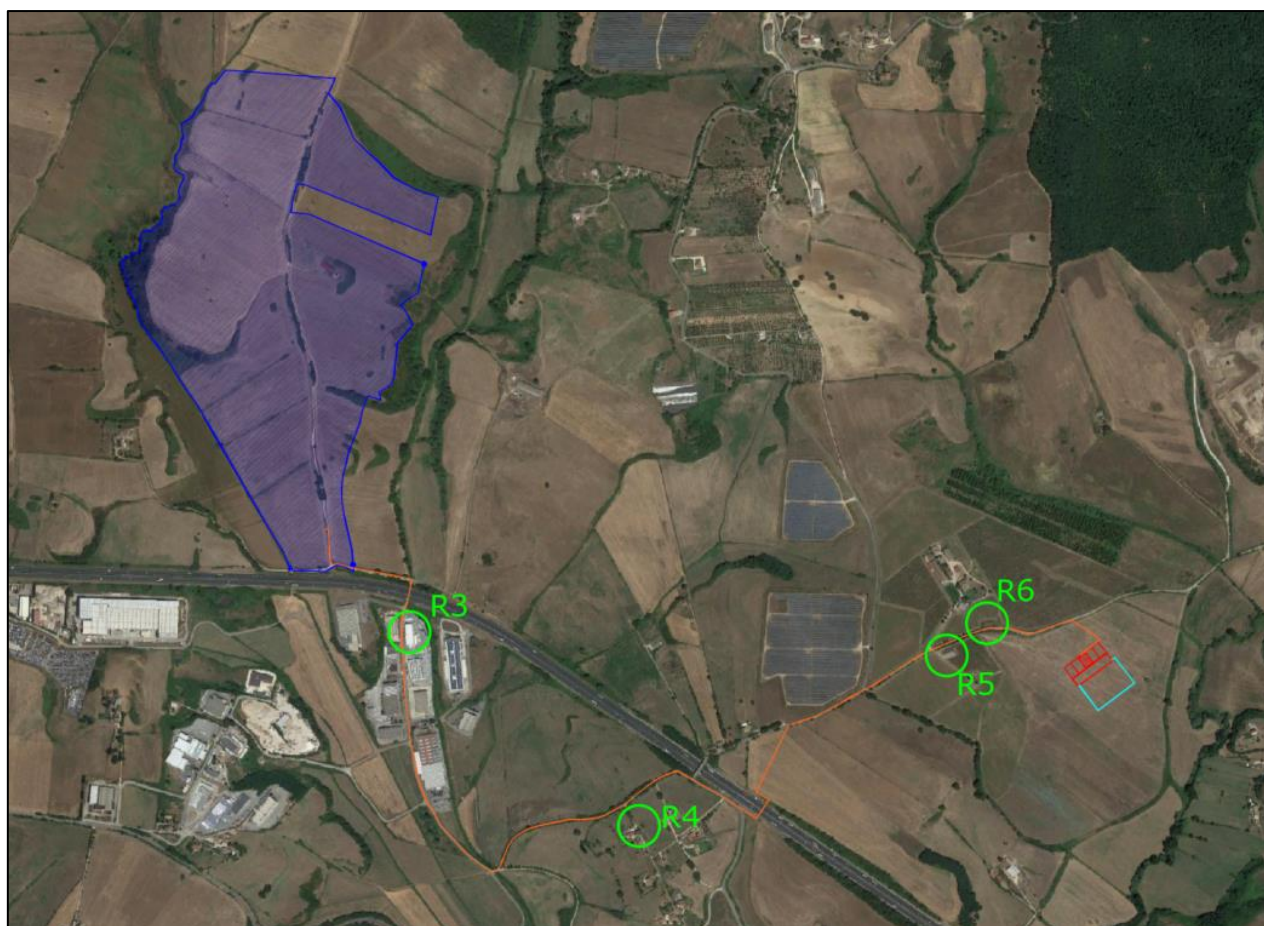


Figura 13– Inquadramento su ortofoto

Dalla figura precedente osserviamo che il cavidotto passa per un complesso industriale e vicino a un complesso residenziale. Per queste due zone è stato preso in considerazione un unico ricettore cioè quello più vicino ai bordi strada.

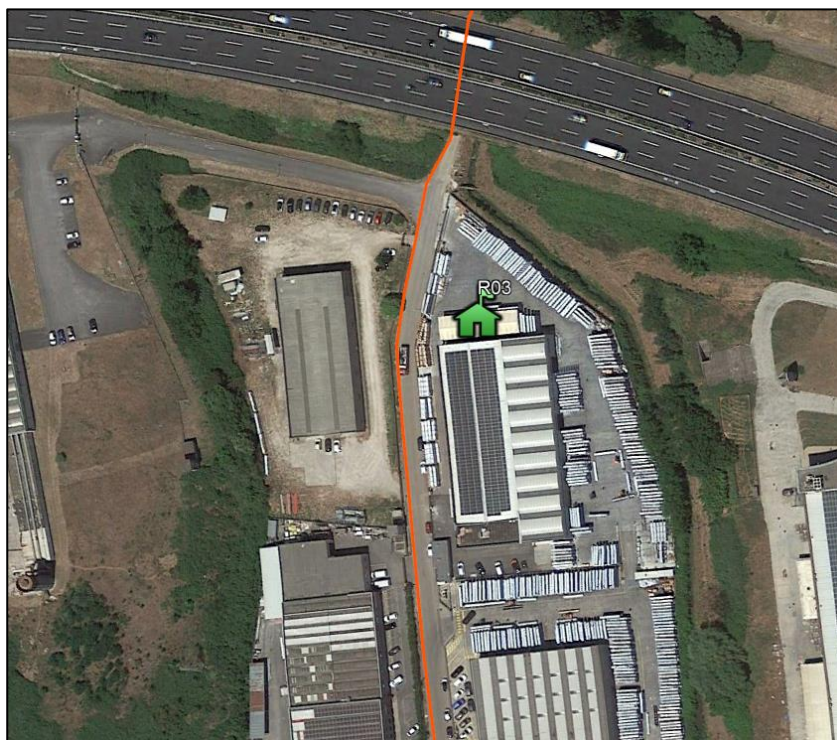


Figura 14- Inquadramento su ortofoto-posizione del ricevitore R03

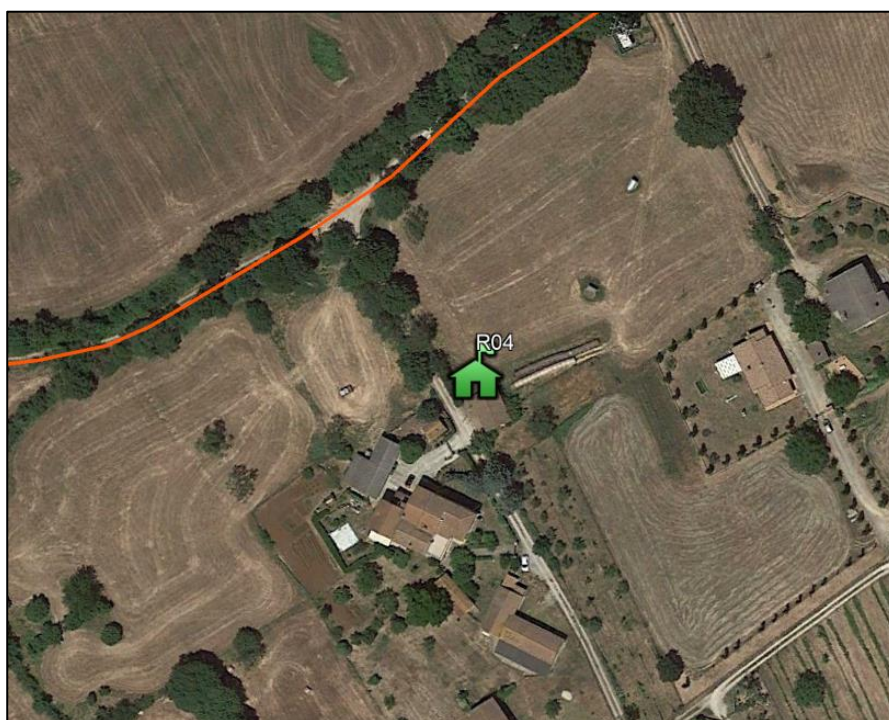


Figura 15 - Inquadramento su ortofoto-posizione del ricevitore R04

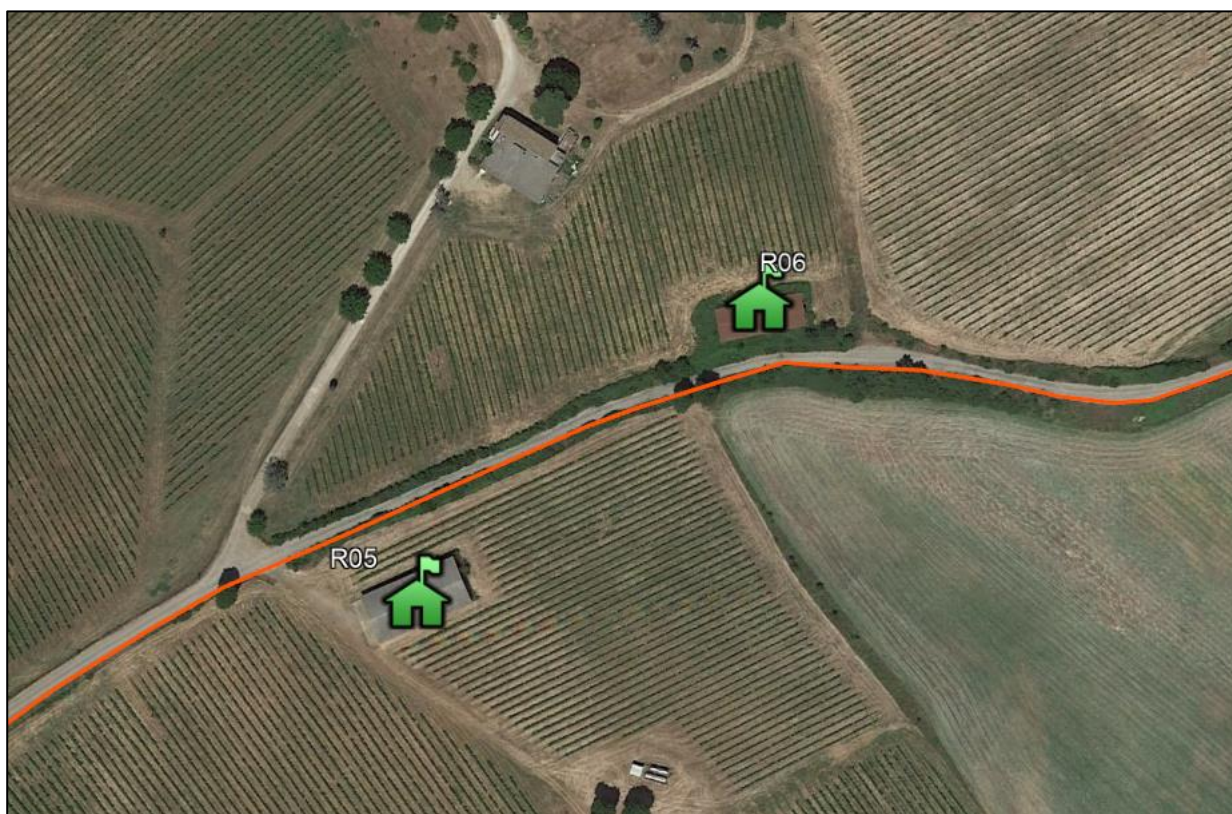


Figura 16 - Inquadramento su ortofoto-posizione dei recettori R05 e R06

La **Tabella 9** seguente, elenca le distanze minime tra i ricettori ed il tracciato del cavidotto che collega la cabina di raccolta con la stazione elettrica utente, nel caso in cui lo scavo venga realizzato nel lato della strada prossimo al ricettore, come riportato nelle figure precedenti.

Ricettore	Distanza [m]
R03	5,5
R04	54
R05	19
R06	5,5

Tabella 9– Distanze tra i ricettori dislocati lungo il percorso del cavidotto di evacuazione

9.2.4 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B

Il campo di induzione magnetica B generato dai cavi interrati assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva riportata in **Figura 18**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

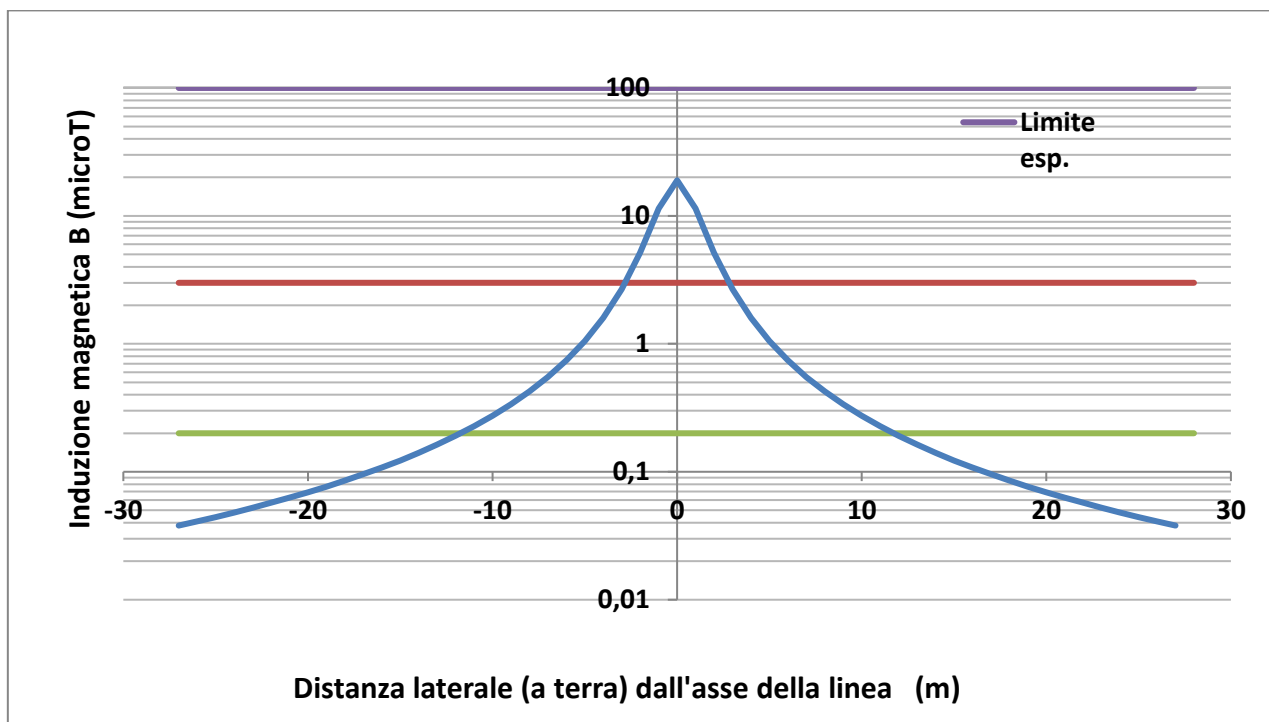


Figura 17 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.

Nella **Tabella 10** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 18**.

Punti	Distanza [m]	B(μT)
0	0,0	18,97
1	1,0	11,44
2	2,0	5,14
3	3,0	2,67
4	4,0	1,60
5	5,0	1,05
6	6,0	0,74
7	7,0	0,55
8	8,0	0,42
9	9,0	0,34
10	10,0	0,27

Tabella 10 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per i ricettori lungo il percorso del cavidotto di evacuazione

Dalla **Tabella 10**, si nota che l’obiettivo di qualità viene raggiunto ad una distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sulla strada, di circa 2,9 m. Non si ravvisa nessun ricettore potenzialmente sensibile ad una distanza inferiore a quella calcolata.

Eventualmente, per ridurre ulteriormente il campo B nei tratti stradali prossimi ai ricettori più esposti al campo di induzione elettromagnetica, esistono ad esempio le possibili seguenti soluzioni:

- interro dei cavi a profondità maggiore;
- distanziamento dei cavi dal ricettore;
- schermatura dei cavi con canalina o tubazione metallica, ad alta permeabilità, nel tratto più vicino al ricettore.

10. CARATTERISTICHE DELL' IMPIANTO DI ACCUMULO

Verrà realizzato un sistema di accumulo in un'area interna a quella dell'impianto ed avrà le seguenti caratteristiche tecniche:

BESS LAYOUT		
Energia complessiva dell'impianto	48	MWh
Potenza dell'impianto	12	MW
Tempo di carica/scarica	4	h
Battery Container - Capacity	2	MWh
Battery Container - Power	0,5	MW
Numero di container	24	
Inverter (FreeMAQ PCSK o MULTI PSCK)	n.6x2005	KVA
Transformer capacity	n.3x5000	KVA
Cabina Servizi aux	1	

Tabella 11 - Caratteristiche tecniche dell'impianto BESS

Le cabine di trasformazione-inverter saranno collegate ad anello tra loro ed infine con la cabina di raccolta dell'impianto agrivoltaico tramite una terna di cavi tripolari, cordati ad elica visibile del tipo "air-bag" da 185 mmq, interrati a circa 1,2 m di profondità.

10.1 BATTERY CONTAINER

L'emissione dei campi elettromagnetici generati dai sistemi battery containers sarà evitata grazie all'installazione delle batterie elettrochimiche in moduli e racks protetti da involucri metallici ed ubicati in appositi container (anch'essi metallici) tali da ridurre notevolmente il B generato dai cablaggi elettrici interni che collegano le batterie e i vari apparati e dispositivi elettrici del container.

10.2 CAVI IN MT ALL' INTERNO DELL' AREA BESS

La corrente che percorre i cavi precedentemente descritti, genera un valore d'induzione B direttamente proporzionale alla portata del cavidotto. Il calcolo del campo elettromagnetico generato dal cavidotto è stato effettuato utilizzando la formula analitica riportata al paragrafo 2.2, nell'ipotesi di terna di cavi a geometria triangolare. Ricordiamo che tale ipotesi dà luogo a una soluzione più conservativa rispetto al caso reale (geometria elicoidale) in cui l'ulteriore sovrapposizione delle fasi determina una maggiore attenuazione del campo.

Il campo di induzione magnetica B generato dai cavi interrati assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva riportata in **Figura 19**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

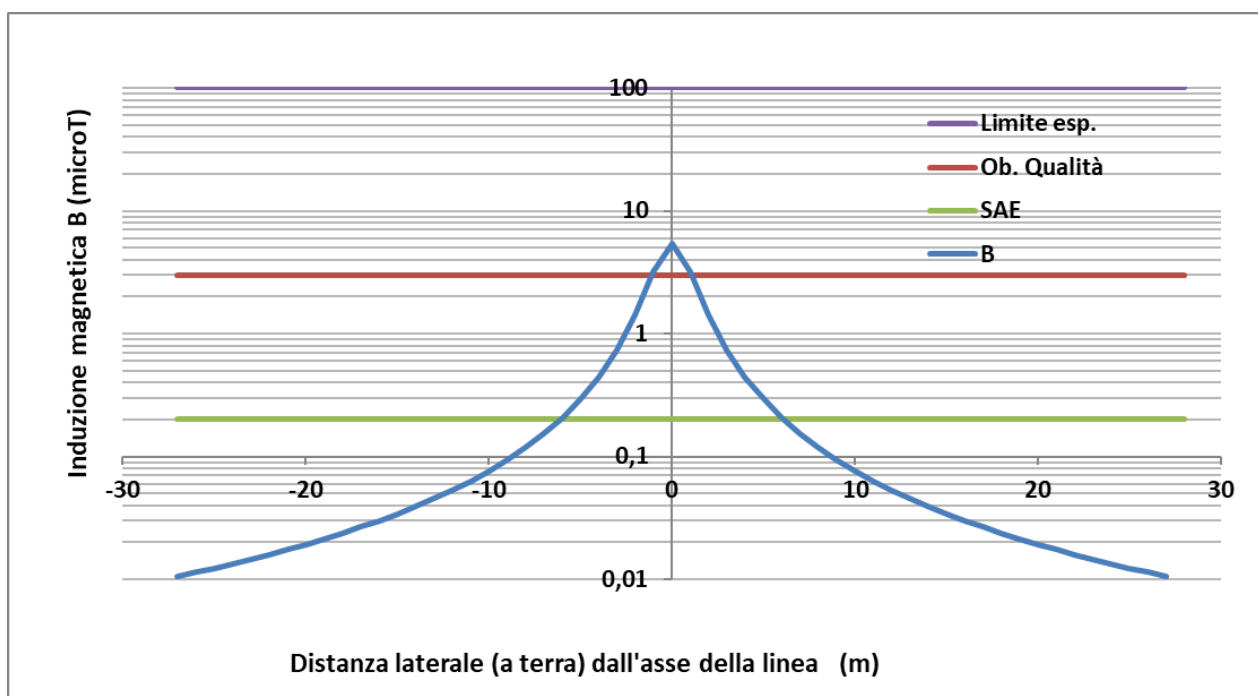


Figura 18 - Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto BESS in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.

Nella **Tabella 12** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 19**.

Punti	Distanza [m]	B(μ T)
0	0,0	5,37
1	1,0	3,18
2	2,0	1,43
3	3,0	0,74
4	4,0	0,45
5	5,0	0,29
6	6,0	0,21
7	7,0	0,15
8	8,0	0,12
9	9,0	0,09
10	10,0	0,14

Tabella 12 - Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori lungo il percorso del cavidotto BESS

Dalla **Tabella 12**, si nota che l'obiettivo di qualità viene raggiunto ad una distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sulla strada, di circa 1.5 m e poiché nessun ricettore si trova ad una simile distanza, sono garantite le condizioni di sicurezza.

Eventualmente, per ridurre ulteriormente il campo B, esistono ad esempio le possibili seguenti soluzioni:

- interro dei cavi a profondità maggiore;
- distanziamento dei cavi dal ricettore;
- schermatura dei cavi con canalina o tubazione metallica, ad alta permeabilità, nel tratto più vicino al ricettore.

11. STAZIONE ELETTRICA UTENTE-MT/AT

Il campo B all'interno della stazione utente di trasformazione è essenzialmente prodotto:

- dal trasformatore MT/AT;
- dalle linee/sbarre aeree di connessione.

L'impatto elettromagnetico generato dalle sbarre aeree è di gran lunga quello più significativo e pertanto si propone di seguito il calcolo del campo prodotto dalle sbarre AT-150 kV condivise tra tutti i produttori.

Tali sbarre AT sono assimilabili ad una linea trifase aerea, con tensione pari a 150 kV, avente una distanza tra i conduttori di circa 2,2 m, un'altezza dal suolo di circa 7,5 m e percorsa da correnti simmetriche ed equilibrate.

Considerando una sbarra in rame la cui portata è di circa 2000 A, il campo di induzione magnetica B generato assumerà il classico andamento secondo la curva riportata in **figura 20**, nella quale sono anche indicati il limite di esposizione e l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

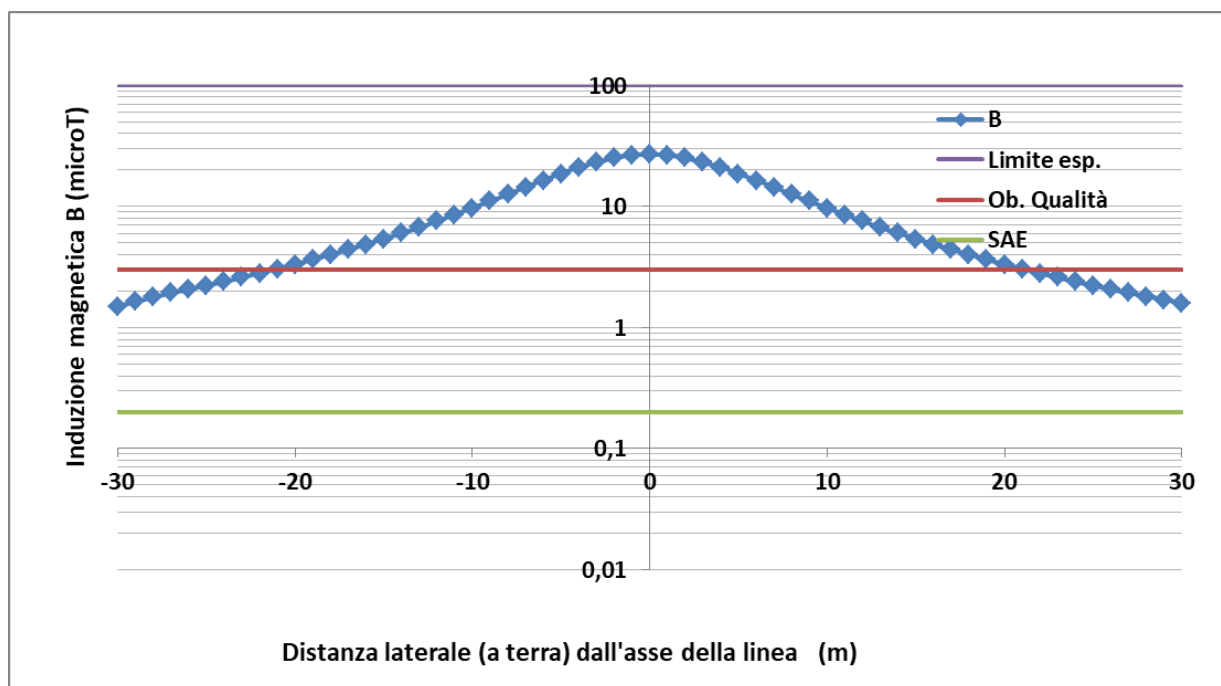


Figura 19 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dalle sbarre AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.

Nella **Tabella 12** seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **figura 20**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro dei cavi della sbarra:

Punti	Distanza [m]	B [μT]
0	7,5	27,1
1	7,6	26,6
2	7,8	25,3
3	8,1	23,3
4	8,5	21,1
5	9,0	18,7
6	9,6	16,5
7	10,3	14,5
8	11,0	12,7
9	11,7	11,1
10	12,5	9,7
11	13,3	8,6
12	14,2	7,6
13	15,0	6,8
14	15,9	6,0
15	16,8	5,4
16	17,7	4,9
17	18,6	4,4
18	19,5	4,0
19	20,4	3,6
20	21,4	3,3
21	22,3	3,1
22	23,2	2,8
23	24,2	2,6
24	25,1	2,4
25	26,1	2,2
26	27,1	2,1
27	28,0	1,9
28	29,0	1,8
29	30,0	1,7
30	30,9	1,6

Tabella 13 – Valori del campo B sulle sbarre in AT in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale sul terreno

Poiché la distanza minima delle sbarre AT dal perimetro lato est della stazione utente di trasformazione è di circa 20 m, il campo elettromagnetico all'esterno della recinzione assume un valore di circa 3,3 μT, attenuandosi man mano fino a raggiungere il valore di 3 μT ad una distanza dal confine di circa 2 m.

Il ricevitore più vicino alla stazione elettrica utente MT/AT, è il ricevitore R6 che dista circa 219 m in linea d'aria dalle sbarre AT.

A tale distanza, il valore del campo B è fuori dal valore del limite di 3 μT. Di conseguenza siamo in condizioni di sicurezza.

Un'altra considerazione da fare è che la stazione utente condivisa con altri produttori sarà collegata allo stallo dedicato nella stazione RTN a 150 kV di Terna SpA, la cui potenza massima in ingresso è pari a circa 200 MW. Per tale valore, la corrente che percorrerà le sbarre condivise in AT, assumerà un valore di circa 856 A, valore dunque inferiore a quello massimo ipotizzato sulle sbarre AT, il quale determinerà di conseguenza un campo B più basso di quello calcolato precedentemente.

12. CONCLUSIONI

Nel presente documento si è descritto il quadro generale e normativo riferito all'esposizione ai campi elettromagnetici di bassa frequenza, quali quelli generati sia dai componenti elettrici principali che costituiscono un impianto agrivoltaico, che dagli elettrodotti interrati. Sono state esaminate le possibili sorgenti dei campi elettromagnetici, descrivendo attraverso opportuni modelli di calcolo, l'andamento del campo magnetico generato dalle configurazioni tipiche dei componenti elettrici e dei cavidotti MT.

Quindi, sotto opportune ipotesi cautelative, si è effettuato il calcolo post-operam dell'esposizione elettromagnetica, individuando in particolare per i cavidotti di progetto le distanze di rispetto per il soddisfacimento dei limiti di esposizione e degli obiettivi di qualità previsti dalla normativa vigente. I risultati hanno indicato che per i principali componenti elettrici costituenti l'impianto e per il cavidotto interno all'impianto, il valore dell'induzione magnetica prodotta, non influenza alcun ricettore sensibile, essendo questi distanti dall'area d'impianto.

Anche l'impatto elettromagnetico generato del cavidotto interrato in MT esterno all'impianto a 30 kV, che collega la cabina di raccolta alla stazione elettrica utente, è risultato trascurabile.

Possiamo ritenere dunque che tutte le opere elettriche connesse al progetto agrivoltaico sono pertanto conformi ai parametri normativi relativi all'impatto elettromagnetico per l'obiettivo di qualità. Si evidenzia che nel calcolo del campo B generato dalle correnti, è stata presa in considerazione la portata del singolo cavo posato nello scavo. Nella realtà, il valore della corrente che circola sui cavi è minore del valore della portata considerata e di conseguenza risulterà più basso quello del campo B prodotto da queste correnti. Si specifica comunque che nel calcolo non è stato possibile tenere conto delle effettive caratteristiche del terreno, informazione necessaria in sede di progetto esecutivo.

Possiamo ritenere dunque che, tutte le opere elettriche connesse al progetto agrivoltaico e di accumulo sono pertanto conformi ai parametri normativi relativi all'impatto elettromagnetico per l'obiettivo di qualità. Si specifica comunque che nel calcolo non è stato possibile tenere conto delle effettive caratteristiche del terreno, informazione necessaria in sede di progetto esecutivo.

Con le considerazioni e le valutazioni sopra esposte e, con le tolleranze attribuibili al modello di calcolo adottato, si può ritenere che la situazione connessa alla realizzazione ed all'esercizio degli impianti in progetto, nelle condizioni ipotizzate, risulta nel complesso compatibile con i limiti di legge e con la salvaguardia della salute pubblica.