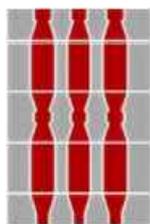


Regione Umbria



Provincia di Terni



Comune di Orvieto



Regione Lazio



Provincia di Viterbo



Comune di Bagnoregio



Committente:

RWE

RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.

via Andrea Doria, 41/G - 00192 Roma

P.IVA/C.F. 06400370968

PEC: rwerenewablesitaliasrl@legalmail.it

Titolo del Progetto:

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "DEIMOS"

DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 43.243,46 kWp UBICATO NEI COMUNI DI ORVIETO (TR) E BAGNOREGIO (VT) E DELLE OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI CASTEL GIORGIO (TR)

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

N° Documento:

RWE-BGR-RIE

ID PROGETTO:	RWE-BGR	DISCIPLINA:	PD	TIPOLOGIA:	R	FORMATO:	A4
--------------	----------------	-------------	-----------	------------	----------	----------	-----------

Elaborato:

Relazione di impatto elettromagnetico

FOGLIO:	1 di 1	SCALA:	-	Nome file:	RWE-BGR-RIE.pdf
---------	---------------	--------	----------	------------	------------------------

Progettazione:



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

Progettista:

dott. ing. Andrea Bartolazzi



Rev.	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	20/11/2023	Prima emissione	SR International	RWE	RWE

INDICE

INDICE DELLE FIGURE	2
1. OGGETTO DEL DOCUMENTO	5
2. INTRODUZIONE	5
2.1 I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI	6
2.2 EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE	7
3. RIFERIMENTI LEGISLATIVI NAZIONALI	9
4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO	13
5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO	13
5.1 MODULI FOTOVOLTAICI.....	13
5.2 MULTI-MPPT STRING INVERTER	14
6. TRASFORMATORE BT/MT	14
7. CABINA DI RACCOLTA	15
8. CAVIDOTTI IN MEDIA TENSIONE	16
9. ESPOSIZIONE POST-OPERAM DEL PROGETTO	19
9.1 CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO	19
9.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI INTERNI IN MT	19
9.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO	20
9.1.3 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI.....	21
9.2 CAVIDOTTO ESTERNO DI CONNESSIONE TRA LA CABINE DI RACCOLTA E LA STAZIONE ELETTRICA UTENTE	27
9.2.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT.....	27
9.2.2 TIPOLOGIA DI SCAVO	27
9.2.3 PERCORSO DEL CAVIDOTTO E RICETTORI.....	28
9.2.4 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B DEL CAVIDOTTO ESTERNO	31
10. STAZIONE ELETTRICA UTENTE-MT/AT	35
6.1 CAVO IN AT – 132 KV	37
6.1.1 CALCOLO DEL CAMPO B DEL CAVO AT	40
11. CONCLUSIONI	42

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE	8
Figura 2 – Valori della Distanza di prima approssimazione per una cabina di consegna con trasformatore.....	16
Figura 3 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.	17
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	18
Figura 5 – Caratteristiche tecniche dei cavi in MT ARE4H5E (sopra) ed ARE4H5EX (sotto) .	20
Figura 6 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto.....	20
Figura 7 – Layout dell'impianto con indicazione dei cavidotti interni e dei recettori potenzialmente sensibili	21
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 - R1-R2.....	23
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	24
Figura 10 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità	26
Figura 11 – Sezioni degli scavi del cavidotto di connessione tra la CDR e la SU	27
Figura 12 – Materiali di riempimento per scavo cavi esterni.....	28
Figura 13 – Inquadramento su ortofoto	29
Figura 14 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore RA.....	30
Figura 15 – <i>Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore RB.....</i>	30
Figura 16 – <i>Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore RC.....</i>	31
Figura 17 – <i>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.</i>	32

Figura 18 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità 34

Figura 19 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dalle sbarre AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità 35

Figura 20 – Inquadramento dell'area della cabina utente di trasformazione e futura stazione RTN con individuazione del ricettore (R) più vicino e del cavidotto AT (verde) di collegamento 37

Figura 21 – Caratteristiche tecniche del cavo in AT a 132 kV 38

Figura 22 – Specifiche tecniche del cavo in AT a 132 kV..... 39

Figura 23 – Sezioni tipiche di scavo e di posa per il cavo in AT kV 40

Figura 24 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità 41

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Limiti della normativa italiana sull'esposizione a campi elettromagnetici a 50 Hz, indicati nel DPCM dell'8 Luglio 2003 10

Tabella 2 – Induzione magnetica B generata da comuni elettrodomestici a 50 Hz 11

Tabella 3 – DPA Trsformatori..... 15

Tabella 4 - DPA Cabine di Trasformazione 15

Tabella 5 – Distanza minima tra ricettori e scavi interni 21

Tabella 6 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale 23

Tabella 7 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale 25

Tabella 8 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale 26

Tabella 9 – Distanze tra i ricettori dislocati lungo il percorso del cavidotto di evacuazione . 31

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..... 32

Tabella 11 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori esterni all'impianto.....	34
Tabella 12 – Valori del campo B sulle sbarre in AT in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale sul terreno.....	36
Tabella 13 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo AT sull'asse stradale.....	41

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 nei territori comunali di Bagnoregio, nella regione Lazio, e Orvieto, nella Regione Umbria, 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/MT (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 30/132 kV (SEU)
- in AT a 132 di connessione tra la SEU e la nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/132 kV della RTN da inserire in entra - esce sull'elettrodotto RTN a 380 kV della RTN "Roma Nord - Pian della Speranza", da realizzarsi nel territorio comunale di Castel Giorgio (TR).

Si rimanda alla Relazione tecnica degli impianti elettrici RWE-BGR-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 interrato. 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 le 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 Absorbption 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.

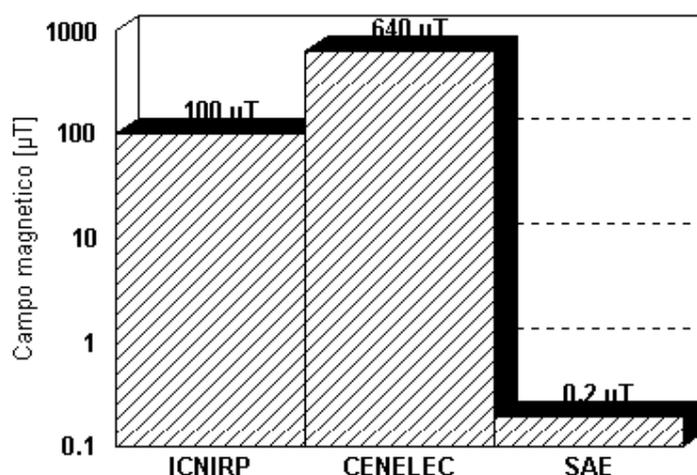


Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE

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 elettromagnetici;
- e) **elettrodotti**: 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

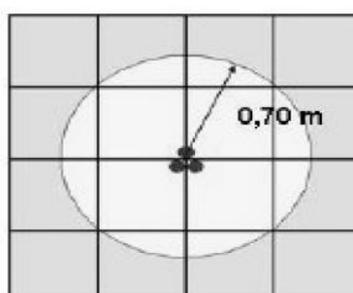
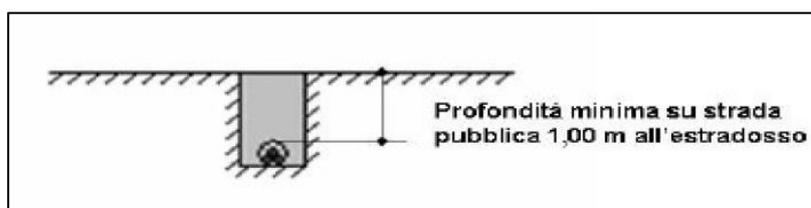
calcolo come la portata in corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata ed in dettaglio:

- 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 denominato "Deimos", verrà realizzato sia su strutture ad inseguitori solari monoassiali, del tipo "1-in-portrait", e sia su strutture fisse al suolo, aventi azimuth pari a 0° e tilt di 25°, con una potenza nominale installata di circa 43,243 MWp. Di seguito si riporta la Tabella riassuntiva con le principali caratteristiche tecniche dell'impianto necessarie per la redazione della relazione in oggetto:

Potenza nominale dell'impianto [MWp]	43,243
Potenza modulo bifacciale monocristallino [Wp]	590
Numero di moduli totali	73.294
Area d'impianto recintata [ha]	60,6
N° cabine elettriche di trasformazione	12
N° cabine di raccolta	1
Lunghezza totale cavo esterno in MT AC [km]	17,75
Lunghezza totale cavi interni in MT AC [km]	5,49

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;
- 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 JKM-590N-72HL4-BDV, della Jinko, 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 13,76 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 uno o due trasformatori elevatori BT/MT. L'impianto sarà dotato di 12 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 i cavi 4x(3x300) mmq), si ottengono i seguenti risultati:

	Potenza (kVA)	DPA (m)
Trasformatore A	1x2500	4,85
Trasformatore B	1x2000	4,32

Tabella 3 – DPA Trsformatori.

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

	Potenza (kVA)	DPA (m)
CT4, CT5, CT6, CT7	2X2500	10,86
CT1, CT2, CT3, CT8, CT9, CT10, CT11	2X2000	9,44
CT12	1X2500	6,42

Tabella 4 - DPA Cabine di Trasformazione

Dall'analisi dei ricettori presenti nelle vicinanze delle cabine elettriche, nessuno 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.

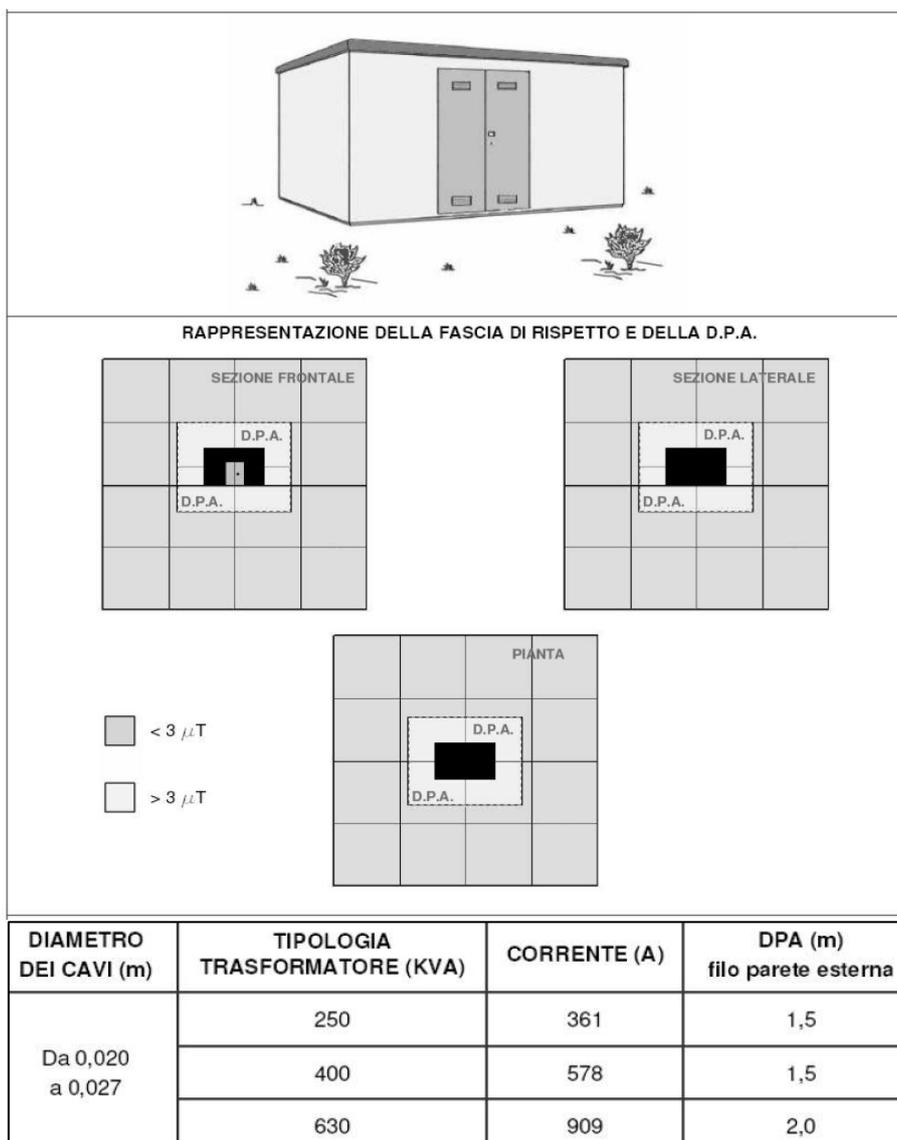


Figura 2 – Valori della Distanza di prima approssimazione per una cabina di consegna con trasformatore

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.

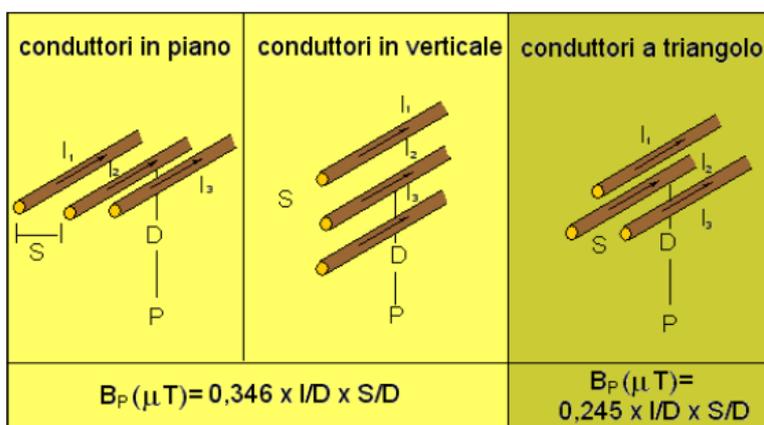


Figura 3 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.

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.

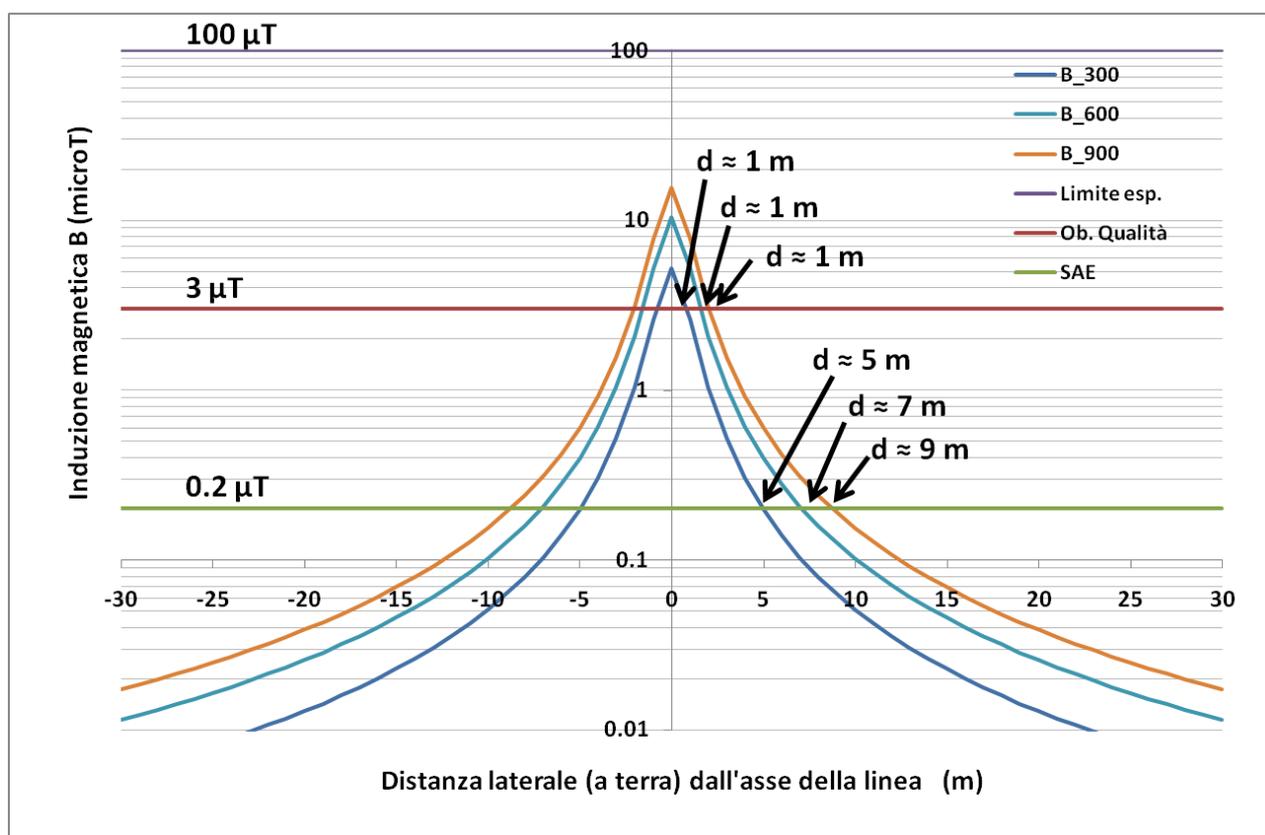


Figura 4 – Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE

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 ($100 \mu\text{T}$) e Obiettivo di Qualità per la progettazione di nuovi elettrodotti ($3 \mu\text{T}$). 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:

- dai cavidotti interni all'impianto agrivoltaico in MT a 30 kV, che collegano le cabine di trasformazione (CTi) alla cabina di raccolta (CDR);
- dal cavidotto di connessione in MT a 30 kV, tra la CDR e la stazione elettrica utente MT/AT 30/132 kV, per una lunghezza di circa 17,75 [km].

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.

I cavi utilizzati per la connessione tra le cabine di trasformazione e la cabina di raccolta saranno del tipo:

- ARE4H5(AR)E (o similare) unipolare, del tipo "air-bag", conforme alle specifiche TERNA DC4385 e disposto a trifoglio nello scavo, aventi sezioni pari a 400 mmq;
- ARE4H5(AR)EX (o similare) tripolare, cordato ad elica visibile, del tipo "air-bag", conforme alle specifiche TERNA DC4385 e disposto a trifoglio nello scavo, con sezioni da 95 e 185 mmq.

Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche dei suddetti cavi:

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

Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV

50	8,2	25,5	34	2480	680
70	9,7	25,6	34	2600	680
95	11,4	26,5	35	2860	700
120	12,9	27,4	36	3120	720
150	14,0	28,1	37	3390	740
185	15,8	29,5	38	3790	760
240	18,2	31,5	42	4440	820
300	20,8	34,7	45	5240	890

Caratt. elettriche / Electrical charact. - 18/30 kV

50	190	175	134
70	235	213	164
95	285	255	196
120	328	291	223
150	370	324	249
185	425	368	283
240	503	426	327
300	581	480	369

Figura 5 – Caratteristiche tecniche dei cavi in MT ARE4H5E (sopra) ed ARE4H5EX (sotto)

9.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO

Si riporta nella **Figura 6** una rappresentazione grafica della sezione tipica di scavi 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:

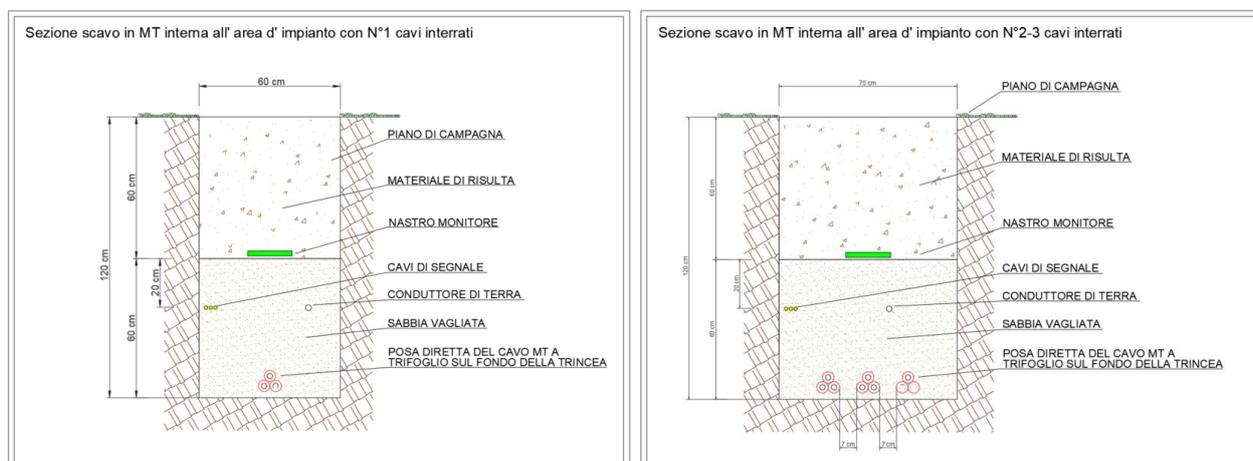


Figura 6 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto

9.1.3 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI

Nella **Figura 7** è riportata l'area d'impianto in cui sono visibili: in magenta, le cabine di trasformazione, in rosso la cabina di raccolta, in magenta il percorso dei cavidotti interni, in giallo la posizione dei possibili ricettori potenzialmente sensibili al campo B generato dai cavi in MT.

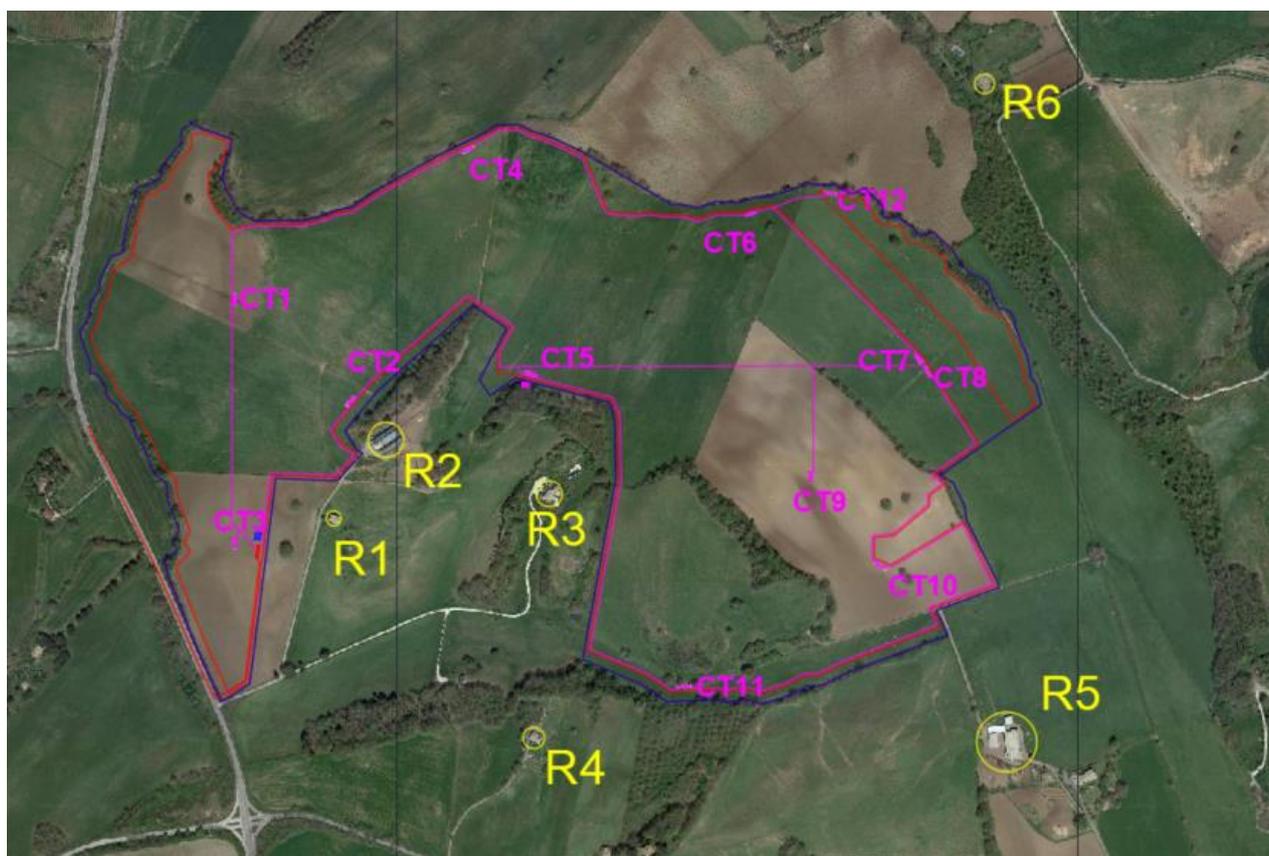


Figura 7 – Layout dell'impianto con indicazione dei cavidotti interni e dei ricettori potenzialmente sensibili

Le distanze dei ricettori più vicini al percorso dei cavi interni in MT all'impianto, sono riportate in **Tabella 6**:

Ricettore	Distanza [m]	Numero di cavi per scavo
R1	58	4
R2	30	4
R3	85	1
R4	140	1
R5	160	1
R6	260	1

Tabella 5 – Distanza minima tra ricettori e scavi interni

Calcolo del valore d'induzione B sui Ricettori R1 ed R2:

Lo scavo più vicino ai ricettori R1 ed R2, è quello tra la CDR e CT2. All'interno di questo scavo saranno depositati sullo stesso piano n.4 terne di cavi, così definite:

- N.1 terne di cavi da 185 mmq;
- N.3 terne di cavi da 400 mmq;

Le correnti che percorrono tali cavi, generano 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 μ 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.

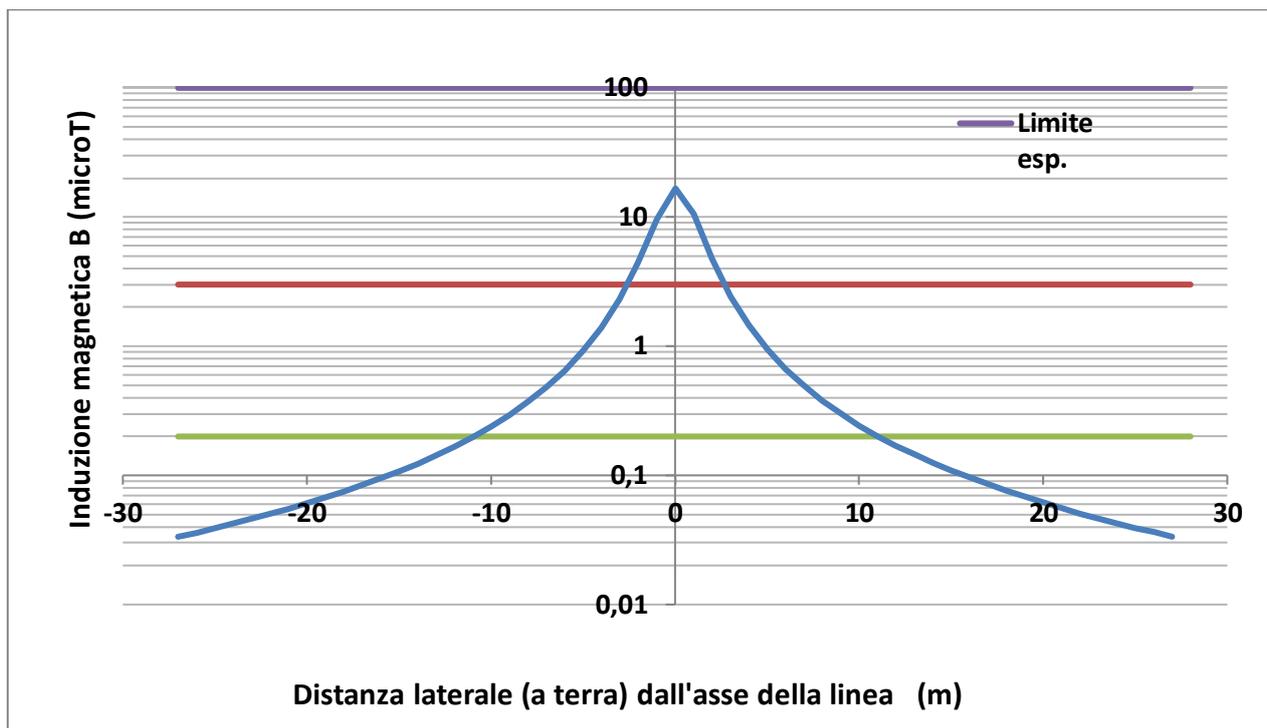


Figura 8 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità - R1-R2

Nella **Tabella 6** 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 16,65 μT .

Punti	Distanza (m)	B (μT)
0	1,20	16,65
1	1,56	10,53
2	2,33	4,73
3	3,23	2,43
4	4,18	1,45
5	5,14	0,95
6	6,12	0,67
7	7,10	0,49
8	8,09	0,38
9	9,08	0,30
10	10,07	0,24

Tabella 6 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale

Il ricevitore più vicino, R2, è distante circa 30 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 ricevitore in oggetto. Dalla **Tabella 6** 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 sui Ricettori R3, R4 e R5:

Lo scavo più vicino ai ricettori R3 e R4, è quello tra la CT5 e la cabina CT11, mentre lo scavo prossimo al ricevitore R5, è il tratto compreso tra la CT10 e CT11. All'interno di questi scavi saranno posate n.1 terne di cavi del tipo ARE4H5(AR)E (o similare) unipolare, del tipo "air-bag", avente una sezione di 400 mmq.

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.

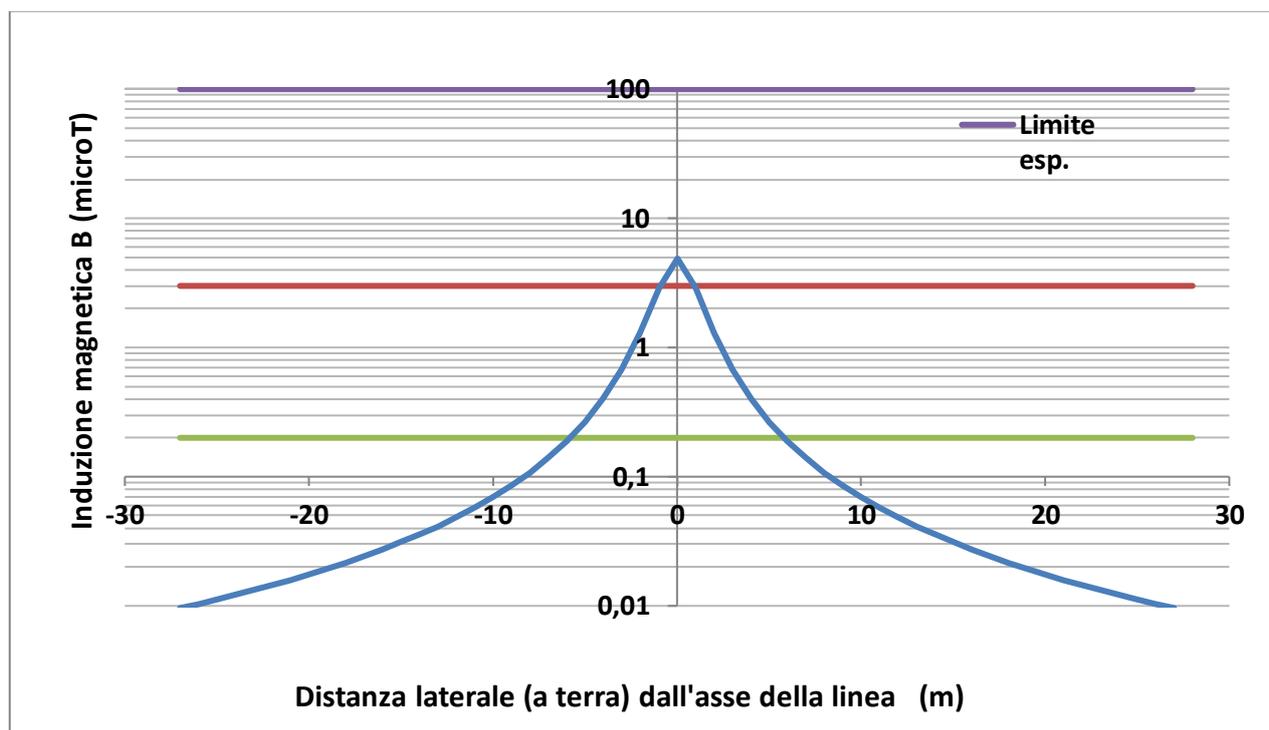


Figura 9 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 7** 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 4,9 μT .

Punti	Distanza (m)	B (μ T)
0	1,20	4,89
1	1,56	2,88
2	2,33	1,29
3	3,23	0,67
4	4,18	0,40
5	5,14	0,27
6	6,12	0,19
7	7,10	0,14
8	8,09	0,11
9	9,08	0,09
10	10,07	0,07

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

Il ricettore R3 è distante circa 85 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 1,2 m dal punto 0 della superficie del terreno.

Calcolo del valore d'induzione B sul Ricettore R6:

Lo scavo più vicino al seguente ricettore, è quello in uscita dalla cabina CT12. All'interno di questo scavo sarà posata n.1 terna di cavi del tipo ARE4H5(AR)EX (o similare) tripolare, ad elica visibile, del tipo "air-bag, avente una sezione di 185 mmq.

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 10**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

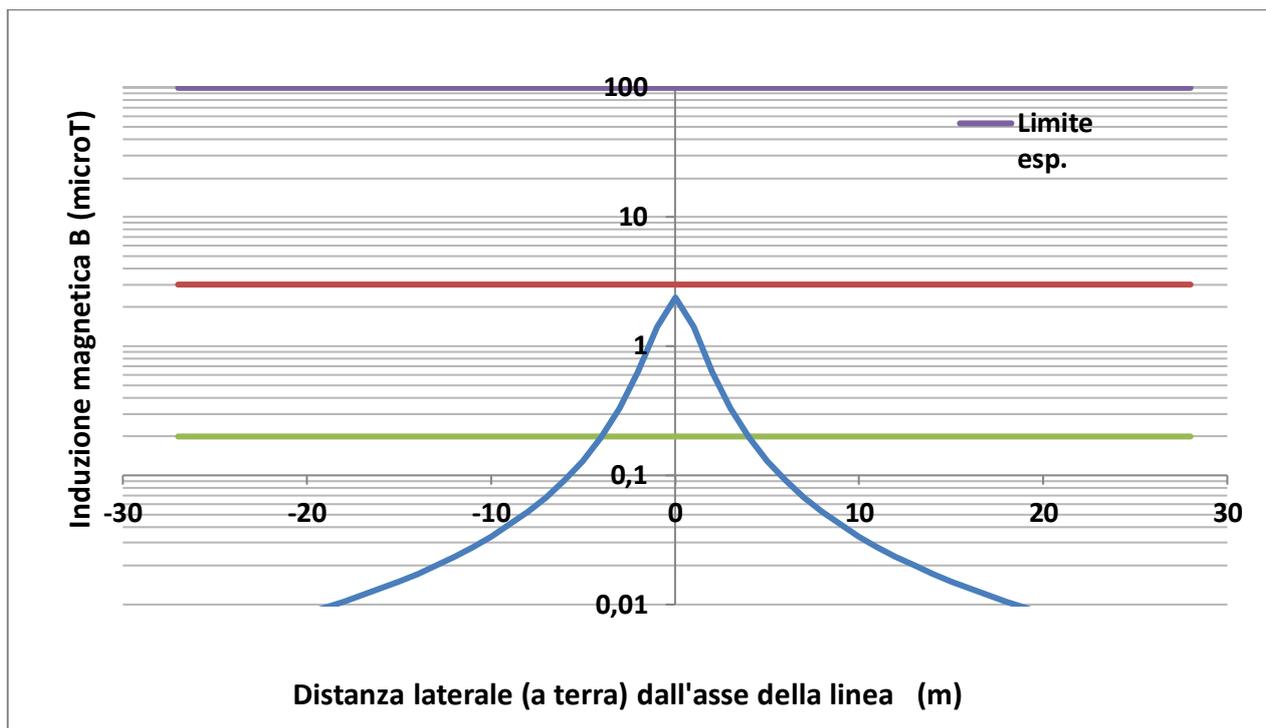


Figura 10 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 8** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 10**. 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 2,4 μT .

Punti	Distanza (m)	B (μT)
0	1,20	2,38
1	1,56	1,40
2	2,33	0,63
3	3,23	0,33
4	4,18	0,20
5	5,14	0,13
6	6,12	0,09
7	7,10	0,07
8	8,09	0,05
9	9,08	0,04
10	10,07	0,03

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

Come si evince dal grafico precedente, il valore del campo B è sempre inferiore all'obiettivo di qualità.

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 alluminio, 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.5 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 sullo stesso piano.

9.2.2 TIPOLOGIA DI SCAVO

I cavi, aventi un diametro esterno di circa 58,1 mm, verranno installati normalmente in una trincea della profondità di 1,2 m, con disposizione delle fasi a trifoglio e distanziati tra loro di circa 7 cm. Nella figura successiva sono rappresentate le tipologie di scavi in relazione al tipo di percorso stradale effettuato dallo scavo:

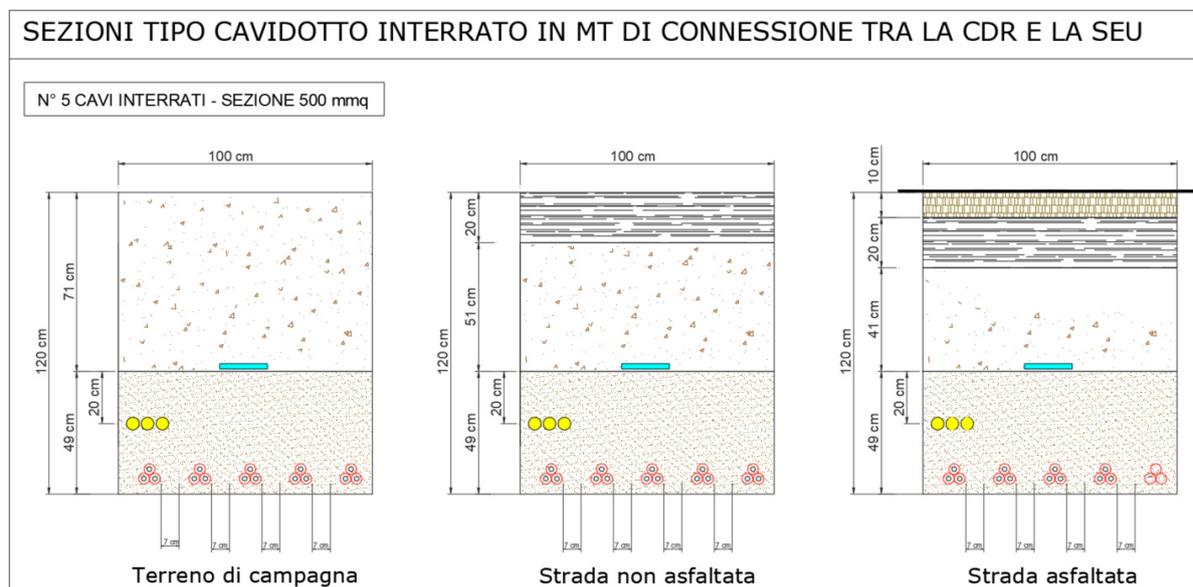


Figura 11 – Sezioni degli scavi del cavidotto di connessione tra la CDR e la SU

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 CDR, il cavidotto interrato, con cavi della sezione di 500 mmq ciascuno, trasporterà l'energia complessiva prodotta dall'impianto agrivoltaico fino alla stazione elettrica utente MT/AT 30/132 kV, la quale sarà collegata alla futura stazione della RTN di proprietà della società Terna SpA.

La **Figura 13**, mostra in dettaglio il percorso del cavidotto (in rosso), l'area dell'impianto agrivoltaico (in ciano), l'area della futura Stazione della RTN e della SU (in verde) ed infine, i ricettori potenzialmente sensibili (con segnaposto in giallo) lungo il percorso del cavidotto.

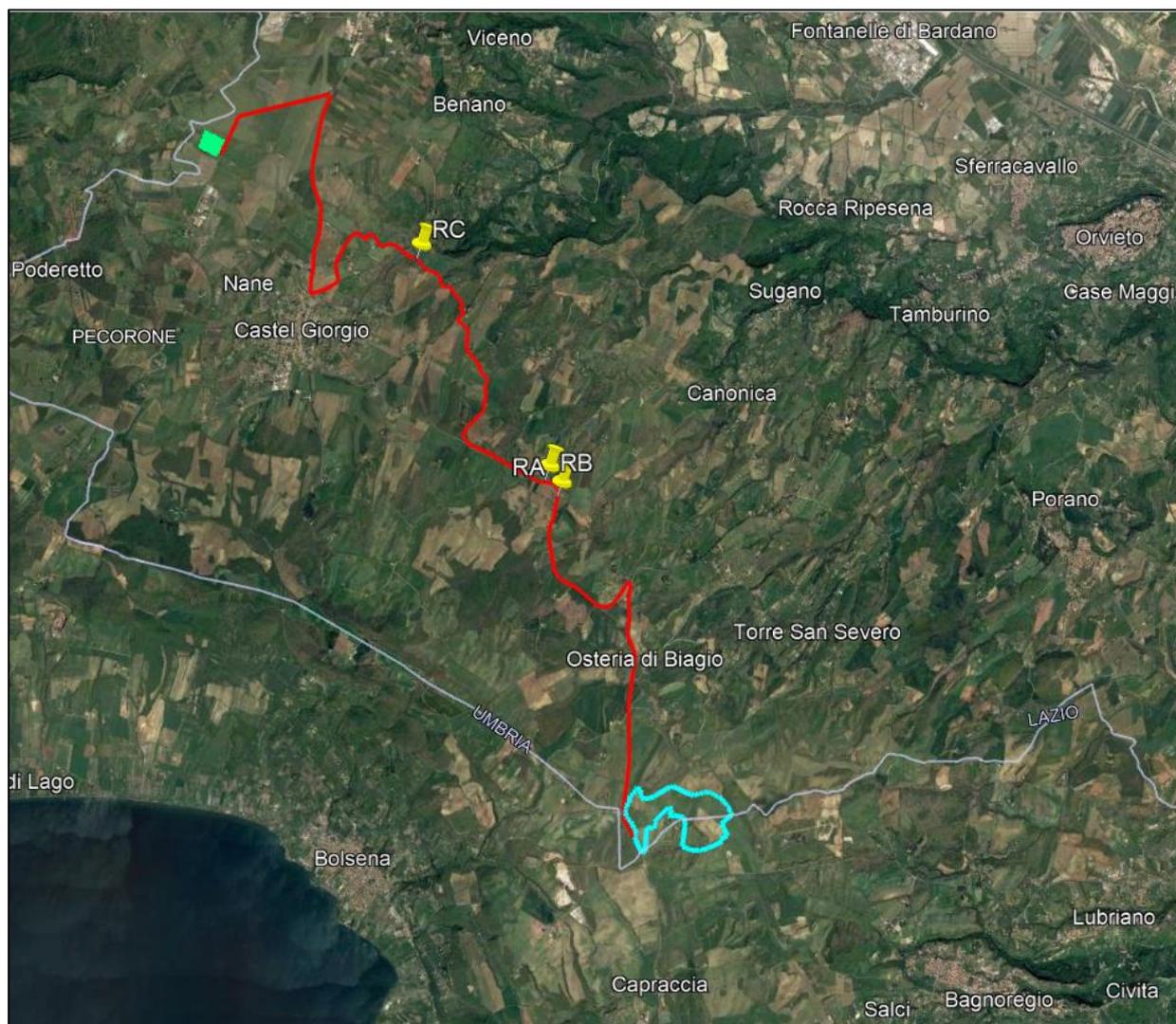


Figura 13 - Inquadramento su ortofoto

Di seguito gli ingrandimenti delle posizioni dei ricettori rispetto al tracciato su strada del cavidotto di evacuazione:

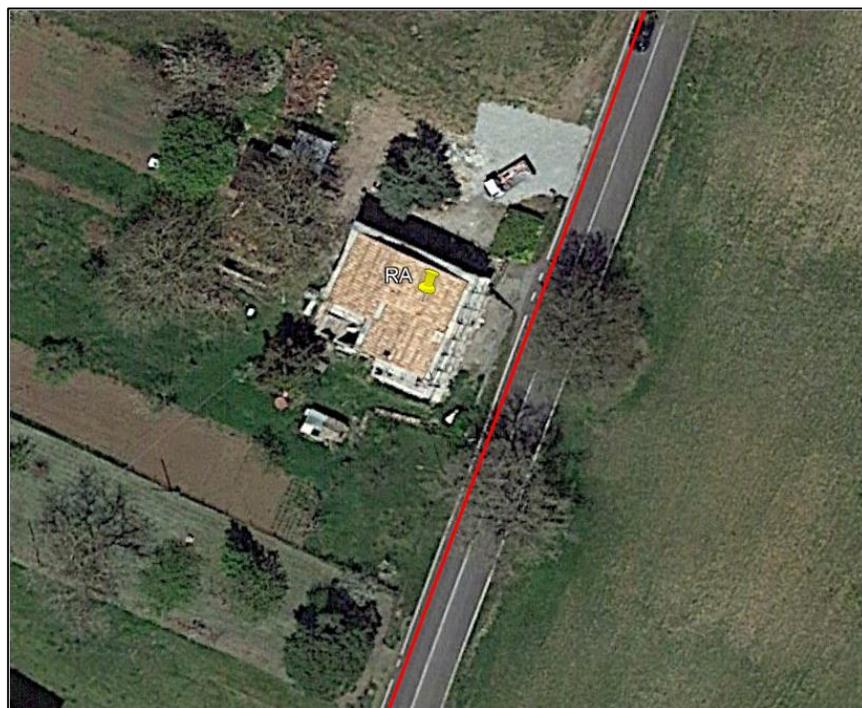


Figura 14 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricevitore RA



Figura 15 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricevitore RB

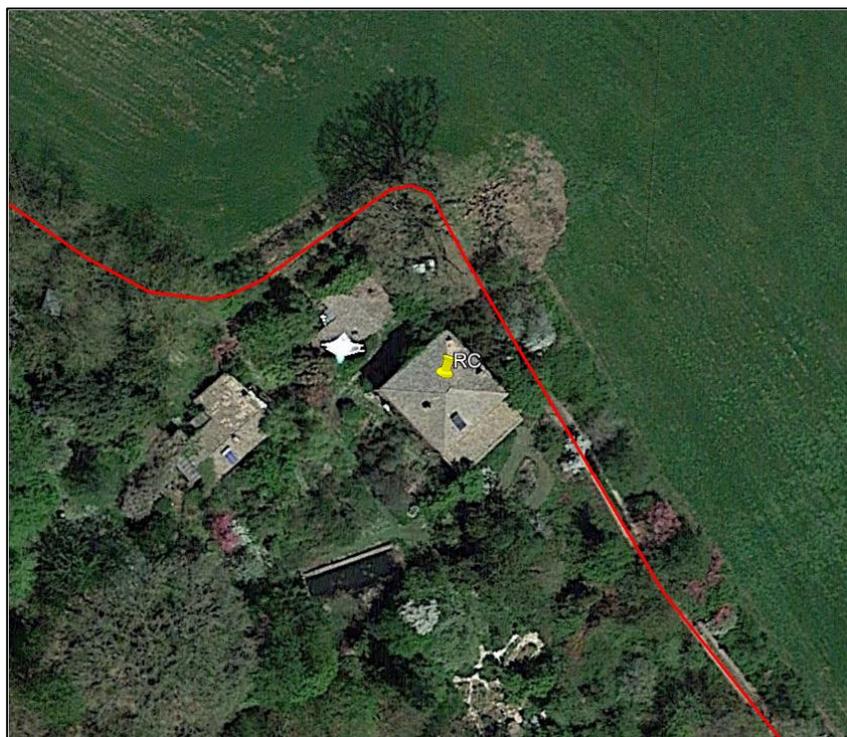


Figura 16 – Inquadratura su ortofoto-posizione del recettore RC

La **Tabella 8** 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]
RA	4,0
RB	2,5
RC	3,4

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

9.2.4 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B DEL CAVIDOTTO ESTERNO

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 17**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

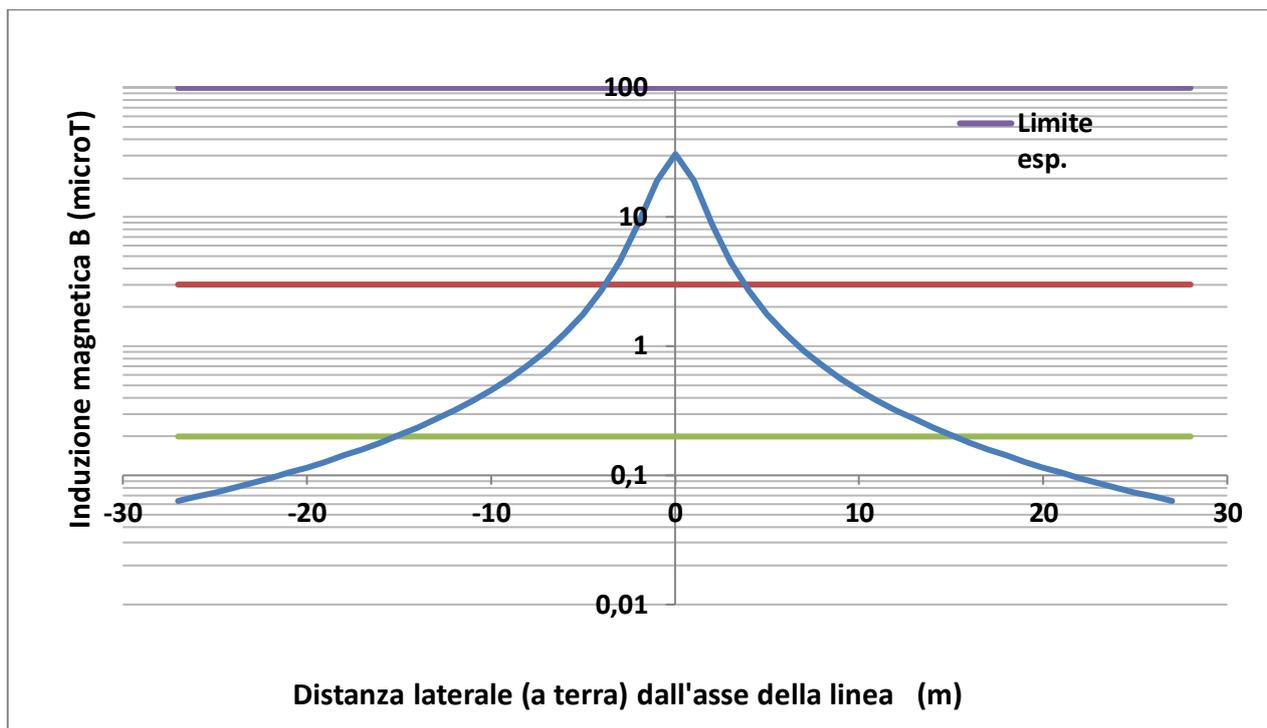


Figura 17 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.

Nella **Tabella 10** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 17**.

Punti	Distanza (m)	B (μT)
0	1,20	30,70
1	1,56	19,27
2	2,33	8,72
3	3,23	4,50
4	4,18	2,68
5	5,14	1,76
6	6,12	1,24
7	7,10	0,92
8	8,09	0,71
9	9,08	0,56
10	10,07	0,46

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

Si nota che l'obiettivo di qualità viene raggiunto ad una distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sulla strada, di circa 3,7 m.

Poiché i tre ricettori hanno una distanza inferiore a quella in cui il campo B del cavidotto assume un valore pari a 3 μT , il campo generato dai cavi sui ricettori assume i seguenti valori:

Ricettore	B [μT]
RA	2,7
RB	6,6
RC	3,7

Per ridurre il campo B al di sotto dell'obiettivo di qualità nei tratti stradali prossimi ai ricettori più esposti al campo di induzione elettromagnetica, possono essere applicate le seguenti soluzioni:

- *interro dei cavi ad una profondità maggiore;*
- *distanziamento dei cavi dal ricettore posando il cavo al lato opposto della strada;*
- *schermatura dei cavi con canalina o tubazione metallica, ad alta permeabilità;*

E' importante sottolineare che i calcoli effettuati nel progetto per la determinazione del campo B, sono stati condotti tenendo conto del valore della portata dei cavi, pari a circa 3.410 A (portata di 650 A per cavo). Nella realtà, poiché l'impianto agrivoltaico ha una potenza nominale installata di circa 43,243 MWp, il valore di corrente massima che percorre il cavidotto di evacuazione è pari a circa 924,7 A, cioè circa 185 A per cavo neanche un terzo rispetto al valore considerato nei calcoli del campo B precedentemente.

Assumendo tale valore di corrente nei calcoli, si riporta l'andamento del campo B nel caso in cui i cavi fossero percorsi dalla corrente massima prodotta dall'impianto:

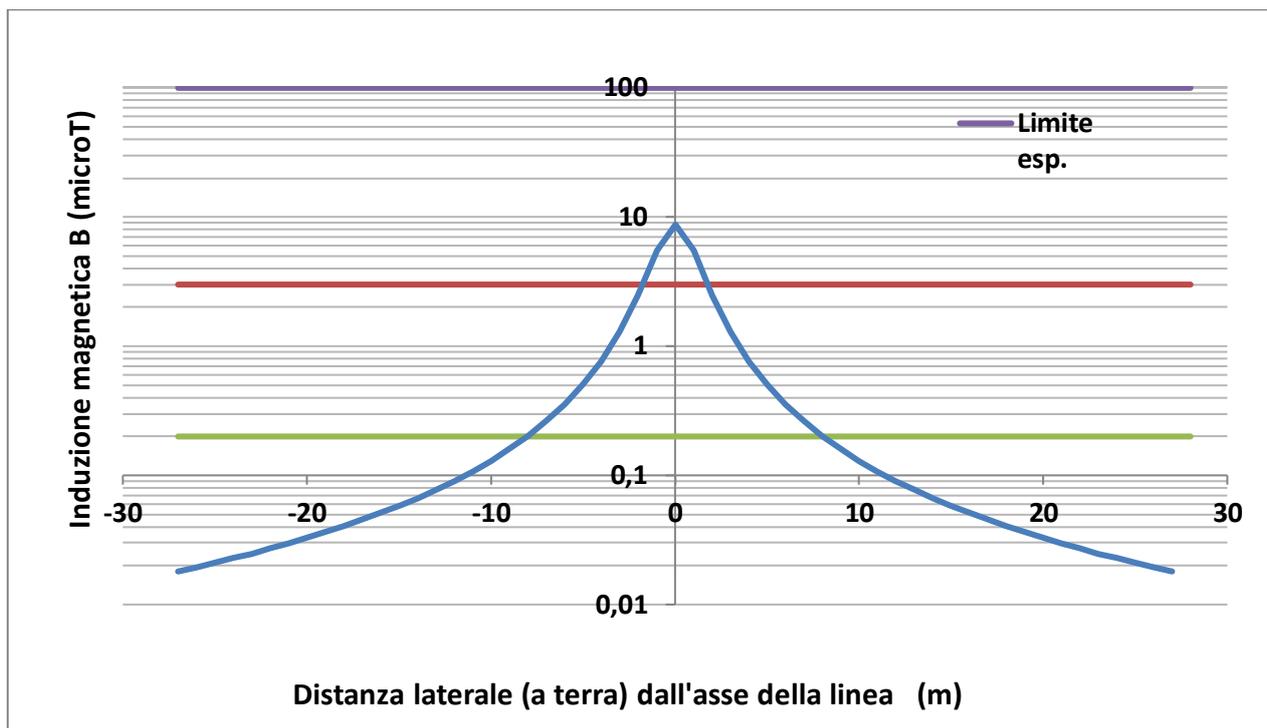


Figura 18 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

I punti del grafico riportati in forma tabellare:

Punti	Distanza (m)	B (μT)
0	1,20	8,74
1	1,56	5,49
2	2,33	2,48
3	3,23	1,28
4	4,18	0,76
5	5,14	0,50
6	6,12	0,35
7	7,10	0,26
8	8,09	0,20
9	9,08	0,16
10	10,07	0,13

Tabella 11 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori esterni all'impianto

Dalla tabella 12 si evince che l'obiettivo di qualità è raggiunto ad una distanza dal punto 0 pari a circa 1,8 m, escludendo dunque tutti i ricettori analizzati in tabella 9.

10. 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-132 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 19**, nella quale sono anche indicati il limite di esposizione e l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

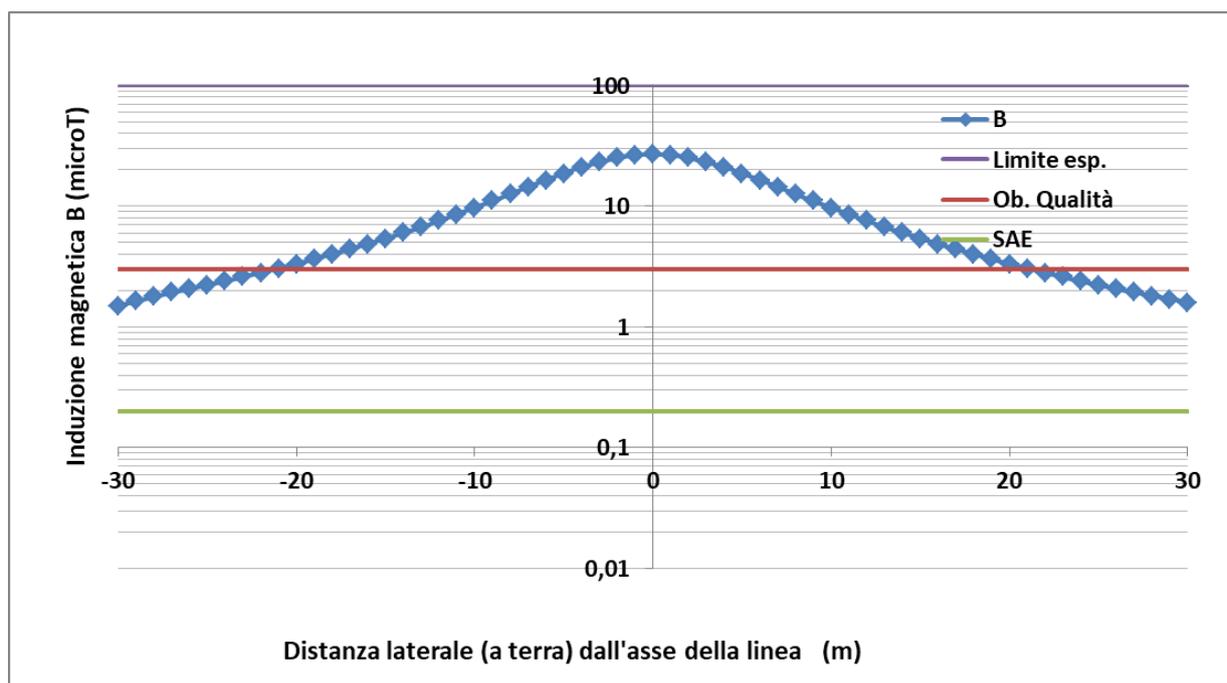


Figura 19 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dalle sbarre AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 12** – Valori del campo B sulle sbarre in AT in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale sul terreno sono riportati i valori puntuali del campo B di **Figura 19**, 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 12 – 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 40 m, il campo elettromagnetico all'esterno della recinzione assume un valore inferiore ad 1 μT, attenuandosi man mano fino a raggiungere il valore di 3 μT ad una distanza dal confine di circa 2 m.

Il ricevitore (R) più vicino alla stazione elettrica utente MT/AT dista circa 219 m in linea d'aria dalle sbarre AT.

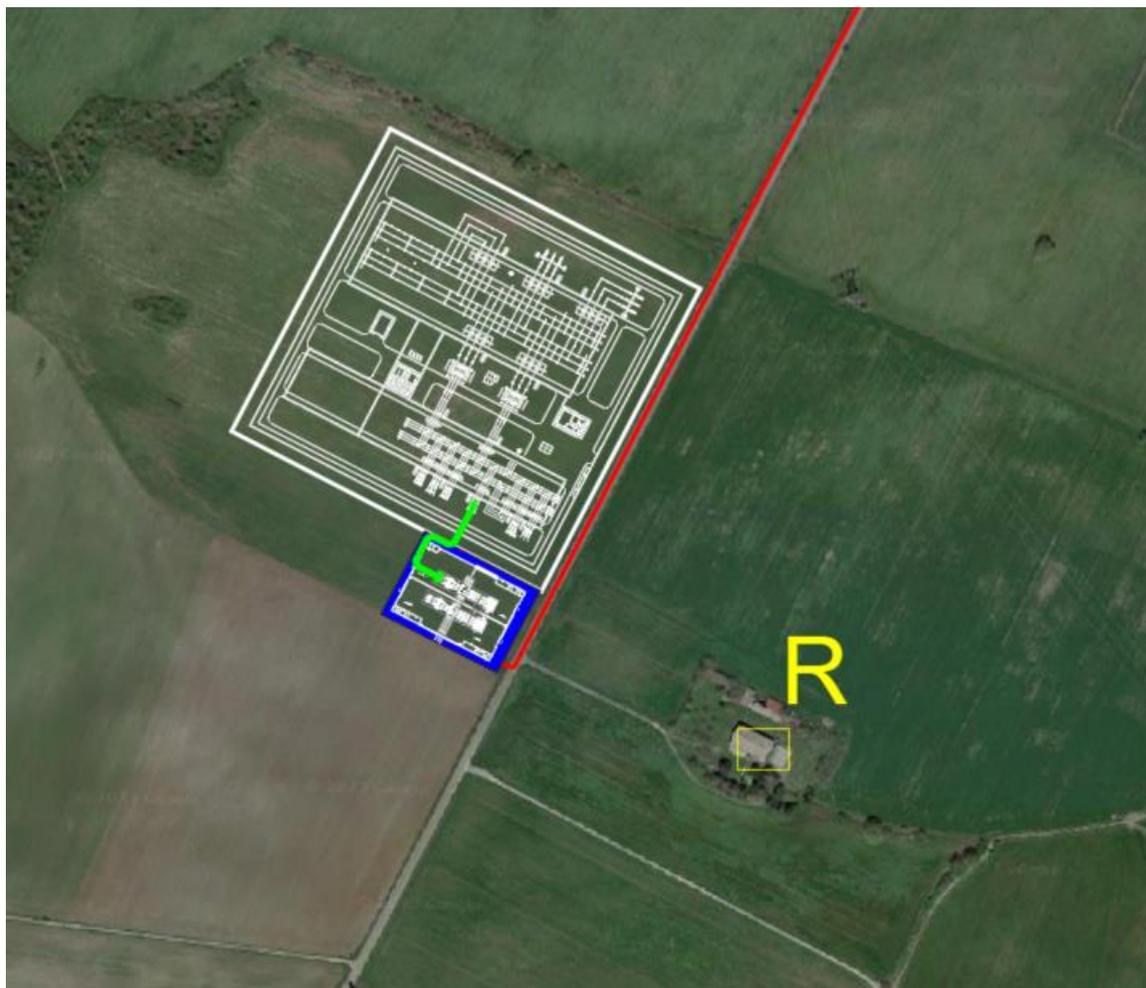


Figura 20 – Inquadramento dell'area della cabina utente di trasformazione e futura stazione RTN con individuazione del ricettore (R) più vicino e del cavidotto AT (verde) di collegamento

A tale distanza, il valore del campo B è ben al di sotto del valore del limite di $3 \mu\text{T}$. Di conseguenza siamo in condizioni di sicurezza.

6.1 CAVO IN AT – 132 KV

▪ TRACCIATO

La connessione tra la Stazione di trasformazione utente 30/132 kV e la stazione RTN sarà realizzato tramite cavidotto interrato, con cavo avente una sezione nominale pari a 1600 mmq, alla tensione nominale di 132 kV, per una lunghezza di circa 85 m.

Il tracciato del cavidotto in giallo in verde, visibile in **Figura 22**, si sviluppa:

- all'interno dell'area della stazione utente di trasformazione, per circa 55 m;
- all'interno dell'area della nuova stazione RTN, per circa 30 m.

▪ CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CAVO IN AT

Il cavo che si prevede di utilizzare per la connessione della stazione utente di trasformazione allo stallo dedicato nella stazione RTN sarà del tipo ARE4H1H5E (o similari) unipolare conforme alle specifiche IEC e CENELEC, i cui cavi unipolari verranno posati in orizzontale nello scavo, opportunamente distanziati tra di loro. Ciascun cavo d'energia sarà formato da:

- un conduttore in alluminio compatto di sezione indicativa calcolata pari a 1600 mmq;
- schermo semiconduttivo sul conduttore;
- isolamento in polietilene reticolato (XLPE);
- schermo semiconduttivo sull'isolamento;
- nastri in materiale igroespandente;
- schermo metallico in rame;
- foglio metallico in alluminio o rame;
- rivestimento in polietilene con grafitatura esterna (PE).

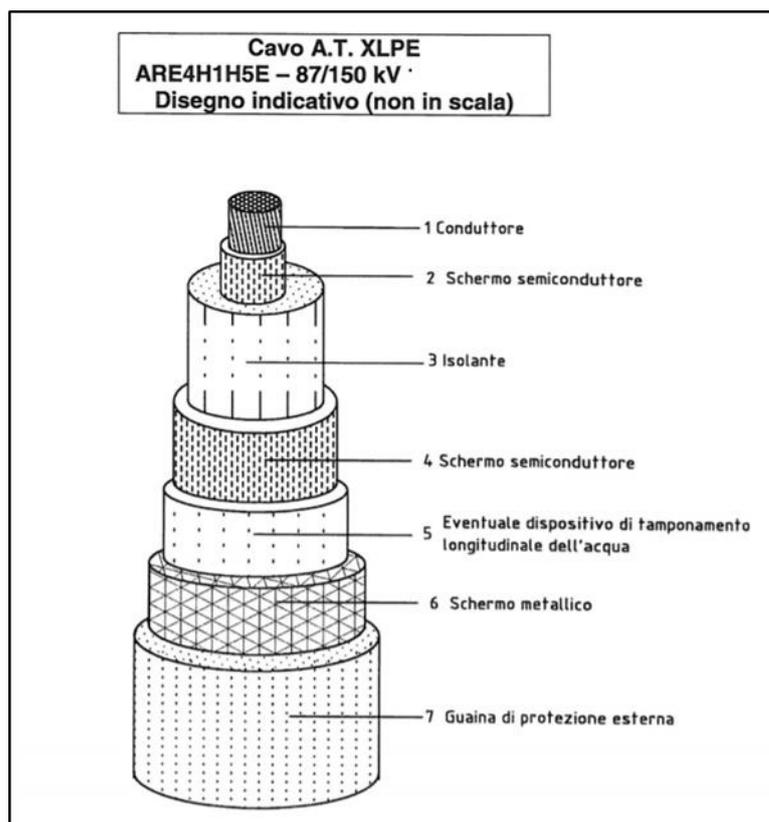


Figura 21 – Caratteristiche tecniche del cavo in AT a 132 kV

Dal punto di vista costruttivo tale conduttore in alluminio è generalmente tamponato per evitare la accidentale propagazione longitudinale dell'acqua. Sopra il conduttore viene applicato prima uno strato semiconduttivo estruso, poi l'isolamento XLPE e successivamente un nuovo schermo semiconduttivo estruso; su quest'ultimo viene avvolto un nastro semiconduttivo igroespandente, anche in questo caso per evitare la propagazione longitudinale dell'acqua. Gli

schermi metallici intorno ai conduttori di fase dei cavi con isolamento estruso hanno la funzione principale di fornire una via di circolazione a bassa impedenza alle correnti di guasto in caso di cedimento di isolamento. Pertanto essi saranno dimensionati in modo da sostenere le massime correnti di corto circuito che si possono presentare. Sopra lo schermo di alluminio viene applicata la guaina aderente di polietilene nera e grafitata avente funzione di protezione anticorrosiva ed infine la protezione esterna meccanica.

Si riportano di seguito le specifiche elettriche e tecniche del cavo scelto in AT:

Nominal section area	Conductor diameter	Thickness of insulation	DC conductor resistance at 20°C	Electrostatic capacitance	Aluminium screen			Copper wire/lead sheath			Copper wire/alu sheath			Corrugated Alu sheath			Lead sheath		
					Sectional area*	Outside diameter of cable*	Weight of cable*	Sectional area* copper screen	Outside diameter of cable*	Weight of cable*	Sectional area*	Outside diameter of cable*	Weight of cable*	Sectional area*	Outside diameter of cable*	Weight of cable*	Sectional area*	Outside diameter of cable*	Weight of cable*
mm ²	mm	mm	Ω/km	µF/km	mm ²	mm	kg/m	mm ²	mm	kg/m	mm ²	mm	kg/m	mm ²	mm	kg/m	mm ²	mm	kg/m
400 R	23.3	20.7	0.0778	0.15	180	82	6	65	88	13	85	85	6	470	95	7	810	87	15
500 R	26.4	19.6	0.0605	0.16	190	83	6	65	89	13	85	85	7	480	96	7	790	88	15
630 R	30.3	18.5	0.0469	0.19	190	85	7	65	91	13	85	87	7	490	98	8	810	90	16
800 R	34.7	17.6	0.0367	0.21	200	88	7	60	94	15	85	90	8	500	101	8	810	92	16
1000 R	38.2	17.0	0.0291	0.23	200	90	8	60	96	15	85	92	9	520	103	9	810	94	17
1200 R	41.4	16.6	0.0247	0.25	160	92	9	55	99	17	80	95	9	560	107	10	800	97	18
1600 S	48.9	15.8	0.0186	0.30	180	100	10	45	107	19	80	103	11	670	115	12	780	104	19
2000 S	54.0	15.5	0.0149	0.32	190	105	12	35	112	22	75	108	12	760	120	14	790	109	21

Nominal section area	Laying conditions : Trefoil formation					Laying conditions : Flat formation					Nominal section area
	Earthing conditions	Direct burial		In air, in gallery		Earthing conditions	Direct burial		In air, in gallery		
		induced current in the metallic screen	$\rho_T = 1,0$ T = 20°C	$\rho_T = 1,2$ T = 30°C	T = 30°C		T = 50°C	induced current in the metallic screen	$\rho_T = 1,0$ T = 20°C	$\rho_T = 1,2$ T = 30°C	
mm ²											mm ²
400 R	With circulating currents	515	445	665	530	Without circulating current	555	480	755	605	400 R
500 R		580	500	765	610		635	550	880	705	500 R
630 R		690	595	920	730		730	630	1 035	830	630 R
800 R		780	670	1065	845		835	715	1225	980	800 R
1000 R	Without circulating current	865	745	1 195	950		930	800	1 375	1 100	1000 R
1200 R		935	800	1 300	1 035		1 010	865	1 515	1 210	1200 S
1600 S		1 130	970	1 630	1 295		1 225	1 050	1 895	1 515	1600 S
2000 S		1 255	1 075	1 845	1 460		1 375	1 175	2 170	1 735	2000 S

Figura 22 – Specifiche tecniche del cavo in AT a 132 kV

▪ MODALITÀ DI POSA DEL CAVO IN AT

Il cavo sarà interrato ed installato normalmente in una trincea della profondità minima di 1,7 m, con disposizione delle fasi in orizzontale sullo stesso piano e distanziate tra di loro di due diametri di lunghezza. Nello stesso scavo, a distanza di almeno 0,3 m dai cavi di energia, sarà posato un cavo con fibre ottiche e/o telefoniche per trasmissione dati. Tutti i cavi verranno

alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata o con cemento 'mortar'. I cavi saranno protetti e segnalati superiormente da una rete in PVC e da un nastro segnaletico, ed ove necessario anche da una lastra di protezione in cemento armato dello spessore di 6 cm. La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto.

Di seguito è riportata la sezione di scavo con la posa del cavo trifase per differenti tipologie di percorso:

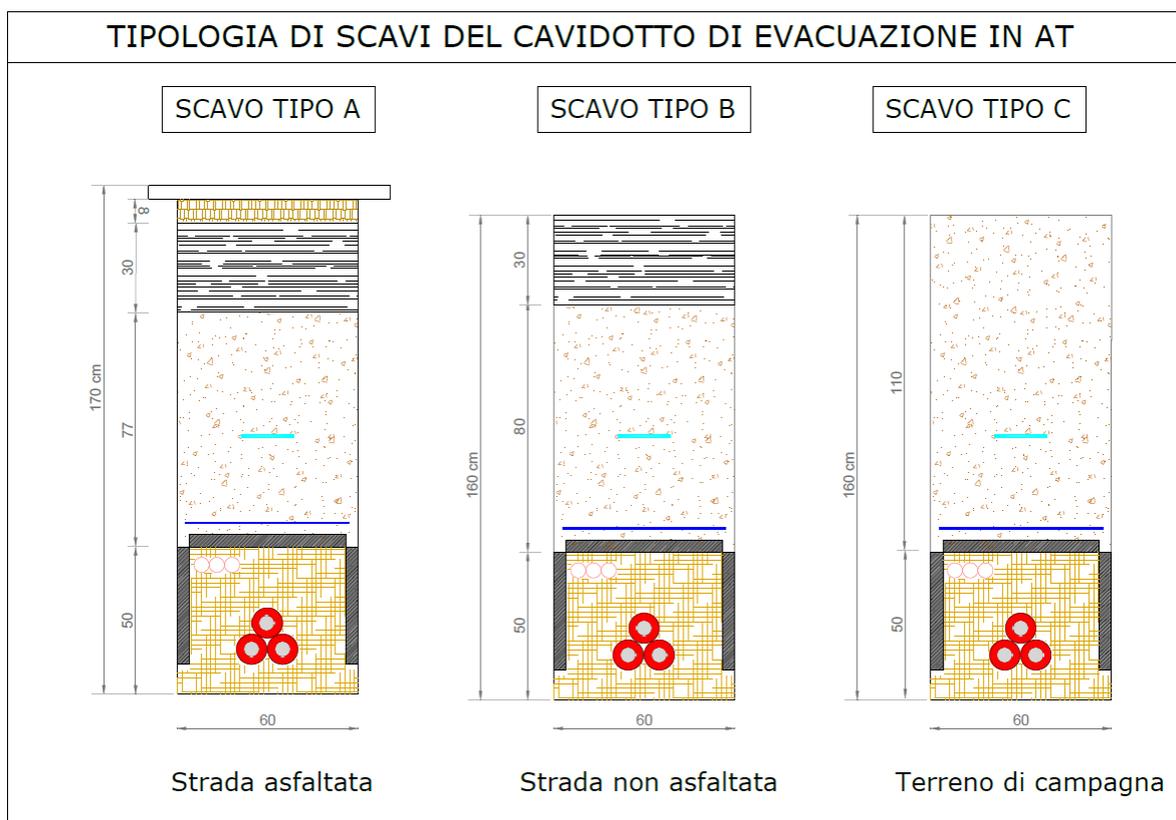


Figura 23 – Sezioni tipiche di scavo e di posa per il cavo in AT kV

6.1.1 CALCOLO DEL CAMPO B DEL CAVO AT

Il campo di induzione magnetica B generato dai conduttori in alluminio dei cavi percorsi dal valore della portata pari a 1.130 A, assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva mostrata in **Figura 24**, con indicazione del limite di esposizione e l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

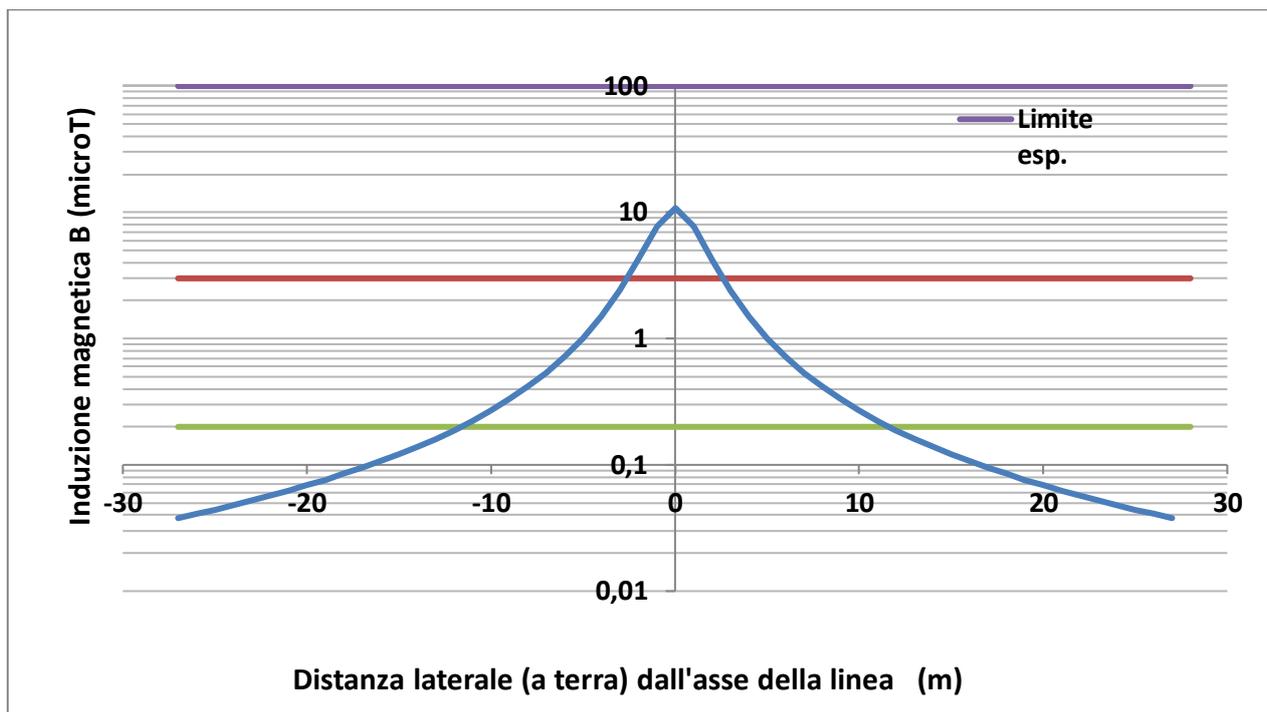


Figura 24 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 13** seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **Figura 24**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto in AT.

Punti	Distanza (m)	B (μT)
0	1,60	10,81
1	1,89	7,78
2	2,56	4,22
3	3,40	2,39
4	4,31	1,49
5	5,25	1,00
6	6,21	0,72
7	7,18	0,54
8	8,16	0,42
9	9,14	0,33
10	10,13	0,27

Tabella 13 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo AT sull'asse stradale

Il cavidotto è distante circa 245 m dal ricettore R, riportato nella **Figura 20**, dunque fuori dal valore del limite di 3 μT del campo B generato dalla portata del cavo.

11. 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 eolico, le stazioni elettriche, l'impianto di accumulo e i cavidotti in BT e MT interni alle aree degli impianti, il cavo in AT, il valore dell'induzione magnetica prodotta non influenza alcun ricettore sensibile, essendo questi distanti dall'area d'impianto.

Per quanto riguarda invece il valore dell'induzione magnetica B indotta dal cavidotto interrato in MT esterno all'impianto eolico, a 30 kV, che collega la cabina di ricezione con la stazione utente di trasformazione MT/AT, potrebbe influenzare alcuni ricettori potenzialmente sensibili ubicati lungo il suo tracciato. In base ad opportune tecniche descritte nella relazione, è possibile ridurre il valore di induzione B al di sotto dell'obiettivo di qualità sui ricettori sensibili.

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 nominale dei singoli cavi posati 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 essendo le reali correnti di esercizio minori di quella nominale. Si specifica comunque che nel calcolo non è stato possibile tenere conto delle reali 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.