

Regione Veneto



Provincia di Padova



Comune di Este



PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 36.083,52 kWp UBICATO NEL COMUNE DI ESTE (PD) E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN

TITOLO

Relazione di impatto elettromagnetico

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



Ing. Andrea Bartolazzi

PROPONENTE



K2 Solar S.r.l.
C.so Vittorio Emanuele II, 282-284 - 00186 Roma
PEC mail@pec.k2solar.it
C.F e P.IVA 16890601004

00	11/01/2024	Fabio Lauretti	Ing. Bartolazzi	K2 Solar S.r.l.	RIE
Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione

Codice Elaborato

K2S-EST-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	8
4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO.....	12
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	20
9.2 CAVIDOTTO ESTERNO DI CONNESSIONE TRA LA CABINE DI RACCOLTA E LA STAZIONE ELETTRICA UTENTE MT/AT.....	23
9.2.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT.....	23
9.2.2 TIPOLOGIA DI SCAVO.....	25
9.2.4 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B DEL CAVIDOTTO ESTERNO	26
9.2.4.1 POSSIBILI SOLUZIONI PER LA RIDUZIONE DEL CAMPO B.....	29
10. STAZIONE ELETTRICA UTENTE-MT/AT.....	34
10.1 CAVO IN AT-132 KV	36
10.2 CALCOLO DEL CAMPO B DEL CAVO AT	39
11. CONCLUSIONI	40

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 dei cavi in MT-30 kV.....	19
Figura 6 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto	20
Figura 7 –Area recintata di impianto con ubicazione delle cabine di trasformazione (CTI) e cavidotti interni MT (in rosso) e dei recettori (in ciano).....	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.....	22
Figura 9 - Caratteristiche del cavo in MT utilizzato per la connessione tra la CDR e la SEU..	25
Figura 10 - Sezioni degli scavi del cavidotto di connessione tra la CDR e la SEU	26
Figura 11 - Materiali di riempimento per scavo cavi esterni.....	26
Figura 12 – <i>Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.</i>	27
Figura 13 - Inquadramento su ortofoto del percorso del cavidotto di evacuazione.....	28
Figura 14 - Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore RA	29
Figura 15 – <i>Andamento del campo B generato dal cavidotto di evacuazione ad una profondità di circa 1,4 m – Ricettore RA</i>	30
Figura 16 – <i>Andamento del fattore di schermatura con la distanza dal cavidotto</i>	32
Figura 17 – <i>Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT con i valori della corrente massima prodotta dal campo FV in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità</i>	33

Figura 18 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dalle sbarre AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.....	34
Figura 19 inquadramento dell'area di SEU con il ricettore più vicino	36
Figura 20 – Specifiche tecniche del cavo in AT a 132 kV.....	38
Figura 20 – Sezioni tipiche di scavo e di posa per il cavo in AT kV	38
Figura 22 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità	39

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.....	10
Tabella 3 – Caratteristiche tecniche dell'impianto	12
Tabella 4 – DPA del singolo trasformatore.....	14
Tabella 5 - DPA delle Cabine di Trasformazione.....	14
Tabella 6 – Distanza minima tra ricettori e scavi interni.	21
Tabella 7 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale-R1,R2.....	23
Tabella 9 – 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.....	27
Tabella 9 – Valori del campo B al variare della distanza dal cavidotto sul tratto stradale - Ricettore RA	30
Tabella 10 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori esterni all'impianto-I max	33
Tabella 11 – Valori del campo B sulle sbarre in AT in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale sul terreno.....	35
Tabella 12 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo AT sull'asse stradale.....	39

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 Este, in provincia di Padova, nella regione Veneto, 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 kV di collegamento tra la SEU e lo stallo dedicato all'interno della Stazione della RTN "Este S. Croce", di proprietà della società Terna SpA, ubicata nel territorio comunale di Ospitaletto Euganeo.

Si rimanda alla Relazione tecnica degli impianti elettrici K2S-EST-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 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 Absorbition 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.

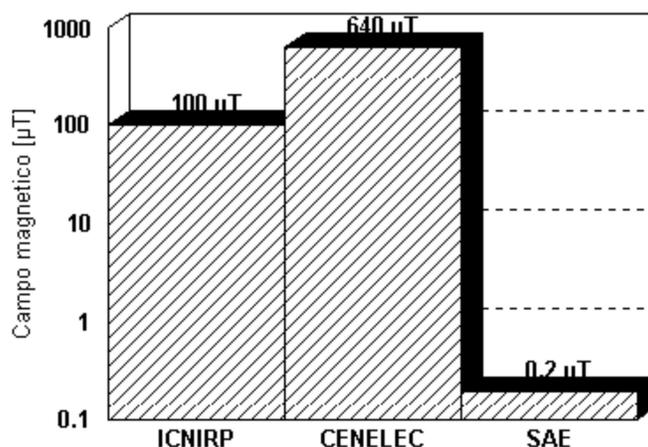


Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE.

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) **elettrodotta**: 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 μ T	
	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:

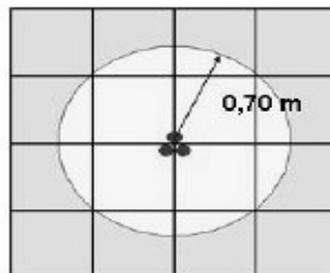
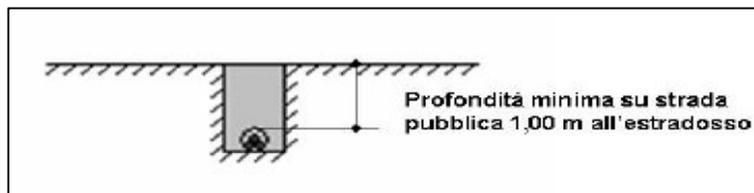
- portata in corrente in servizio normale: è la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento;
- portata di corrente in regime permanente: massimo valore della 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 D_{pa} 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 μT 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.

Il calcolo del campo elettromagnetico generato dai cavidotti interrati, verrà svolto nelle seguenti condizioni più sfavorevoli:

- la terna dei cavi posizionata nel lato stradale più vicino al ricettore in esame;
- la terna dei cavi non sia del tipo cordata ad elica visibile.
-

4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO

L'impianto agrivoltaico, verrà realizzato sia su strutture ad inseguitori solari monoassiali, del tipo "1-in-portrait", con un asse di rotazione ruotato di 15° orari rispetto alla direzione Nord-Sud. con una potenza nominale installata di circa 36,083 MWp. 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]	36,083
Numero di inverter multistringa	107
Potenza modulo bifacciale monocristallino [Wp]	680
Numero di moduli totali	53064
Area d'impianto recintata [ha]	38,9
N° cabine elettriche di trasformazione	8
N° cabine di raccolta	1
Lunghezza totale cavo esterno in MT AC [km]	10,3
Lunghezza totale cavi interni in MT AC [km]	3,2

Tabella 3 – Caratteristiche tecniche dell'impianto

5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO

Un impianto agrivoltaico è costituito dei seguenti sistemi principali:

- moduli fotovoltaici;
- cablaggi in BT;
- inverter;
- cabine di trasformazione;
- cavidotti in MT e AT 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 3SHBGH AA-68, della 3Sun, della potenza nominale di 680 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 18.6 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 Sungrow SG350HX (o similare) avente una potenza nominale in uscita in AC di 320 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 n.8 cabine di trasformazione totali. I trasformatori verranno alloggiati o in appositi box metallici prefabbricati di opportune dimensioni o direttamente dentro il vano ad essi 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	1x2500	6,8

Tabella 4 - DPA del singolo trasformatore.

Considerando la disposizione dei trasformatori nelle singole cabine di trasformazione (CTi), e che in ciascuna cabina saranno ubicati n.2 trasformatori, si ottiene il seguente valore della DPA:

	Potenza (kVA)	DPA (m)
Cabina CTi	2x2500	13,6

Tabella 5 - DPA delle Cabine di Trasformazione

Dall'analisi dei ricettori presenti nelle vicinanze delle cabine elettriche (**Figura 7**), risulta che nessuno di essi 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 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 eseguiti da 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.

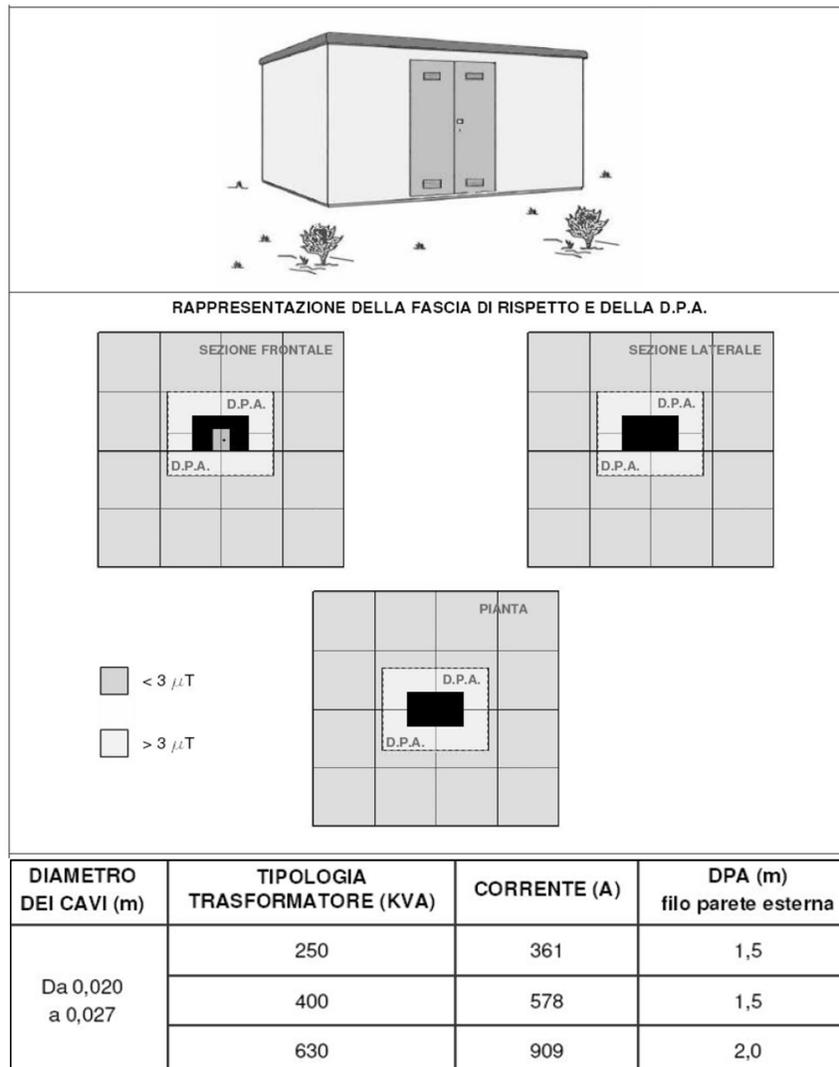


Figura 2 – Valori della Distanza di prima approssimazione per una cabina di consegna con trasformatore.

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 esposizioni 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.

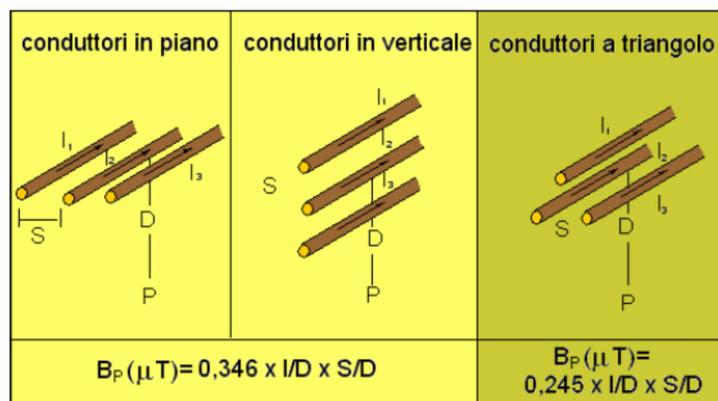


Figura 3 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.

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.

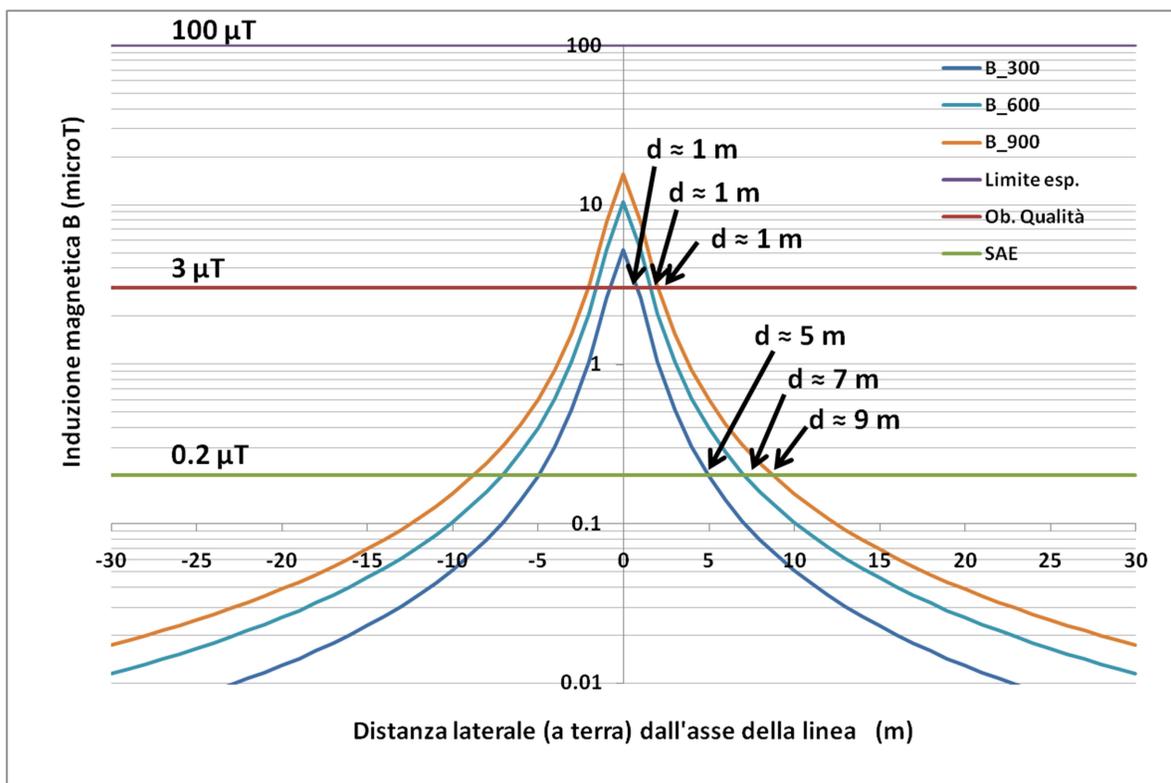


Figura 4 – Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE.

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, distanti circa 10,4 [km];
- dal cavidotto in AT interrato a 132 kV di connessione tra la SEU e lo stallo in ingresso della SE di Terna SpA.

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, 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)EX (o similare) tripolare, cordato ad elica visibile, del tipo "air-bag", disposto a trifoglio nello scavo, con sezioni pari a: 95 e 185 mmq.

Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche dei suddetti cavi:

MEDIA TENSIONE - APPLICAZIONI TERRESTRI E/O EOLICHE / MEDIUM VOLTAGE - GROUND AND/OR WIND FARM APPLICATION

ARE4H5(AR)EX AIR BAG™ COMPACT

Elica visibile 12/20 kV e 18/30 kV
Triplex 12/20 kV and 18/30 kV



Norma di riferimento
HD 620/IEC 60502-2

Standard
HD 620/IEC 60502-2

Descrizione del cavo

Anima
Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio
Semiconduttivo interno
Mescola estrusa
Isolante
Mescola di polietilene reticolato (qualità DIX 8)
Semiconduttivo esterno
Mescola estrusa
Rivestimento protettivo
Nastro semiconduttore igroespandente
Schermatura
Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale (Rmax 3Ω/Km)
Protezione meccanica
Materiale Polimerico (Air Bag)
Guaina
Polietilene: colore rosso (qualità DMP 2)
Marcatura
PRYSMIAN (**) ARE4H5(AR)EX <tensione>
<sezione> <fase 1/2/3> <anno>

Cable design

Core
Compact stranded aluminium conductor
Inner semi-conducting layer
Extruded compound
Insulation
Cross-linked polyethylene compound (type DIX 8)
Outer semi-conducting layer
Extruded compound
Protective layer
Semiconductive watertight tape
Screen
Aluminium tape longitudinally applied (Rmax 3Ω/Km)
Mechanical protection
Polymeric material (Air Bag)
Sheath
Polyethylene: red colour (DMP 2 type)
Marking
PRYSMIAN (**) ARE4H5(AR)EX <rated voltage>
<cross-section> <phase 1/2/3> <year>

Conduttore di alluminio / Aluminium conductor - ARE4H5(AR)EX

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	peso del cavo	raggio minimo di curvatura	sezione nominale	posa in aria	posa interrata p=1 °C m/W	posa interrata 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	underground installation p=1 °C m/W	underground installation 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

50	8,2	25,5	40,7	3330	820
70	9,7	25,6	40,8	3450	820
95	11,4	26,5	41,8	3730	840
120	12,9	27,4	42,9	4050	860
150	14,0	28,1	43,6	4310	860
185	15,8	29,5	45,1	4740	900
240	18,2	31,5	47,4	5440	950
300	20,8	34,7	50,9	6360	1010

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

50	187	167	131
70	231	204	159
95	279	244	189
120	321	277	214
150	361	310	238
185	415	351	269
240	489	408	311
300	563	459	350

Figura 5 – Caratteristiche tecniche dei cavi in MT-30 kV

9.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO

Si riporta nella **Figura 6** una rappresentazione grafica della sezione tipica dello scavo adottata nel progetto, con cavi in MT interrati ad una profondità di posa pari a 1,2 m, con larghezza variabile in relazione al numero di terne posate nello scavo:

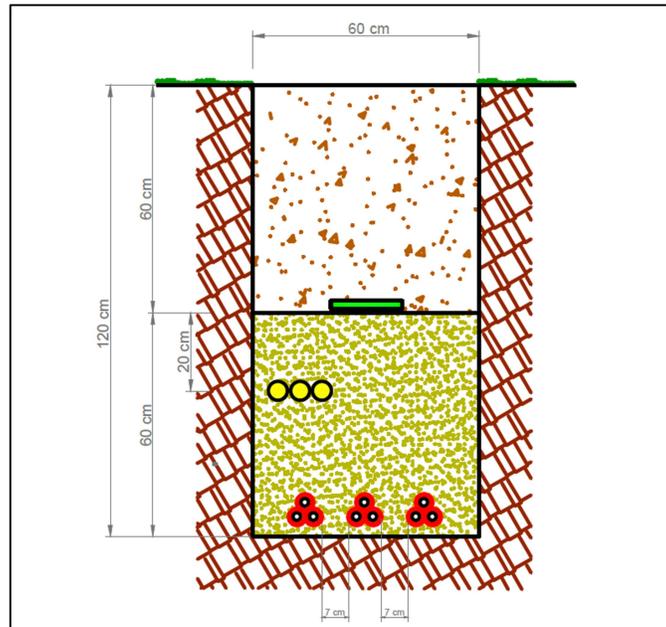


Figura 6 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto

9.1.3 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI

Nella **Figura 7** è riportata l'area d'impianto in cui sono visibili: in rosso, le cabine di trasformazione e il percorso dei cavidotti interni, in magenta la cabina di raccolta, in ciano, la posizione di n.2 gruppi di ricettori denominati R1 ed R2:



Figura 7 – Area recintata di impianto con ubicazione delle cabine di trasformazione (CTi) e cavidotti interni MT (in rosso) e dei recettori (in ciano)

Le distanze dei recettori più vicini al percorso dei cavi interni all' impianto, sono riportate di seguito:

Ricettore	Distanza [m]	Numero di cavi per scavo	Sezione cavi [mmq]
R1	175	1	95
R2	16	1	185

Tabella 6 – Distanza minima tra ricettori e scavi interni.

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

Lo scavo più vicino al ricettore R1 è quello tra la cabina CT3.2 e la cabina CT3.1, al cui interno è posato un cavo trifase avente la sezione di 95 mmq. Mentre, il cavidotto più vicino al ricettore R2 è quello di collegamento tra le cabine CT4.1 e CT4.2, anch'esso avente un cavo da 95 mmq di sezione.

La corrente che percorre tale tipo di cavo, genera un valore d'induzione B direttamente proporzionale alla portata del cavo stesso. 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.

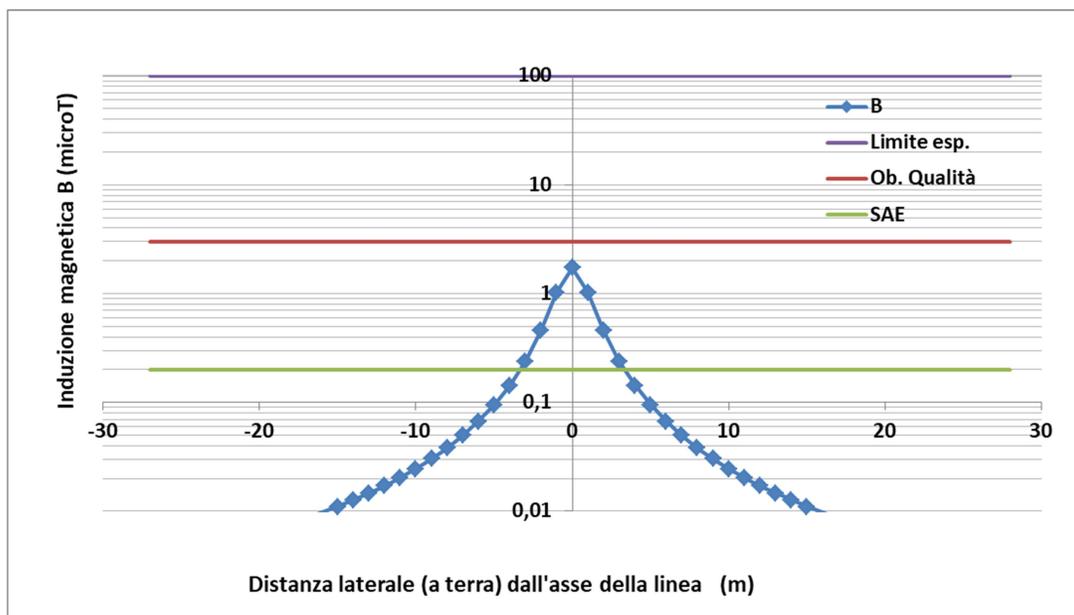


Figura 8 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità - R1,R2

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 1,7 μ T.

Punti	Distanza [m]	B(μ T)
0	1,2	1,7
1	1,6	1,0
2	2,3	0,46
3	3,2	0,24
4	4,2	0,14
5	5,1	0,09
6	6,1	0,07
7	7,1	0,05
8	8,1	0,04
9	9,1	0,03
10	10,1	0,02

Tabella 7 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale-R1,R2.

Dalla **Tabella 7** si evince che l'obiettivo di qualità (3 μ T) non viene mai raggiunto.

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

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.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 sullo stesso piano. Nella figura seguente vengono riportate le principali caratteristiche del cavo

MEDIA TENSIONE - APPLICAZIONI TERRESTRI E/O EOLICHE / MEDIUM VOLTAGE - GROUND AND/OR WIND FARM APPLICATION

ARE4H5(AR)E AIR BAG™ COMPACT

Unipolare 12/20 kV e 18/30 kV
Single core 12/20 kV and 18/30 kV



Norma di riferimento
HD 620/IEC 60502-2

Descrizione del cavo

Anima

Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio

Semiconduttivo interno

Miscela estrusa

Isolante

Miscela di polietilene reticolato (qualità DIX 8)

Semiconduttivo esterno

Miscela estrusa

Rivestimento protettivo

Nastro semiconduttore igroespandente

Schermatura

Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale
(Rmax 3Ω/Km)

Protezione meccanica

Materiale Polimerico (Air Bag)

Guaina

Polietilene: colore rosso (qualità DMP 2)

Marcatura

PRYSMIAN (**) ARE4H5(AR)E <tensione>

<sezione> <fase 1/2/3> <anno>

(**) sigla sito produttivo

Marcatura in rilievo ogni metro
Marcatura metrica ad inchiostro

Applicazioni

Il cavo rispetta le prescrizioni della norma HD 620 per quanto riguarda l'isolante; per tutte le altre caratteristiche rispetta le prescrizioni della IEC 60502-2.

Accessori idonei

Terminali

ELTI-1C (pag. 115), ELTO-1C (pag. 118), FMCS 250 (pag. 128),
FMCE (pag. 130), FMCTs-400 (pag. 132),
FMCTXs-630/C (pag. 136)

Giunti

ECOSPEED™ (pag. 140)

Standard

HD 620/IEC 60502-2

Cable design

Core

Compact stranded aluminium conductor

Inner semi-conducting layer

Extruded compound

Insulation

Cross-linked polyethylene compound (type DIX 8)

Outer semi-conducting layer

Extruded compound

Protective layer

Semiconductive watertight tape

Screen

Aluminium tape longitudinally applied
(Rmax 3Ω/Km)

Mechanical protection

Polymeric material (Air Bag)

Sheath

Polyethylene: red colour (DMP 2 type)

Marking

PRYSMIAN (**) ARE4H5(AR)E <rated voltage>

<cross-section> <phase 1/2/3> <year>

(**) production site label

Embossed marking each meter
Ink-jet meter marking

Applications

According to the HD 620 standard for insulation, and the IEC 60502-2 for the other characteristics.

Suitable accessories

Terminations

ELTI-1C (pag. 115), ELTO-1C (pag. 118), FMCS 250 (pag. 128),
FMCE (pag. 130), FMCTs-400 (pag. 132),
FMCTXs-630/C (pag. 136)

Joints

ECOSPEED™ (pag. 140)

ARE4H5(AR)E AIR BAG™ COMPACT

Unipolare 12/20 kV e 18/30 kV
Single core 12/20 kV and 18/30 kV

Conduttore di alluminio / Aluminium conductor - ARE4H5(AR)E

sezione nominale	diámetro conduttore	diámetro sull'isolante	diámetro 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

50	8,2	25,5	40,7	1110	550
70	9,7	25,6	40,8	1150	550
95	11,4	26,5	41,8	1240	560
120	12,9	27,4	42,9	1350	580
150	14,0	28,1	43,6	1440	580
185	15,8	29,5	45,1	1580	600
240	18,2	31,5	47,4	1810	630
300	20,8	34,7	50,9	2120	670
400	23,8	37,9	54,6	2520	730
500	26,7	41,0	58,1	2970	770
630	30,5	45,6	63,0	3590	840

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

50	187	167	131
70	231	204	159
95	279	244	189
120	321	277	214
150	361	310	238
185	415	351	269
240	489	408	311
300	563	459	350
400	657	526	399
500	761	650	453
630	883	682	515

Figura 9- Caratteristiche del cavo in MT utilizzato per la connessione tra la CDR e la SEU

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 nel collegamento tra le due cabine, distanti circa 10,4 km:

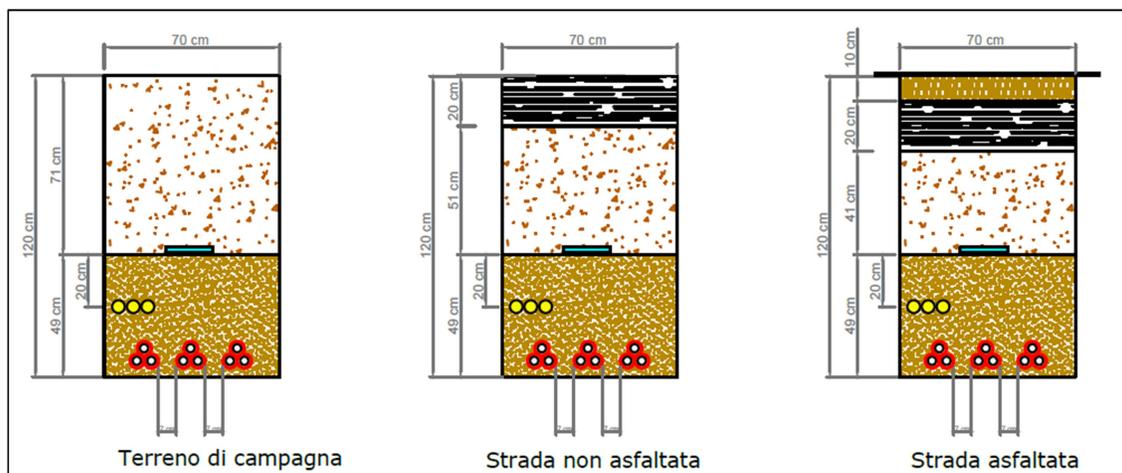


Figura 10– Sezioni degli scavi del cavidotto di connessione tra la CDR e la SEU

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



Figura 11– Materiali di riempimento per scavo cavi esterni

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

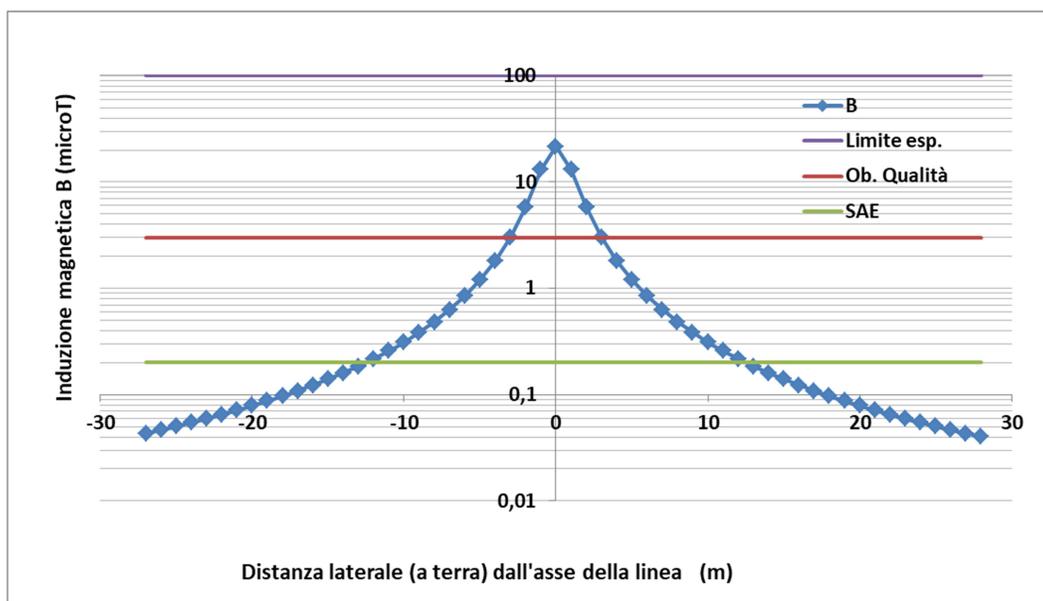


Figura 12 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.

Nella **Tabella 8** – 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 sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 12**.

Punti	Distanza [m]	B(μT)
0	1,2	19,0
1	1,6	11,4
2	2,3	5,1
3	3,2	2,7
4	4,2	1,6
5	5,1	1,1
6	6,1	0,7
7	7,1	0,55
8	8,1	0,42
9	9,1	0,34
10	10,1	0,27

Tabella 8 – 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 precedente** si nota che l’obiettivo di qualità viene raggiunto ad una distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sulla strada, di circa 2,9 m.

La **Figura 13** successiva, mostra in dettaglio il percorso del cavidotto (in rosso), l' area dell' impianto agrivoltaico (in ciano), il ricevitore RA (con segnaposto in giallo) e le aree della SE di Terna (in verde) e della SEU (in giallo):

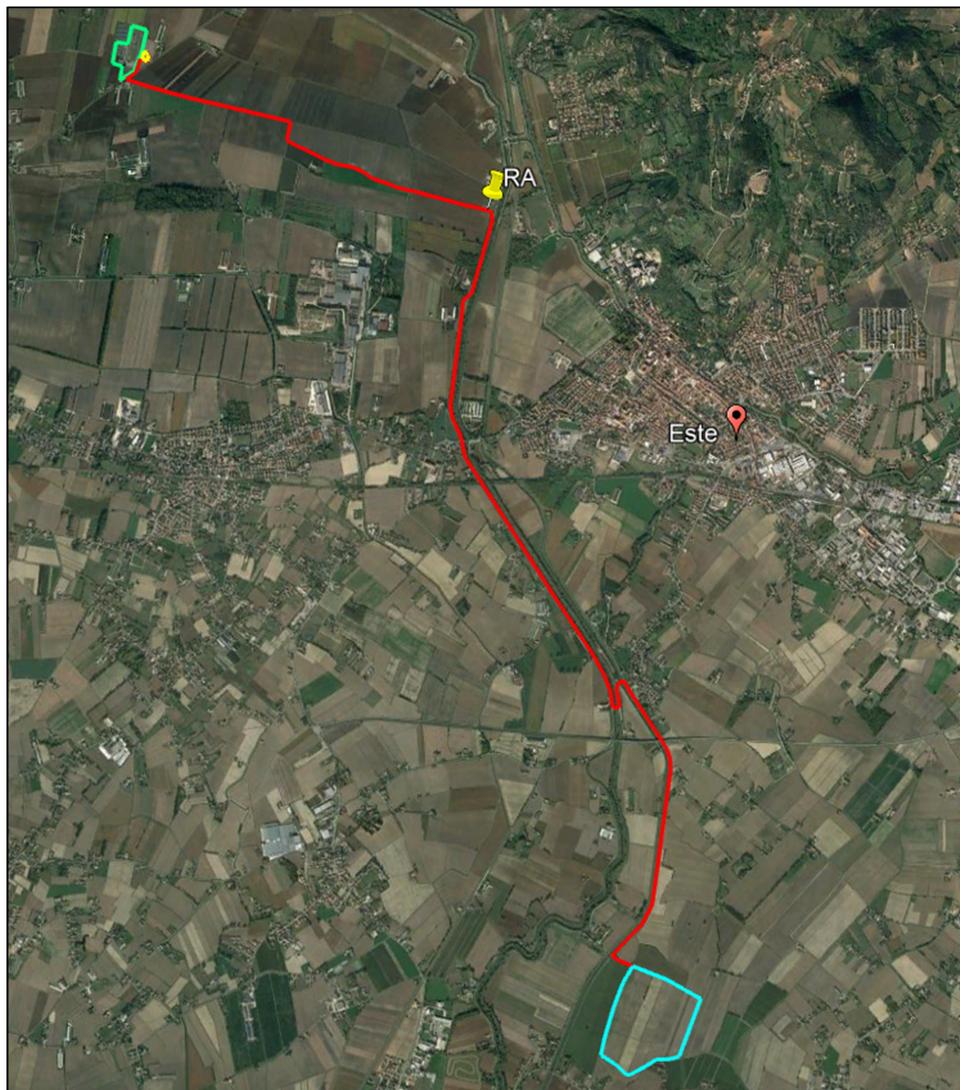


Figura 13– Inquadramento su ortofoto del percorso del cavidotto di evacuazione

L'unico ricevitore situato nelle vicinanze del percorso del cavidotto di evacuazione è il ricevitore indicato come RA, posizionato a una distanza di circa 2,9 metri dallo scavo, come illustrato anche nell'immagine successiva:

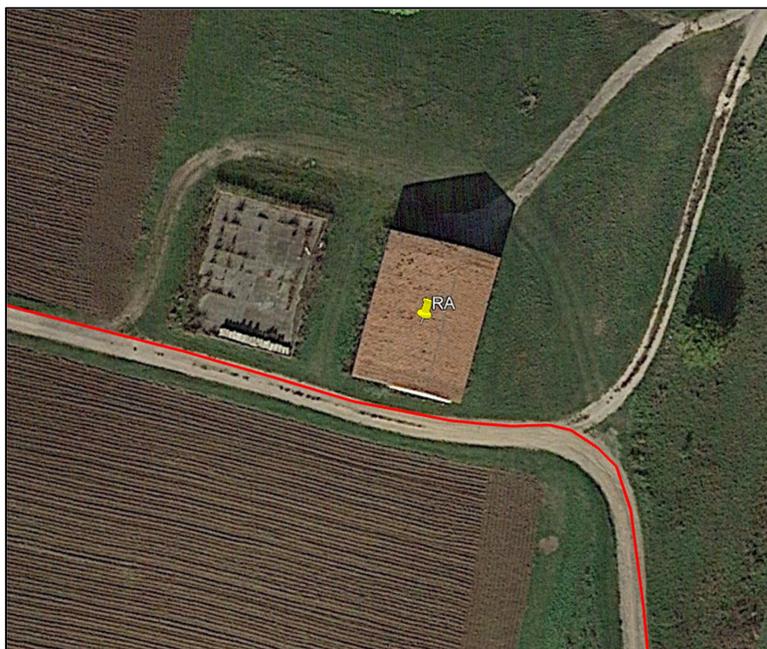


Figura 14– Inquadramento su ortofoto-posizione del ricevitore RA

Il campo magnetico B raggiunge un valore di circa $3 \mu\text{T}$ presso il ricevitore in questione, in conformità con i dati presenti nella **Tabella 9** precedente. Tale valore corrisponde all'obiettivo di qualità da intendersi come il valore limite di esposizione ai campi magnetici. Per ridurre il valore del campo sul ricevitore, si rimanda al paragrafo successivo.

9.2.4.1 POSSIBILI SOLUZIONI PER LA RIDUZIONE DEL CAMPO B

Per ridurre il campo B al di sotto dell'obiettivo di qualità nel tratto stradale prossimo al ricevitore più esposto al campo di induzione elettromagnetica, esistono ad esempio, le seguenti soluzioni:

- a) distanziamento dei cavi dal ricevitore;
- b) interro dei cavi a profondità maggiore nello scavo;
- c) schermatura dei cavi con canalina, piastra o tubazione metallica, ad alta permeabilità o conduttività, nel tratto di scavo più vicino al ricevitore.

Caso a)

Dalla precedente **figura 14** e considerando che il ricevitore RA dista circa 2,9 m dallo scavo, è possibile ridurre il campo B fino a raggiungere valori inferiori all'obiettivo di qualità, distanziando lo scavo di pochi cm dal ricevitore stesso. Ad esempio, ad una distanza di 3 m, il campo B assume un valore pari a circa $2,7 \mu\text{T}$.

Un'alternativa consiste nel realizzare lo scavo sul lato opposto della strada (larga circa 4 m) rispetto alla posizione del ricevitore. In questo scenario, la distanza tra lo scavo ed il ricevitore

sarebbe di circa 6,9 m ed il valore del campo B a questa distanza assumerebbe il valore di circa 0,6 μT , come indicato nella **tabella 9**.

Caso b)

Un' altra soluzione indicata per ridurre il campo magnetico al di sotto del valore di 3 μT , è quella di interrare i cavi ad una profondità maggiore, rispetto a quella di progetto che è pari a circa 1,2 m dalla pavimentazione stradale. Di seguito si riporta lo studio del campo B, considerando la minime profondità di scavo per la quale il campo assume un valore inferiore all' obiettivo di qualità sul ricettori stesso: alla profondità di circa 1,4 m, si ottiene il seguente andamento del campo B sia in forma grafica che tabellare:

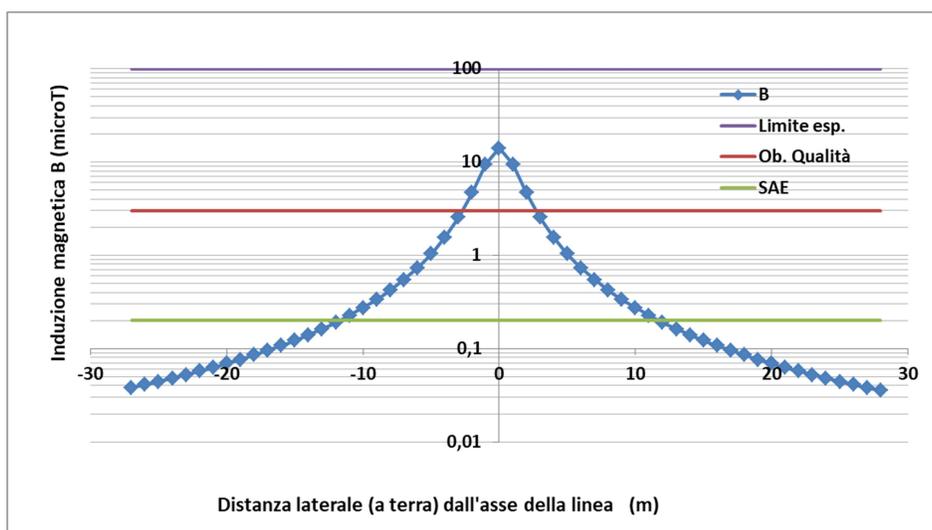


Figura 15 – Andamento del campo B generato dal cavidotto di evacuazione ad una profondità di circa 1,4 m – Ricettore RA

Punti	Distanza [m]	B(μT)
0	1,2	14,0
1	1,6	9,4
2	2,3	4,7
3	3,2	2,5
4	4,2	1,6
5	5,1	1,0
6	6,1	0,73
7	7,1	0,5
8	8,1	0,42
9	9,1	0,3
10	10,1	0,27

Tabella 9 – Valori del campo B al variare della distanza dal cavidotto sul tratto stradale - Ricettore RA

Caso c)

La schermatura di un campo magnetico a bassa frequenza è possibile attraverso l'uso di fogli, nastri, piastre, tubi, canaline, sia in materiale ferromagnetico ad elevata permeabilità (es. ferro), oppure di materiale conduttore ad elevata conducibilità (es. rame, alluminio, acciaio ad elevate caratteristiche magnetiche). L'efficacia di uno schermo dipende da diversi parametri quali lo spessore, l'estensione, la distanza dalla sorgente, la permeabilità e conducibilità del materiale, l'applicazione e la connessione delle singole parti che lo costituiscono, l'orientamento del campo inducente.

Se si utilizzano materiali ferromagnetici, è preferibile realizzare schermi di forma chiusa formando strutture che circondino il più possibile le sorgenti in modo tale da aumentarne l'efficacia, soprattutto nelle vicinanze del cavidotto stesso.

Se invece si utilizzassero materiali conduttori (come nel nostro caso), conviene realizzare schermi aperti, in modo da ottenere significativi risultati soprattutto ad una certa distanza dai cavi.

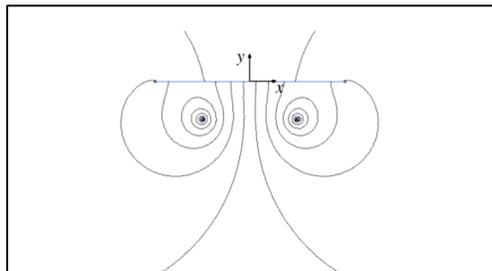
Per quest'ultima tipologia di schermo, l'efficacia schermante:

- cresce linearmente con lo spessore del materiale utilizzato;
- aumenta con la conducibilità del metallo impiegato: è sicuramente preferibile il rame, ma la minore efficacia dell'alluminio può essere compensata da uno spessore superiore;
- migliora, se diminuisce la distanza tra i cavi e lo schermo.

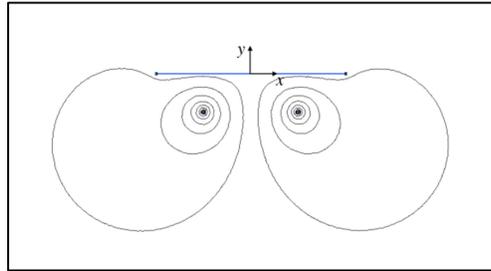
Sono altresì importanti, oltre che le dimensioni, anche la posizione e la forma dello schermo: ad esempio si possono usare schermi con lastra piana posizionata sul cavidotto, ad "U" rovesciata oppure chiusa. Ciascuna forma del conduttore schermante reagisce alle componenti del campo magnetico in maniera differente.

Di seguito si riportano gli andamenti dei campi magnetici relativi ad un cavidotto, schermato sia con una lastra piana di materiale ferromagnetico (a) ed una di alluminio (b):

(a)



(b)



Si definisce "fattore di schermatura" (SF), il rapporto tra il campo magnetico senza la schermatura ed il campo magnetico generato dalla sorgente con la schermatura: maggiore è l' SF e maggiore è l'efficacia dello schermo. La figura seguente mostra gli andamenti dell' SF per entrambi i materiali, situato 20 cm circa sopra un cavidotto, all' aumentare della distanza dai conduttori:

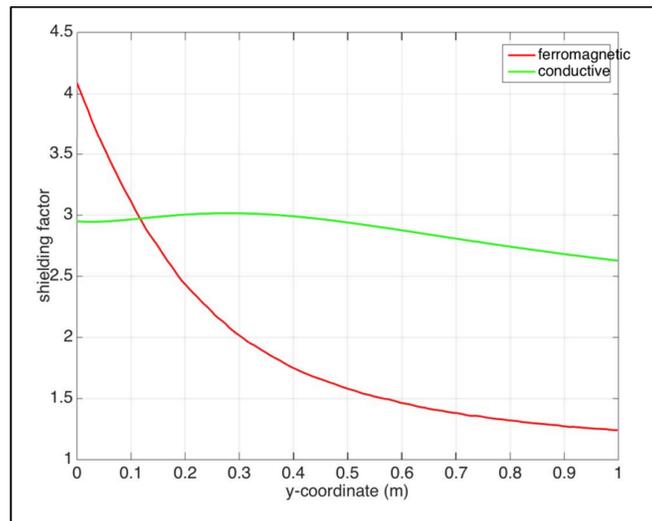


Figura 16 – Andamento del fattore di schermatura con la distanza dal cavidotto

Emerge chiaramente che, per il nostro ricevitore situato a distanza dai cavi, la soluzione che prevede l'impiego di uno schermo realizzato in materiale conduttivo, si dimostra più efficiente nel mitigare il CEM. Pertanto, il valore del campo B può essere ridotto al di sotto del limite dell' obiettivo di qualità, posizionando una schermatura metallica in materiale conduttore, le cui dimensioni e forma, verranno opportunamente valutate e dimensionate in fase esecutiva, qualora si decidesse di utilizzare questo sistema di schermatura.

E' importante sottolineare che i calcoli effettuati nel progetto per determinare il campo B, sono stati condotti tenendo conto del valore della portata del cavidotto, pari a circa 1.950 A (portata di 650x3 cavi). Nella realtà, poiché l' impianto agrivoltaico ha una potenza nominale installata di 36,083 MWp, il valore di corrente massima che percorre il cavidotto di evacuazione è pari a circa 771,5 A, cioè circa 257,2 A per cavo, quasi il 60% inferiore rispetto al valore considerato nei calcoli del campo B precedentemente. Assumendo pertanto nei

calcoli tale valore di corrente, il campo B alla distanza di 2,9 m (riferita al ricevitore RA), raggiungerà un valore di circa 1,1 μT .

Di seguito i risultati del calcolo del campo B nel caso in cui i cavi fossero percorsi dalla corrente massima prodotta dall' impianto eolico:

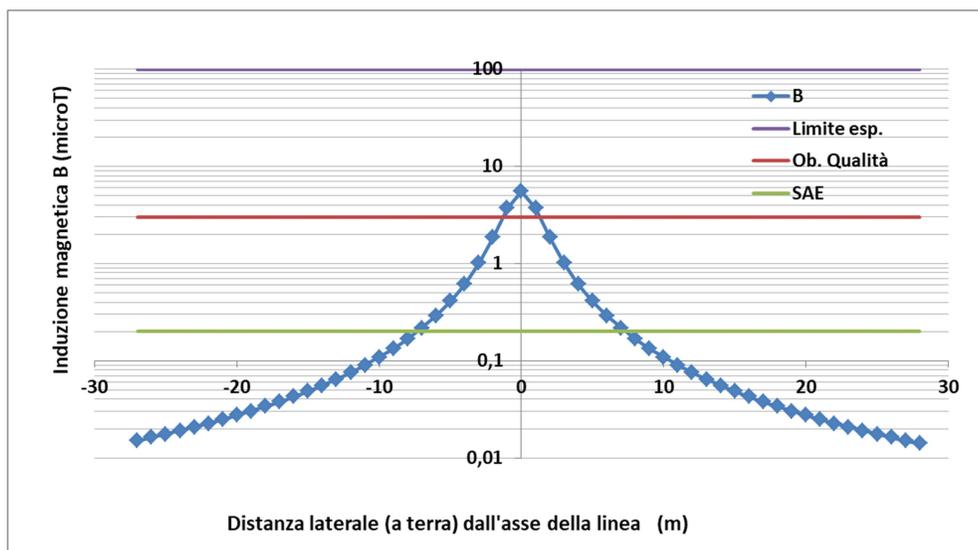


Figura 17 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT con i valori della corrente massima prodotta dal campo FV in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

I punti del grafico riportati in forma tabellare:

Punti	Distanza [m]	B(μT)
0	1,2	5,6
1	1,6	3,7
2	2,3	1,9
3	3,2	1,0
4	4,2	0,6
5	5,1	0,4
6	6,1	0,29
7	7,1	0,2
8	8,1	0,17
9	9,1	0,1
10	10,1	0,11

Tabella 10 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricevitori esterni all'impianto-I max

Inoltre, per concludere, il ricevitore RA è accatastato come "fabbricato rurale con fini strumentali per l'agricoltura e rudere", dunque non trattandosi né di un' ambiente abitativo né di luogo adibito a permanenza non inferiore a quattro ore, come riportato nel testo del DPCM 8 luglio 2003.

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.

Tali sbarre AT sono assimilabili ad una linea trifase aerea, con tensione pari a 132 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 18** - Campo di induzione magnetica B (μT) generato dalle sbarre AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità nella quale sono anche indicati il limite di esposizione e l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

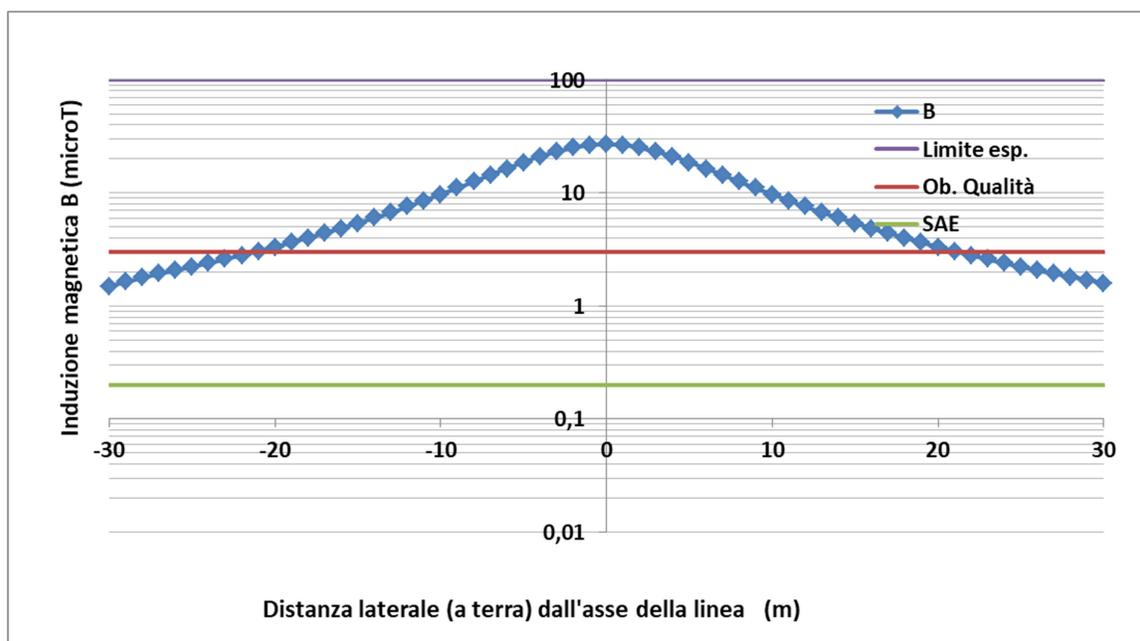


Figura 18 - Campo di induzione magnetica B (μT) generato dalle sbarre AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 11** – Valori del campo B sulle sbarre in AT in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale sul terreno seguente sono riportati i valori puntuali del campo B, 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 11 – Valori del campo B sulle sbarre in AT in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale sul terreno

Il ricevitore più vicino alla stazione elettrica utente MT/AT, è il ricevitore RB che dista circa 100 m in linea d'aria dalle sbarre AT.

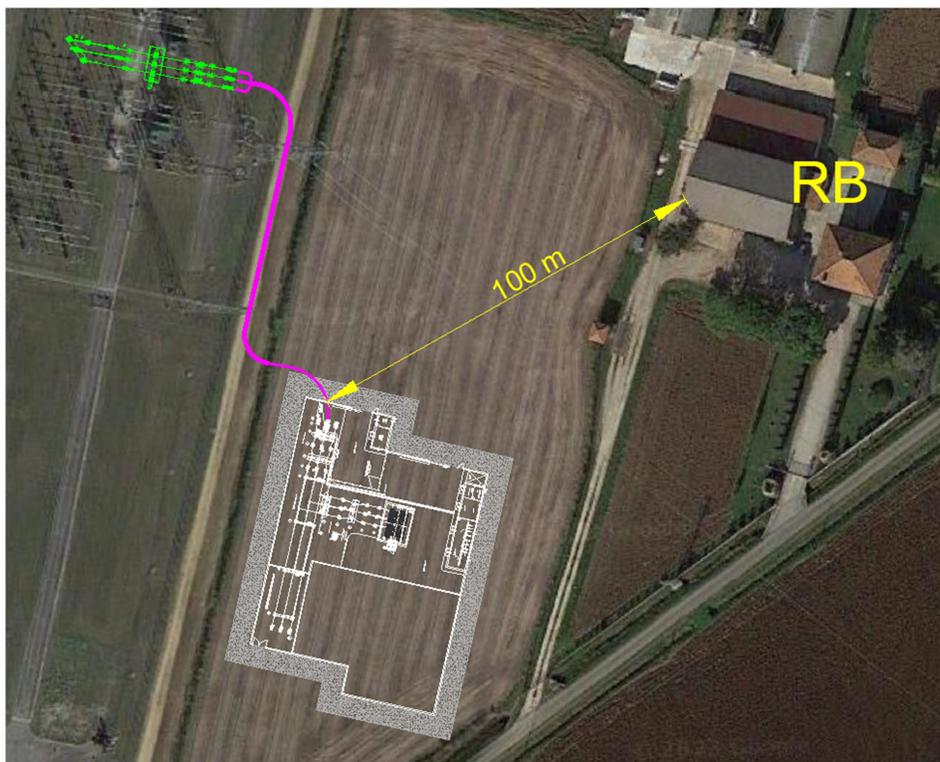


Figura 19 inquadramento dell'area di SEU con il ricevitore più vicino

A tale distanza, il valore del campo B è fuori dal valore del limite di $3 \mu\text{T}$ garantendo in tal modo le condizioni di sicurezza.

10.1 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 100 m. Il tracciato, è visibile in **figura 19**.

- 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).

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 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 mm ²	Conductor diameter mm	Thickness of insulation mm	DC conductor resistance at 20°C Ω/km	Electrostatic capacitance μF/km	Aluminium screen			Copper wire/lead sheath			Copper wire/alu sheath			Corrugated Alu sheath			Lead sheath		
					Sectional area* mm ²	Outside diameter of cable* mm	Weight of cable* kg/m	Sectional area* mm ²	Outside diameter of cable* mm	Weight of cable* kg/m	Sectional area* mm ²	Outside diameter of cable* mm	Weight of cable* kg/m	Sectional area* mm ²	Outside diameter of cable* mm	Weight of cable* kg/m	Sectional area* mm ²	Outside diameter of cable* mm	Weight of cable* 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 mm ²	Laying conditions : Trefoil formation				Laying conditions : Flat formation				Nominal section area mm ²		
	Earthing conditions induced current in the metallic screen	Direct burial		In air, in gallery		Earthing conditions induced current in the metallic screen	Direct burial			In air, in gallery	
		$\rho_T = 1,0$ $T = 20^\circ\text{C}$	$\rho_T = 1,2$ $T = 30^\circ\text{C}$	$T = 30^\circ\text{C}$	$T = 50^\circ\text{C}$		$\rho_T = 1,0$ $T = 20^\circ\text{C}$	$\rho_T = 1,2$ $T = 30^\circ\text{C}$		$T = 30^\circ\text{C}$	$T = 50^\circ\text{C}$
400 R	With circulating currents	515	445	665	530	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 20 – 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:

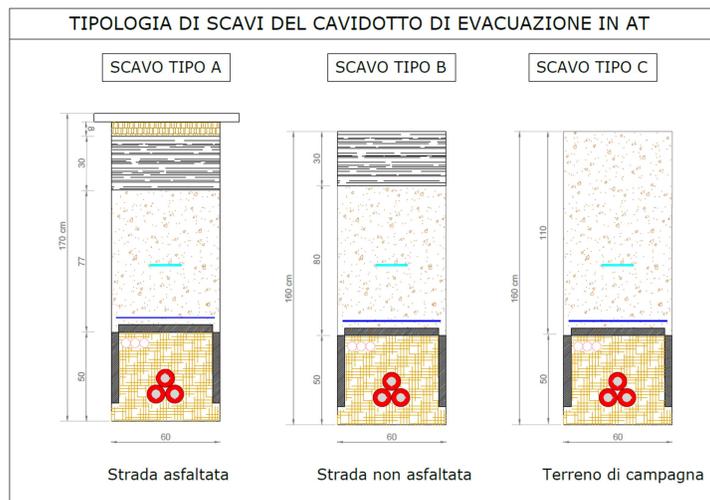


Figura 21 – Sezioni tipiche di scavo e di posa per il cavo in AT kV

10.2 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 22**, con indicazione del limite di esposizione e l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

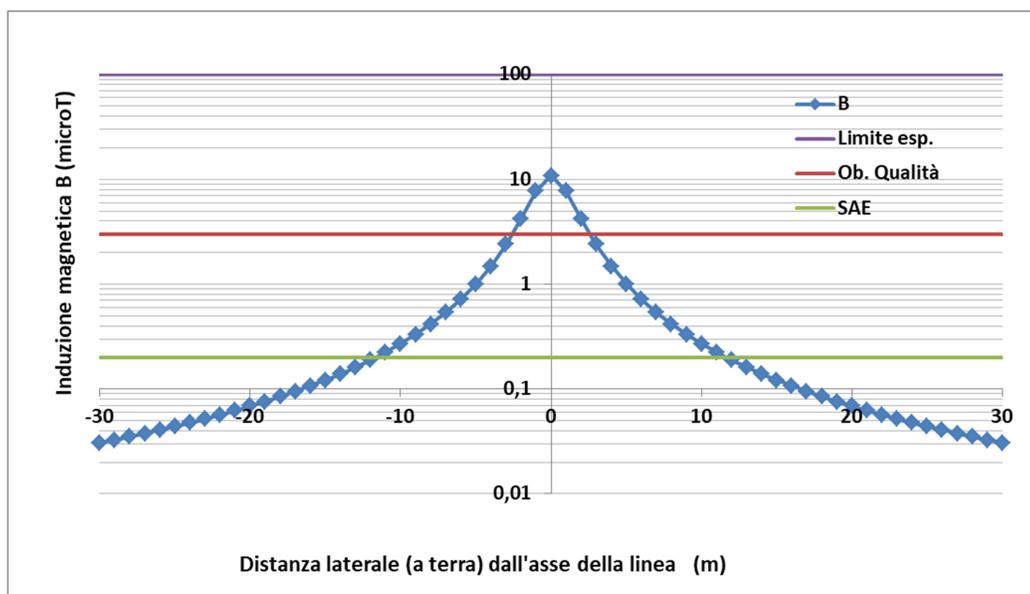


Figura 22 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 12** – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo AT sull'asse stradale seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **Figura 222**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto in AT.

Punti	Distanza [m]	B(μT)
0	1,6	10,81
1	1,9	7,78
2	2,6	4,22
3	3,4	2,39
4	4,3	1,49
5	5,2	1,00
6	6,2	0,72
7	7,2	0,54
8	8,2	0,42
9	9,1	0,33
10	10,1	0,27

Tabella 12 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo AT sull'asse stradale

Il cavidotto è distante circa 100 m dal ricettore RB, riportato nella **figura 19**, dunque fuori dal valore del limite di 3 μ T 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, 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 agrivoltaico, che collega la cabina di ricezione con la stazione utente di trasformazione MT/AT, potrebbe influenzare un ricettore, ubicato 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 su tale ricettore, mantenendo così le condizioni di sicurezza.

Possiamo ritenere dunque che tutte le opere elettriche connesse al progetto agrivoltaico sono 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.

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.