

REGIONE LAZIO

Comuni di Viterbo, Bagnoregio e Celleno (VT)

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE
DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI PICCO PARI A
40.926,0 kWp E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 32.000 kW
sito nel comune di Viterbo, Bagnoregio e Celleno (VT) e delle relative opere di
connessione alla RTN

TITOLO

Relazione di impatto elettromagnetico

PROGETTAZIONE

PROPONENTE



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



ALTER UNO S.r.l.

Alter Uno S.r.l.
Via Principessa Clotilde,7 - Roma (RM)
C.F. e P.IVA 16155091008

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	01/02/2022	Lauretti	Bartolazzi	Alter Uno S.r.l.	Relazione di impatto elettromagnetico

N° DOCUMENTO

ALT-VTB-RIE

SCALA

--

FORMATO

A4

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 FOTOVOLTAICO	12
5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	12
5.1 MODULI FOTOVOLTAICI	13
5.2 MULTI-MPPT STRING INVERTER	13
6. CABINE DI TRASFORMAZIONE BT/MT	14
7. CABINA UTENTE	14
8. CAVIDOTTI IN MEDIA TENSIONE.....	16
9. ESPOSIZIONE POST-OPERAM DEL PROGETTO.....	18
9.1 CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO	19
9.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT.....	19
9.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO.....	20
9.1.3 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI	22
9.2 CAVIDOTTI ESTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO	26
9.2.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT.....	26
9.2.2 TIPOLOGIA DI SCAVO.....	28
9.2.3 CAMPO D'INDUZIONE B DEL CAVIDOTTO ESTERNO	29
9.2.4 CALCOLO DEL CAMPO B SUI RICETTORI	42
11. CAVO IN AT-150 KV	49
11.1 TRACCIATO	49
11.2 CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CAVO IN AT	49
11.3 MODALITÀ DI POSA DEL CAVO IN AT	51
11.4 CALCOLO DEL CAMPO B DEL CAVO AT	52
12. CONCLUSIONI	55

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 utente con trasformatore aux.	15
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 del cavo in MT.....	20
Figura 6 – Sezione tipo di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all’area d’impianto.....	21
Figura 7 – Inquadramento dell’area di impianto su ortofoto – Ricettori (R1÷R4) e cavidotti MT	22
Figura 8 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto fotovoltaico da 95 mmq in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità. .	24
Figura 9 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto fotovoltaico da 185 mmq in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità. .	24
Figura 10 – Tratto di cavidotto composto da n.5 terne di cavi da 630 mmq ciascuna.....	27
Figura 11 – Sezione tipo di scavo per i cavidotti interrati in MT esterni	28
Figura 12 – Inquadramento su ortofoto – percorso dei cavidotti di evacuazione in MT	29
Figura 13 – Inquadramento su ortofoto della stazione utente di trasformazione.....	30
Figura 14 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità – ricettori in azzurro	42
Figura 15 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità – ricettori in verde.....	43
Figura 16 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità – ricettori in magenta	44

Figura 17 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità – ricettori in giallo.	45
<i>Figura 18 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dalle sbarre AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 19 –Caratteristiche tecniche del cavo in AT a 150 kV.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 20 – Specifiche tecniche del cavo in AT a 150 kV</i>	<i>51</i>
<i>Figura 21 – Sezioni tipiche di scavo e di posa per il cavo in AT a 150 kV.....</i>	<i>52</i>
Figura 22 – 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	53

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 – Caratteristiche tecniche dell'impianto.....	12
Tabella 4 – Distanza tra i ricettori ed il cavidotto interno MT	23
Tabella 5 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per il cavo da 95 mmq	25
Tabella 6 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per il cavo da 185 mmq	25
Tabella 7 – Distanza tra i ricettori ed il cavidotto esterno alle aree d'impianto	41
Tabella 8 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori in azzurro	43
Tabella 9 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori in verde	44
Tabella 10 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori in magenta.....	45
Tabella 11 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori in giallo	46
Tabella 12 – Valori del campo B sulle sbarre in AT in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale sul terreno.....	48
Tabella 13 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori esterni all'impianto.....	54

1. OGGETTO DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha lo scopo di descrivere i possibili campi elettromagnetici generati dall'impianto fotovoltaico della potenza nominale di circa 40,93 MWp, da realizzare nei territori comunali di Viterbo, Bagnoregio e Celleno, localizzati nella regione Lazio, in provincia di Viterbo, prendendo in considerazione tutti gli elementi 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 fotovoltaico, che collegano le cabine di trasformazione BT/MT (CT) e le rispettive cabine utenti (CU);
- in MT a 30 kV, esterne all'area d'impianto, che collegano sia le cabine utenti tra di loro che con il quadro in MT della stazione utente di trasformazione MT/ AT (SU);
- in AT a 150 kV di connessione tra la stazione elettrica di trasformazione utente MT/AT e lo stallo in ingresso con la SST di Rete.

Si rimanda alla Relazione tecnica degli impianti elettrici ALT-VTB-RTE, per l'esposizione dettagliata delle caratteristiche tecniche ed elettriche dei cavidotti di connessione dell'impianto fotovoltaico 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.

Con il protocollo di Kyoto (dicembre 1997) le maggiori potenze mondiali, tra le quali l'Italia, si sono impegnate a diminuire le emissioni dei gas-serra per prevenire i cambiamenti climatici, e a Johannesburg (dicembre 2001) i Paesi sottoscrittori, esclusi gli USA ma con l'aggiunta di Russia e Cina, hanno riconfermato la loro adesione a tale accordo. Nel settembre 2004 poi la Russia ha deciso di ratificare il Protocollo, rendendolo così operativo. Il 12 dicembre 2008 è stato approvato dagli Stati Membri della UE il "Pacchetto cambiamenti climatici ed energia", già definito 20-20-20, che prevede il raggiungimento di una quota del 20% di energie rinnovabili nel totale dei consumi energetici entro il 2020. La strada da percorrere nell'ottica di uno sviluppo sostenibile è dunque quella dello sfruttamento delle fonti di energia non soggette ad un esaurimento nel tempo e non impattanti sull'ambiente.

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 agiscono 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.

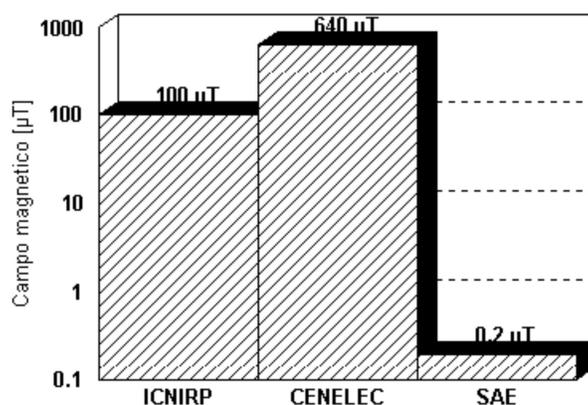


Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE.

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) **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 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 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 MT 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.

4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

L'impianto fotovoltaico sarà realizzato su strutture ad inseguimento solare monoassiali del tipo "2-in-portrait", con sistema backtracking, con una potenza nominale installata di circa 40.926,0 kWp. Di seguito si riporta la tabella riassuntiva con le principali caratteristiche tecniche dell'impianto FV necessarie per la redazione della relazione in oggetto:

Potenza nominale dell'impianto [kWp]	40.926
Potenza modulo fotovoltaico monocristallino [Wp]	570
Numero di moduli totali	71.800
Area d'impianto [ha]	54,7
Superficie captante fotovoltaica [ha]	18,4
N° strutture trackers	1436
N° cabine di trasformazione BT/MT 0,8/30 kV	10
N° cabine utente	3
N° cabina control room	1
Lunghezza cavo da 6 mmq in BT CC [m]	67360
Lunghezza terna di cavi unipolari da 150 mmq in BT in ac [m]	9590
Lunghezza terna di cavi unipolari da 300 mmq in BT in ac [m]	25090
Lunghezza terna di cavi unipolari da 95 mmq in MT a 30 kV [m]	2110
Lunghezza terna di cavi unipolari da 185 mmq in MT a 30 kV [m]	940
Lunghezza cavi illuminazione e videosorveglianza da 2,5 mmq in BT in ac [m]	8500
Lunghezza terne di cavi unipolari da 630 mmq esterno in MT a 30 kV [m]	51450
Lunghezza terna di cavi unipolari da 1600 mmq in AT a 150 kV [m]	160

Tabella 3 – Caratteristiche tecniche dell'impianto

5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Un impianto fotovoltaico 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;
- cavidotto in AT.

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 della Longi bifacciali, modello LR5-72HND, della potenza nominale di 570 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 fotovoltaico è pari a circa 13,0 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 SUN2000-215KTL (o similare) avente una potenza nominale in uscita in AC di 215 kVA ed tensione nominale fino a 1500 V.

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. CABINE DI TRASFORMAZIONE BT/MT

Le cabine di trasformazione conterranno, oltre ai quadri elettrici di protezione in BT ed MT, anche un trasformatore elevatore BT/MT, della potenza nominale variabile da 3150 a 5000 kVA e l'eventuale trasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari, avente una potenza minima di circa 100 kVA. Essi verranno alloggiati in appositi box metallici prefabbricati di opportune dimensioni. 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 in uscita dagli inverter (A);
- x, è il diametro dei cavi (m).

Considerando che il valore della corrente nominale sui lati BT di ciascun trasformatore di potenza BT/MT all'interno di ogni cabina, ossia quella in uscita dagli inverter, è pari a circa 4009 A alla tensione di 800 V e tenendo conto del diametro esterno dei cavi in BT di circa 470 mm (opportunamente dimensionati aventi una sezione (3x300) mmq ed in numero minimo pari a 7), si ottiene una DPA pari a circa 16,9 m.

La circonferenza avente il raggio del valore pari alla DPA calcolato precedentemente, centrata nel locale in cui è installato il trasformatore BT/MT all'interno della cabina utente di trasformazione, racchiude un'area che è per metà interna al perimetro d'impianto e per la restante parte occupa terreni o superfici agricole non presidiate costantemente dalla presenza delle persone. Inoltre, tali cabine elettriche non sono permanentemente presidiate durante il periodo di funzionamento dell'impianto FV. Lo sarebbero solamente in fase di manutenzione o di controllo, effettuato in questo caso solamente da personale formato e per brevi periodi di tempo.

7. CABINA UTENTE

In relazione alla specifica ubicazione degli impianti elettrici dei locali delle cabine utenti, ubicate all'interno delle tre aree dell'impianto fotovoltaico, 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 µT 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 alleghe 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). Nel caso in cui si prevedesse l'installazione di un trasformatore della

potenza di 100 kV per l'alimentazione dei servizi ausiliari, tale distanza diminuirebbe sensibilmente. 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.

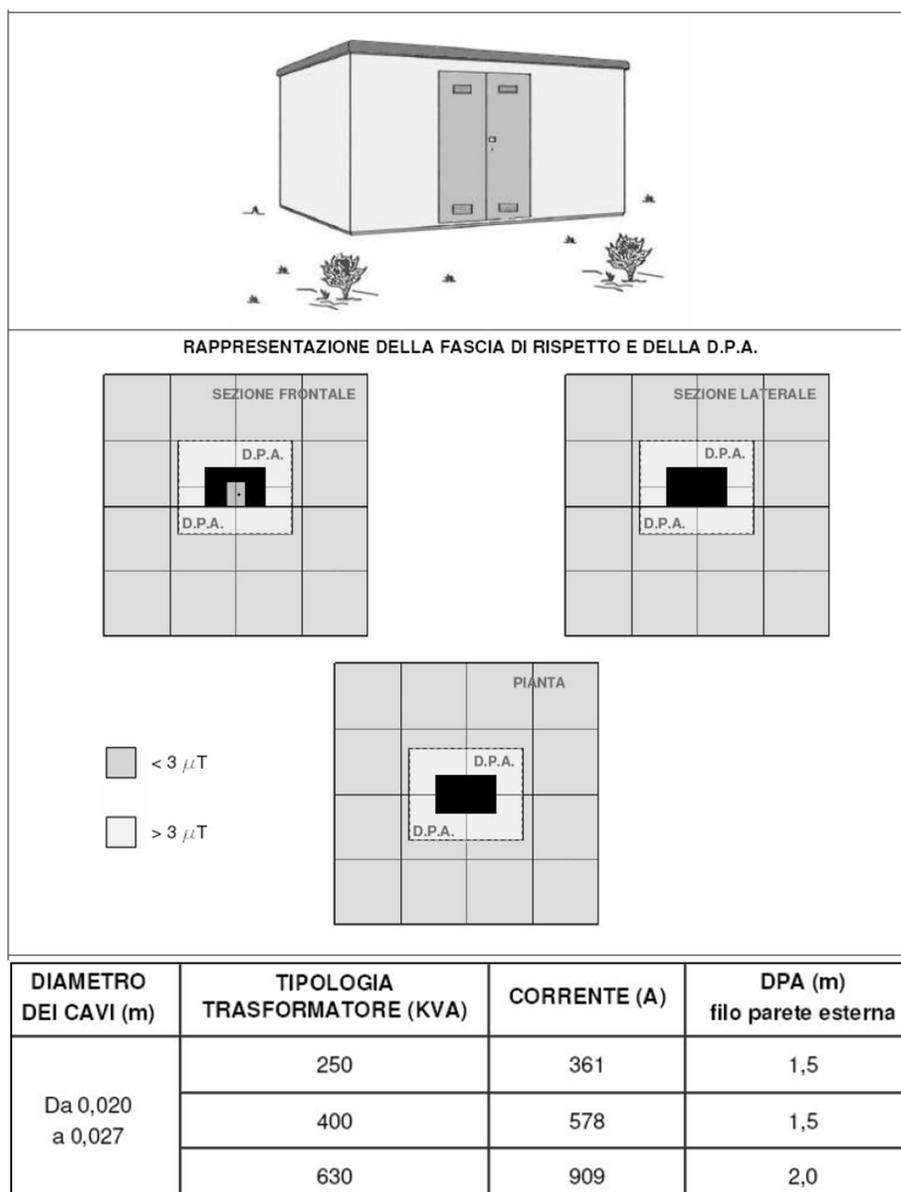


Figura 2 – Valori della Distanza di prima approssimazione per una cabina utente con trasformatore aux.

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 utente di trasformazione MT/AT, 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.

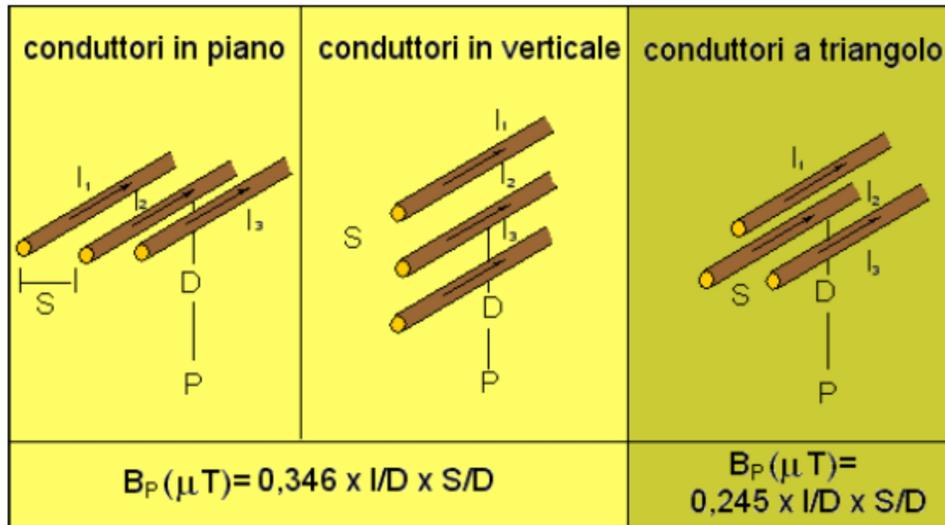


Figura 3 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.

Si osserva dalle relazioni in Figura 4 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.

Attualmente è 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 μT venga raggiunto a distanze brevissime (0.5 – 0.8 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 interrimento di 1 m.

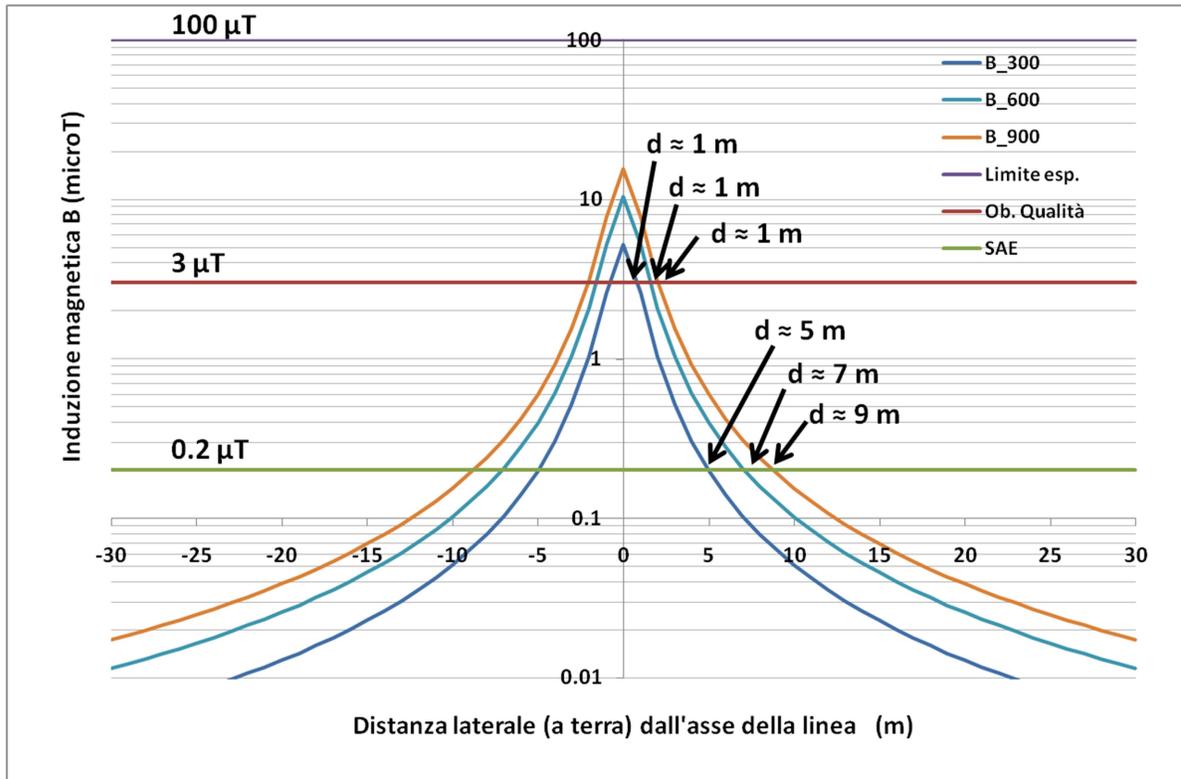


Figura 4 – Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE.

Si osservi dalla stessa figura come il campo magnetico assuma il valore massimo in corrispondenza della minima distanza dei conduttori dal suolo, ossia in corrispondenza (sopra) l'asse della linea, e decada molto rapidamente con la distanza laterale. Nella stessa figura sono indicati i valori di riferimento indicati dalla normativa: limite di esposizione (100 μT) e Obiettivo di Qualità per la progettazione di nuovi elettrodotti (3 μT). È anche indicata la Soglia di Attenzione Epidemiologica (SAE) di 0.2 μT , 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 μT non viene mai raggiunto. L'obiettivo di qualità di 3 μT , 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 μT . Infine, la SAE di 0.2 μT è raggiunta a distanza di 5, 7 e 9 m. In generale, si può osservare come tali distanze siano molto ridotte, per via della bassa distanza tra i conduttori e delle correnti non molto elevate. Già in questa fase appare quindi evidente come l'esposizione legata ai cavidotti di impianto non comporti situazioni critiche dal punto di vista elettromagnetico, salvo casi particolari.

9. ESPOSIZIONE POST-OPERAM DEL PROGETTO

Date le suddette premesse metodologiche, si descrivono di seguito i risultati dello studio del

campo elettromagnetico generato sia dai cavidotti interni all'impianto fotovoltaico in MT a 30 kV che collegano:

- le cabine di trasformazione (CT) tra di loro e con la rispettiva cabina utente (CU);
- le cabine utenti tra di loro e con la SU.

9.1 CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO

9.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI 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 18/30 KV. I cavidotti interni in MT saranno interrati ad una profondità di circa 1 m dal livello del suolo, mentre quelli esterni verranno posati ad una profondità minima di 1,2 m.

Il cavo utilizzato in MT per la connessione tra le due cabine di trasformazione ed infine con la cabina di consegna sarà del tipo ARE4H5(AR)E (o simile) unipolare, del tipo "air-bag", conforme alle specifiche TERNA DC4385 e disposto a trifoglio nello scavo, del quale si riportano di seguito le caratteristiche tecniche:

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

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
($R_{max} 3\Omega/Km$)

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.

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
($R_{max} 3\Omega/Km$)

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.

Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV						Caratt. elettriche / Electrical charact. - 18/30 kV			
50	8,2	25,5	40,7	1110	550	50	187	167	131
70	9,7	25,6	40,8	1150	550	70	231	204	159
95	11,4	26,5	41,8	1240	560	95	279	244	189
120	12,9	27,4	42,9	1350	580	120	321	277	214
150	14,0	28,1	43,6	1440	580	150	361	310	238
185	15,8	29,5	45,1	1580	600	185	415	351	269
240	18,2	31,5	47,4	1810	630	240	489	408	311
300	20,8	34,7	50,9	2120	670	300	563	459	350
400	23,8	37,9	54,6	2520	730	400	657	526	399
500	26,7	41,0	58,1	2970	770	500	761	650	453
630	30,5	45,6	63,0	3590	840	630	883	682	515

Figura 5 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT

9.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO

Per quanto riguarda la media tensione è prevista l'esecuzione di scavi per la posa dei cavidotti che riguarderanno i collegamenti tra le varie cabine visti in precedenza. Di seguito la Figura 6 fornisce una rappresentazione grafica della sezione di scavo per i cavidotti interrati

in MT con profondità di posa pari a 1 m, ampiezza di 50-60 cm e distanza di posa tra i cavi corrispondente a 7 cm, interni all'area d'impianto.

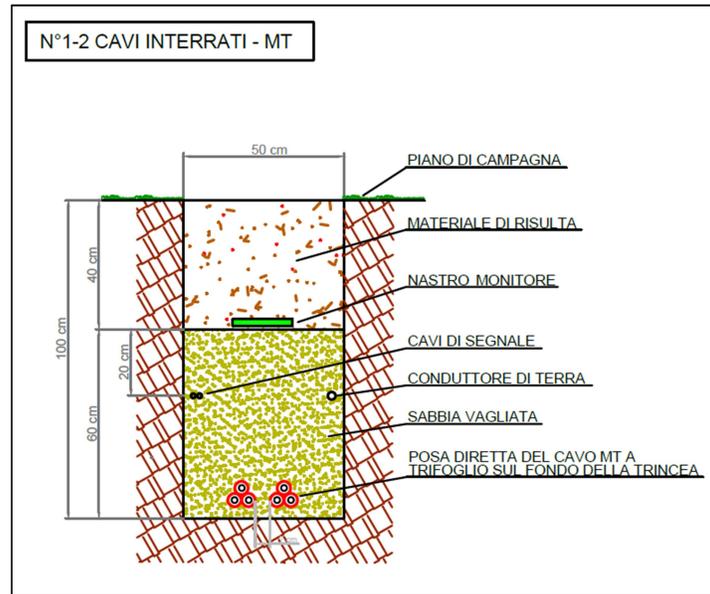
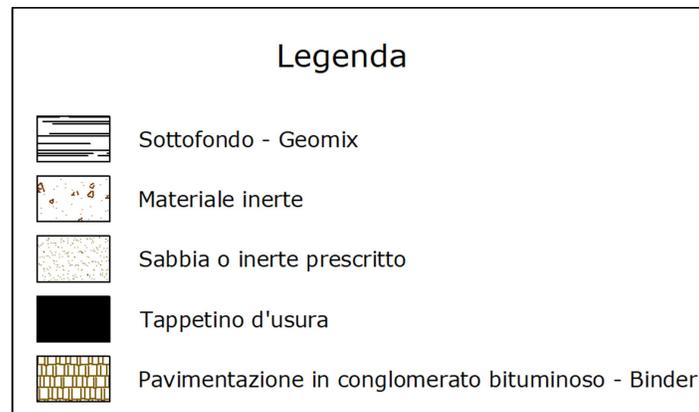


Figura 6 – Sezione tipo di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto

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



9.1.3 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI

Nella figura 7 sottostante sono riportati: il perimetro dell'area d'impianto1 (a Nord), i percorsi dei cavidotti interrati in MT e le posizioni delle cabine di trasformazione e di consegna. Sono stati individuati n.4 ricettori potenzialmente sensibili al campo B (evidenziati in giallo in figura 7) più prossimi al percorso dei cavi interni all'area d'impianto. La verifica del campo elettromagnetico per tali ricettori viene fatta considerando il valore della portata dei cavi lungo il percorso del cavo più vicino ad esso (in rosso in figura 7).

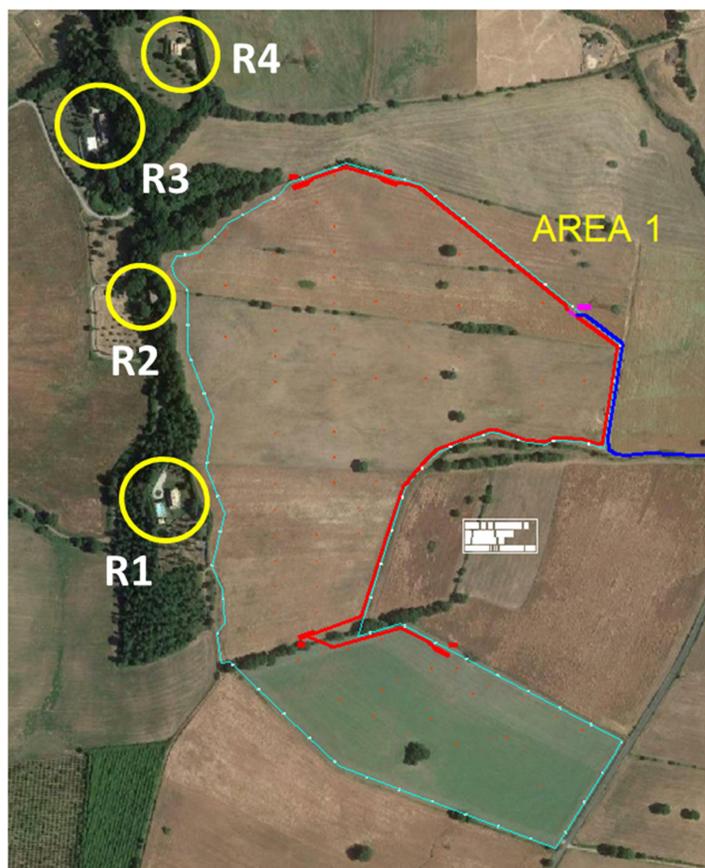


Figura 7 – Inquadramento dell'area di impianto su ortofoto – Ricettori (R1÷R4) e cavidotti MT

Calcolo del valore d'induzione B sui ricettori prossimi all'area d'impianto 1:

La corrente che percorre il cavidotto, 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. Ricordiamo che tale ipotesi dà luogo a una soluzione più conservativa rispetto al caso reale (geometria elicoidale) in cui l'ulteriore sovrapposizione delle fasi determina una maggiore attenuazione del campo.

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.

Di seguito la tabella che indica le distanze tra i ricettori ed il cavidotto più vicino ad essi, evidenziando la sezione del cavo e la sua portata:

Ricettori	Distanza [m]	Sezione cavo [mmq]	Portata [A]
R1	215	185	351
R2	210	95	244
R3	220		
R4	195		

Tabella 4 – Distanza tra i ricettori ed il cavidotto interno MT

Il cavo considerato nella progettazione sarà del tipo "air-bag" ARE4H5(AR)E i cui valori della portata di corrente fanno riferimento ad una resistività del terreno pari ad 1°Cm/W ed una Temperatura esterna di 20°C .

Il campo di induzione magnetica B generato dalla terna di cavi unipolari interrati ad una profondità di 1 m dal suolo, assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo le curve riportate in figura 8 per il cavo da 95 mmq ed in figura 9 per il cavo da 185 mmq, con indicazione del limite di esposizione e dell'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

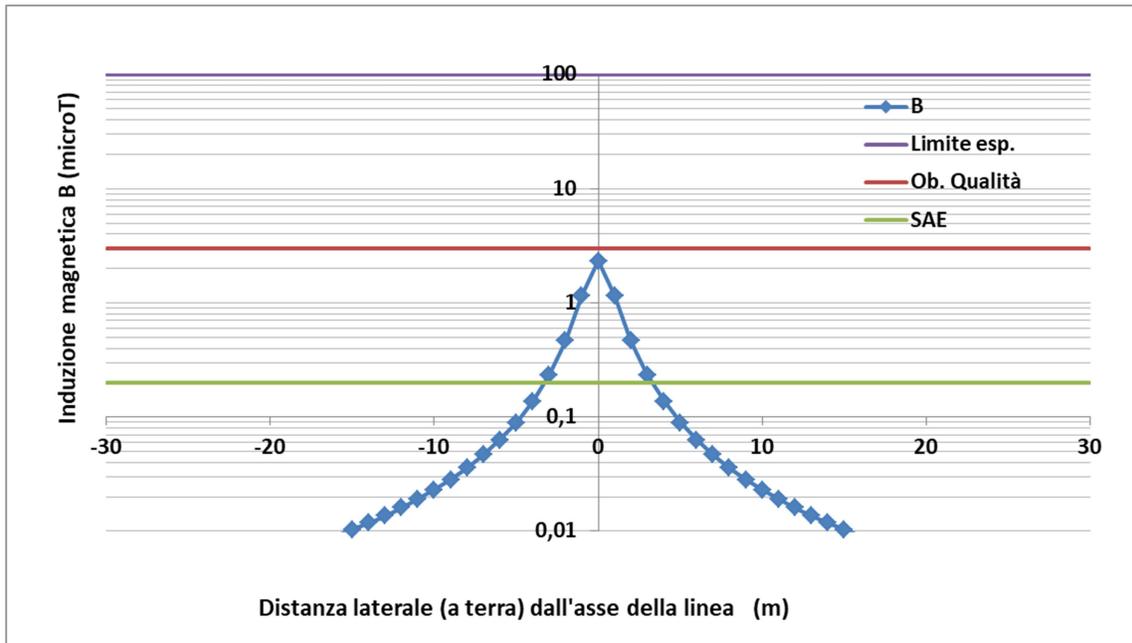


Figura 8 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto fotovoltaico da 95 mmq in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.

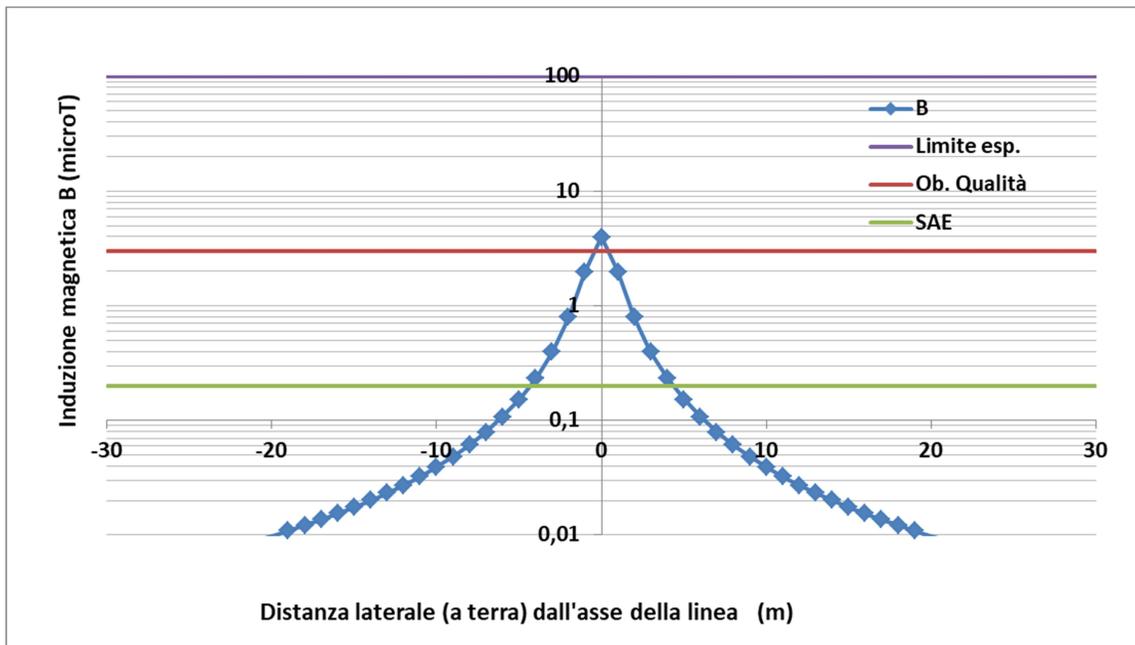


Figura 9 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto fotovoltaico da 185 mmq in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.

Nelle tabelle 5 e 6 seguenti, sono riportati i valori puntuali dei campi B rispettivamente di figura 8 e figura 9, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

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

Tabella 5 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per il cavo da 95 mmq

Punti	Distanza [m]	B(μ T)
0	1,0	4,0
1	1,4	2,0
2	2,2	0,8
3	3,2	0,4
4	4,1	0,2
5	5,1	0,2
6	6,1	0,1
7	7,1	0,1
8	8,1	0,1
9	9,1	0,05
10	10,0	0,04

Tabella 6 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per il cavo da 185 mmq

In particolare, si sottolinea che:

- per il cavo da 95 mmq, all’aumentare della distanza dall’asse del cavo, il valore del campo magnetico continua a mantenersi sempre al di sotto dell’obiettivo di qualità (3 μ T); per il cavo da 185 mmq, il valore di B assume valori minori dell’obiettivo di qualità a distanze superiori a circa 1,2 m.

Poiché tutti i ricettori in tabella 4 hanno distanze superiori a quelle indicate nelle tabelle 5 e 6, si può concludere che il valore del campo elettromagnetico su di essi è decisamente impercettibile e ben lontano dai limiti di legge.

Per quanto concerne la possibile occupazione delle aree interne dell'impianto agri-voltaico da parte di pastori e/o personale addetto alla manodopera d'impianto, si riportano di seguito alcune considerazioni in merito ai possibili effetti del campo B generato dai cavidotti in MT.

I cavi in MT interni alle tre aree d'impianto, sono posizionati vicino le recinzioni lungo le strade perimetrali, le quali, hanno una larghezza di circa 5 m.

Per il calcolo della DPA, considerando la sezione che trasporta la corrente maggiore (185 mmq), si ottiene il valore dell'obiettivo di qualità pari a 3 μ T ad una distanza inferiore a 70 cm dalla proiezione perpendicolare del cavo (interrato ad una profondità di 1 m) sul terreno. Dunque, in una fascia di ampiezza pari a circa 1,4 metri sulla superficie del terreno, fino ad un'altezza dal suolo di circa 20 cm si ha un valore del campo B compreso tra 3÷4 μ T. Il calcolo è stato effettuato tenendo conto del valore della portata del cavo ossia nelle condizioni più severe. Nella realtà, il valore di corrente che circola nel cavo è molto più bassa (214 A) ed il campo B generato da essa sul piano campagna assume valori inferiori a 3 μ T.

Considerando inoltre che il cavo è interrato vicino le recinzioni perimetrali lungo strade non adibite a pascolo o coltivazioni, tenendo poi conto che le persone addette non sostano per più di 4 h al giorno nello stesso punto, in base anche al valore del campo B calcolato precedentemente, si può assumere che non ci sono rischi per la salute.

Per quanto concerne i cavi in BT interni alle aree d'impianto, che sono principalmente cavi in c.a. ad 800 V che collegano gli inverter alle rispettive cabine BT/MT, secondo quanto previsto dal D.M. 29 maggio 2008, la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto di cui all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 non si applica alle linee elettriche di prima classe ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449, quali appunto le linee di Bassa Tensione, poichè la relativa fascia di rispetto ha 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).

9.2 CAVIDOTTI ESTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO

9.2.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT

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). I collegamenti in MT tra le cabine utenti dei tre terreni con la SU MT/AT, saranno realizzati in conformità allo schema elettrico unifilare mediante cavi in alluminio con tensione d'isolamento 18/30 KV. I cavidotti esterni verranno interrati ad una profondità di circa 1,2 m dal livello del suolo.

Per le connessioni elettriche tra:

- la cabina CU1 con la CU2, sarà utilizzato n.1 cavo avente una sezione nominale di 630 mmq;
- la cabina CU2 con la CU3, verranno utilizzati n.2 cavi aventi una sezione nominale di 630 mmq ciascuno;

- la cabina CU3 con la SU, saranno installati n.3 cavi aventi una sezione nominale di 630 mmq ciascuno.

Nel tratto stradale, tra l'incrocio con Strada Teverina e la SP18 (indicato con il punto 1 in figura 10) fino all'are 3 d'impianto, il cavidotto in questo percorso è composto da n.5 terne di cavi MT aventi una sezione di 630 mmq ciascuno. Infatti, n.2 cavi sono provenienti dalla cabina CU2 dell' area 2 d'impianto che vanno a collegarsi con il quadro MT della CU3 nell' area 3, mentre n.3 cavi, uscendo dalla cabina CU3 andranno a connettersi con la stazione utente di trasformazione MT/AT.



Figura 10 – Tratto di cavidotto composto da n.5 terne di cavi da 630 mmq ciascuna

Il cavo utilizzato nei collegamenti sopra citati è lo stesso utilizzato per i collegamenti in MT interni all'impianto FV.

9.2.2 TIPOLOGIA DI SCAVO

Nella figura 11 successiva viene rappresentata una sezione di scavo con cavi direttamente posati ad una profondità di posa minima di circa 1,2 m ed ampiezza di circa 70 cm. La distanza di posa orizzontale prevista tra i cavi è di 7 cm.

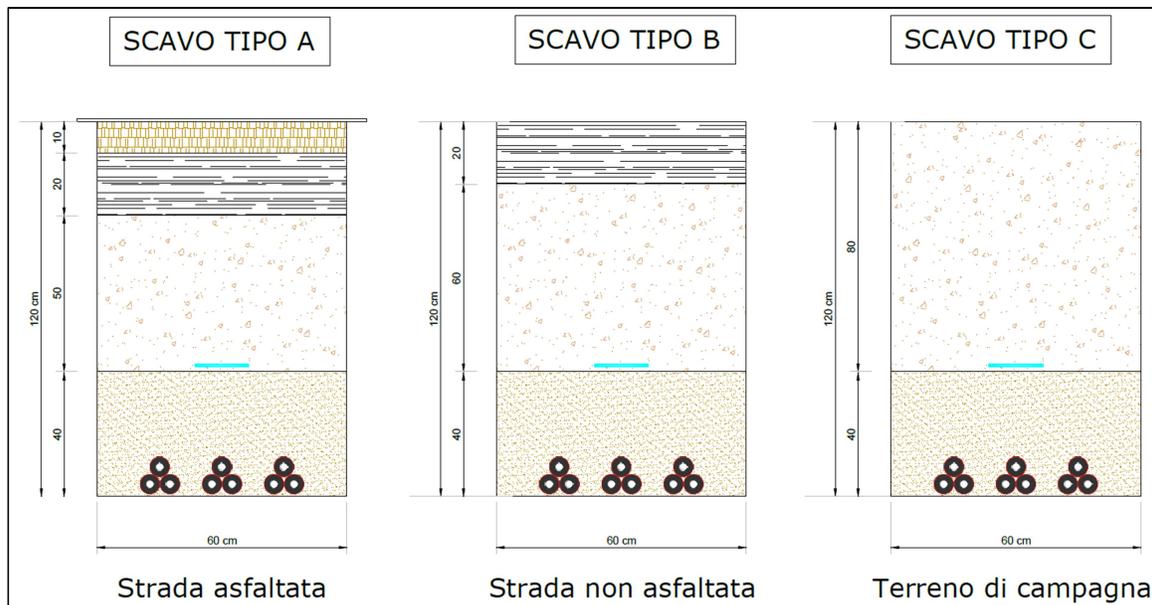
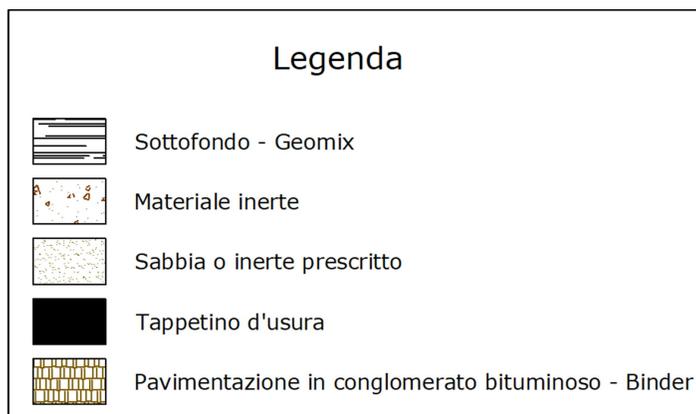


Figura 11 – Sezione tipo di scavo per i cavidotti interrati in MT esterni

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



9.2.3 CAMPO D'INDUZIONE B DEL CAVIDOTTO ESTERNO

Come riportato nel paragrafo 9.2.1. le tre cabine utenti, ciascuna posizionata all'interno di un'area di progetto, saranno collegate in antenna tra di loro ed infine con la stazione utente di trasformazione MT/AT ubicata in un terreno prossimo alla Sottostazione di Grotte RTN. La figura 12 successiva mostra in dettaglio le tre aree d'impianto (in azzurro l'area 1, in verde l'area 2 ed in magenta la 3), della SST RTN (in giallo) ed il cavidotto di collegamento tra le cabine utenti e la SU (in blu). Nella figura 13 è rappresentata l'area e la posizione della stazione di trasformazione utente, da realizzare in un terreno vicino la stazione RTN, lato 150 kV. Il percorso dei cavi in MT avverrà su tratti stradali sia sterrati che asfaltati.

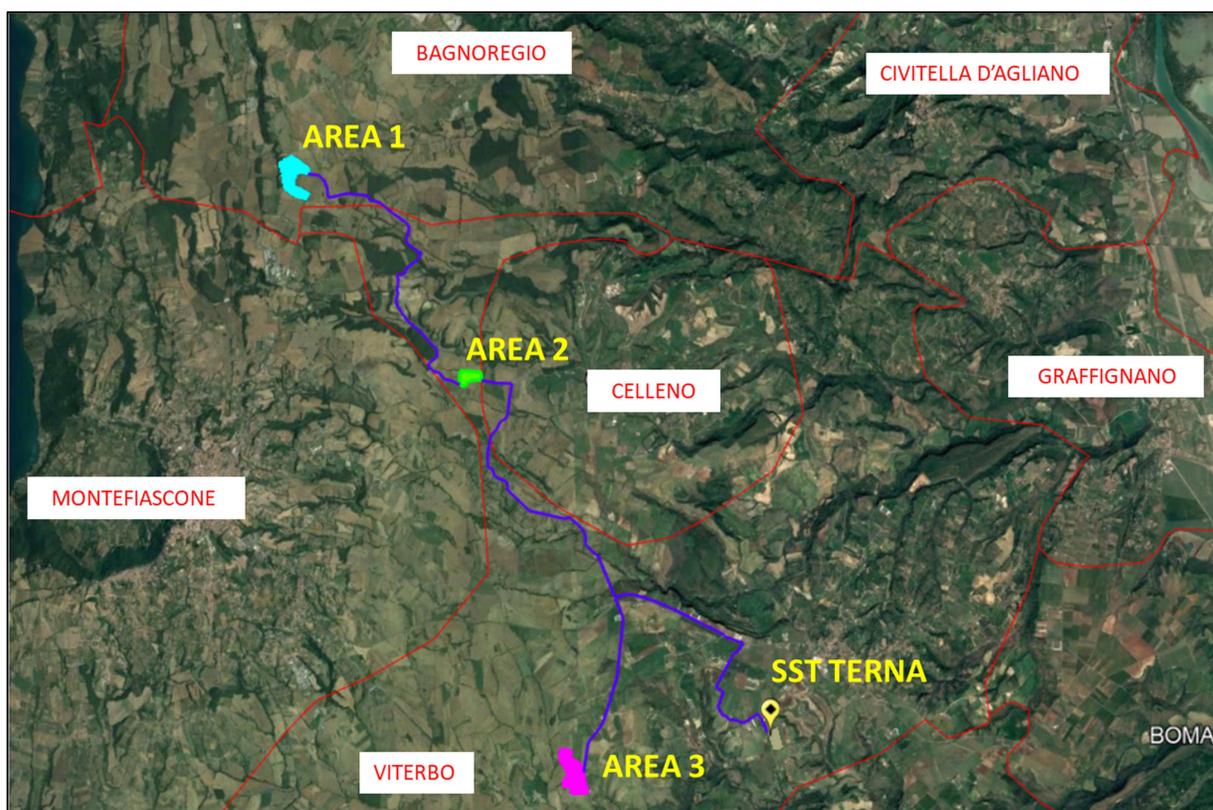


Figura 12 – Inquadramento su ortofoto – percorso dei cavidotti di evacuazione in MT



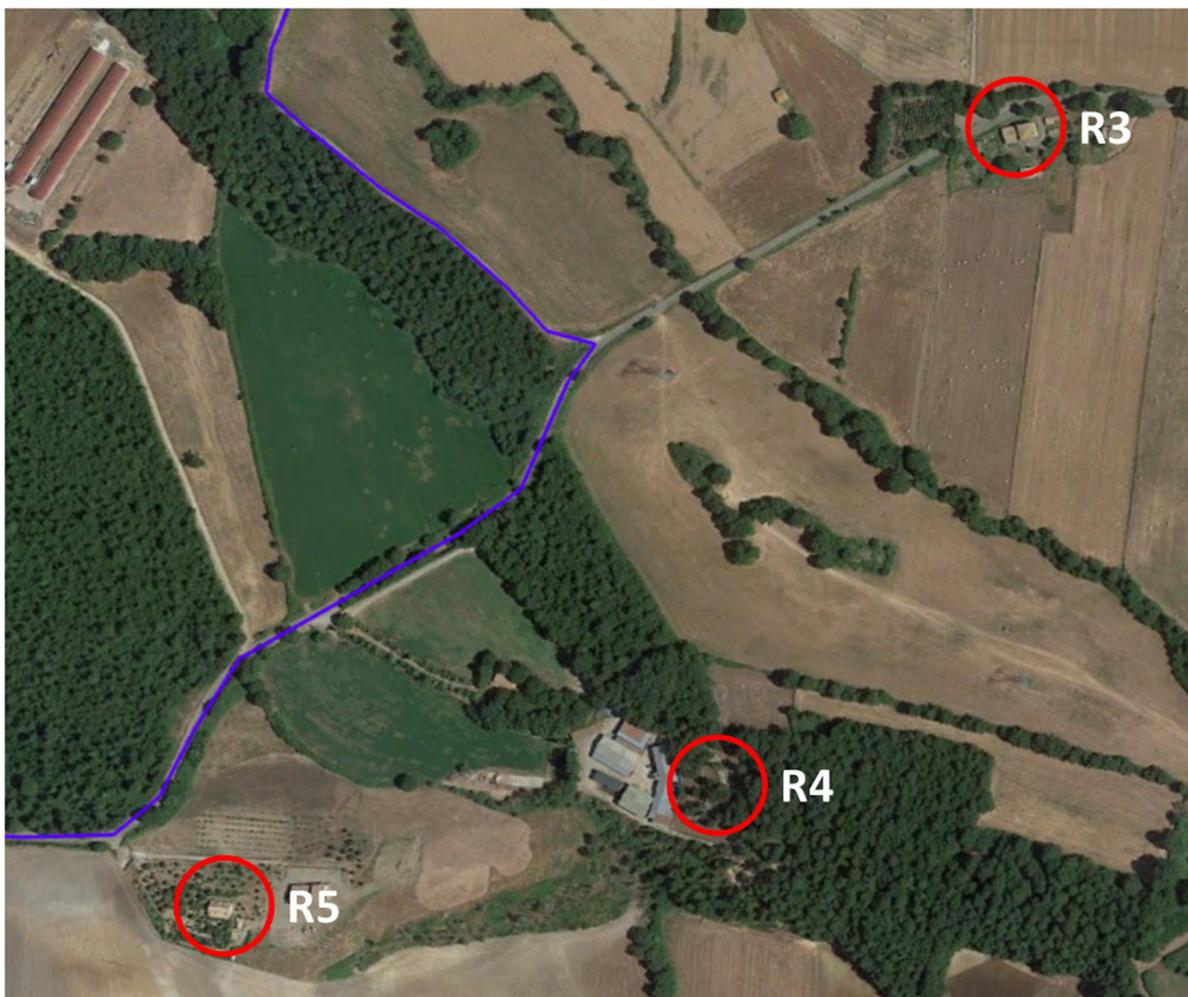
Figura 13 – Inquadramento su ortofoto della stazione utente di trasformazione

Di seguito sono riportate le immagini delle posizioni dei ricettori abitati più vicini al tracciato dei cavidotti esterni all' area d'impianto e dunque potenzialmente sensibili al campo B, partendo dall' area 1 a nord fino ad arrivare alla stazione utente di trasformazione.

- Ricettori R1 e R2:



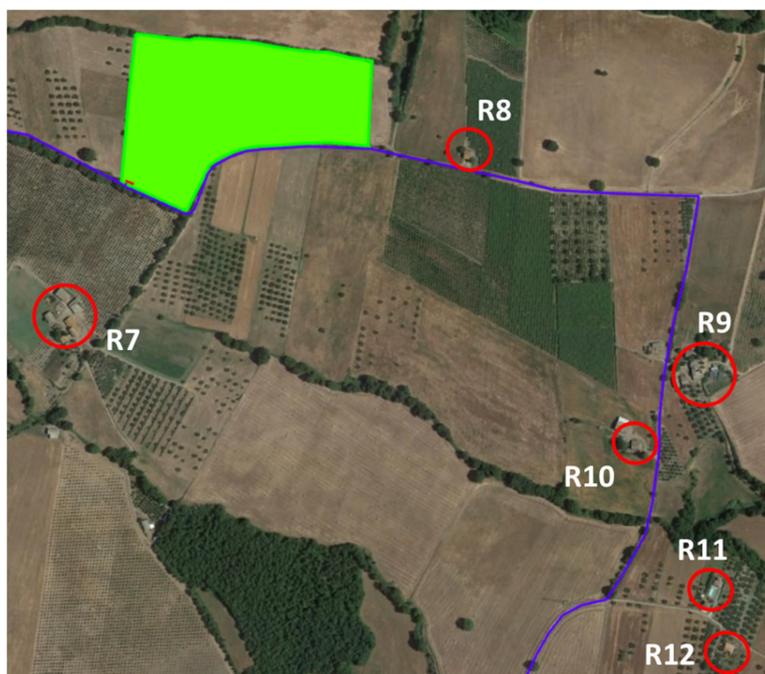
- Ricettori R3÷R5:



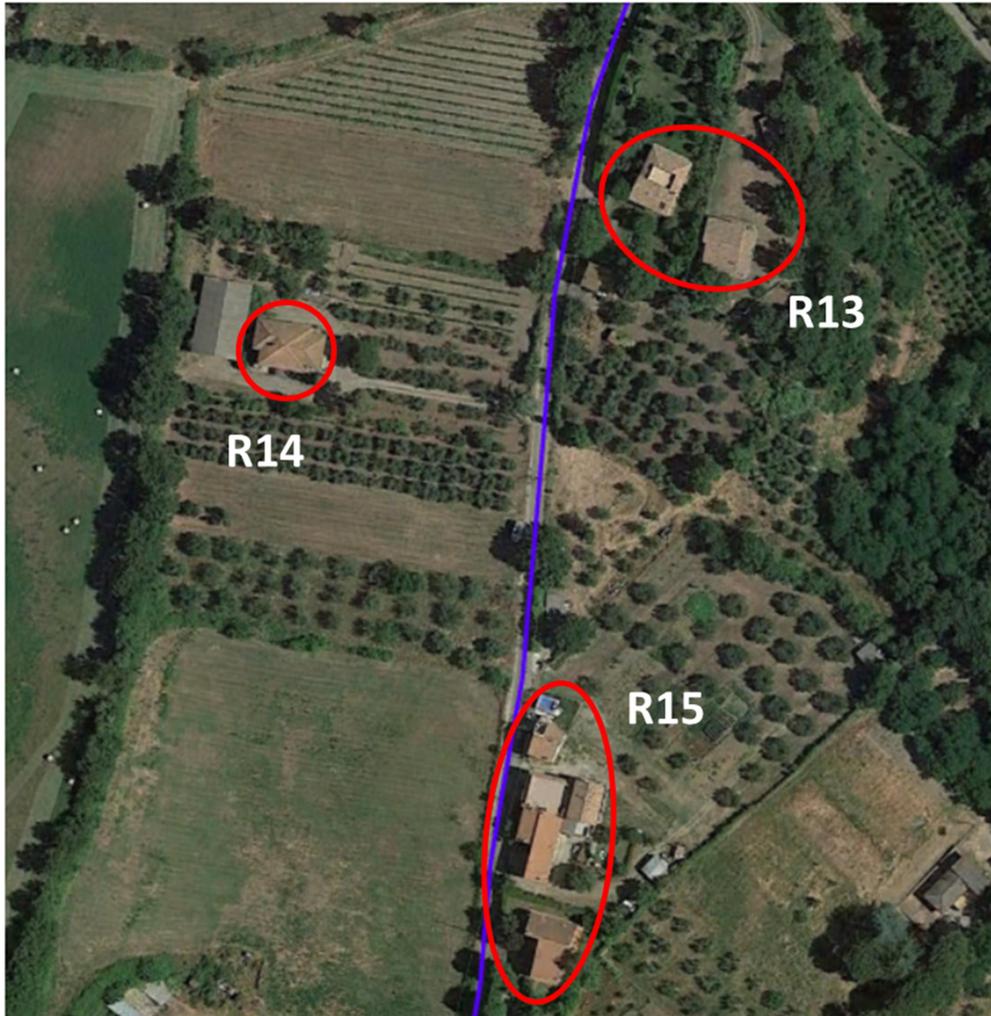
- Ricettore R6:



- Ricettori R7÷R12:



- Ricettori R13÷R15:



Ricettore R16: Frazione di Fastello nel comune di Viterbo



- Ricettori R17÷R21:



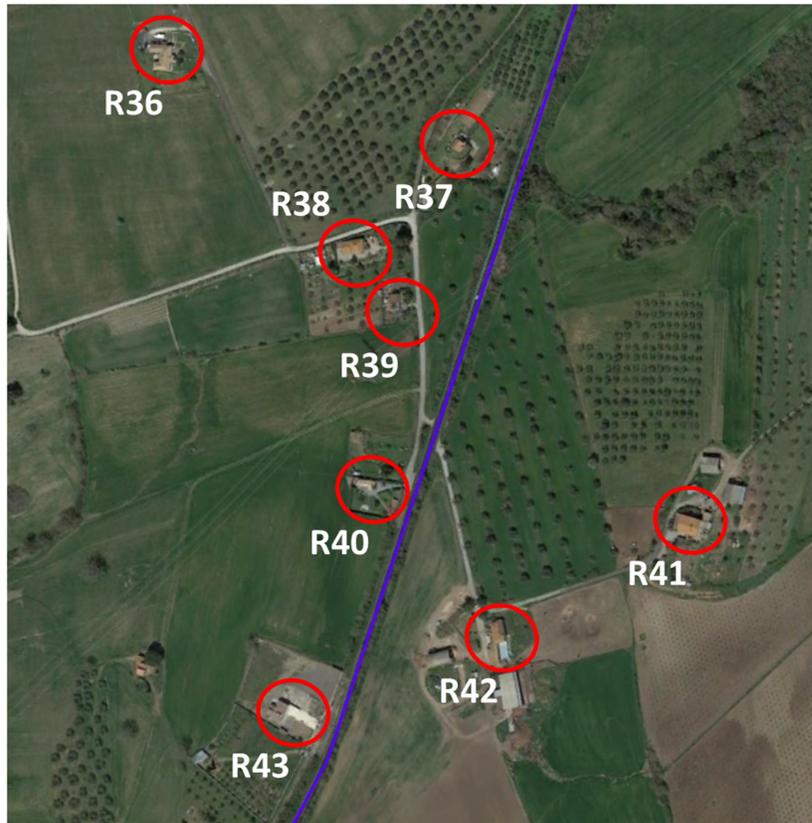
- Ricettori R22 e R23:



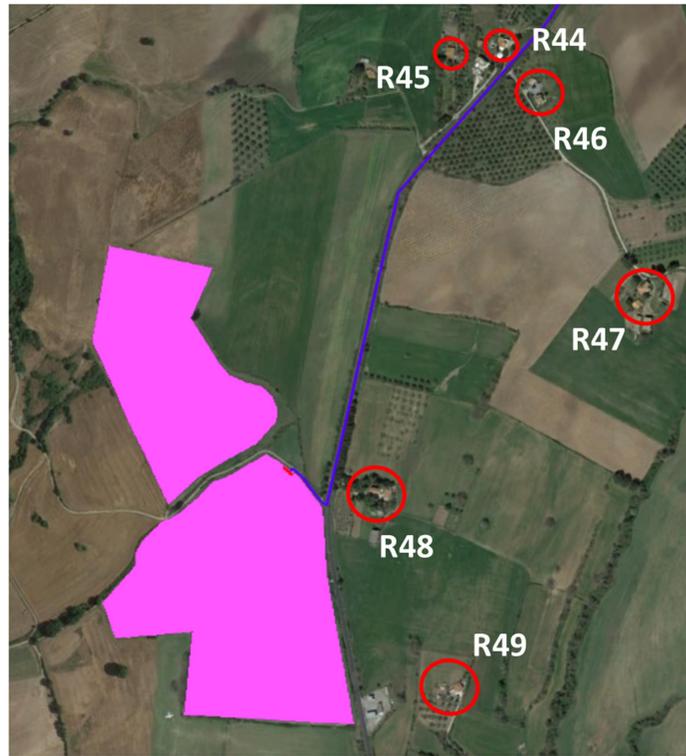
- Ricettori R24÷R35:



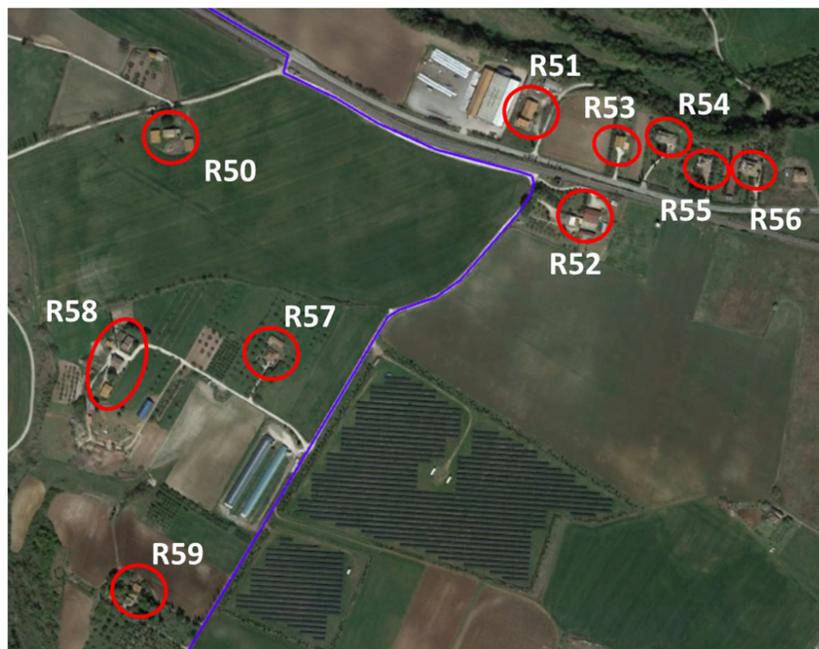
- Ricettori R36÷R43:



Ricettori R44÷R49:



Ricettori R50÷R59:



Ricettori R60÷R63:

Di seguito la tabella riepilogativa in cui si evidenziano le distanze tra i ricettori più vicini al tracciato del cavidotto interrato ed il numero di terne di cavi nello scavo, in cui:

- in azzurro i ricettori che si trovano sul tratto di cavidotto che collega la cabina CU1 con la CU2, nel cui scavo verrà posato n.1 cavo avente una sezione nominale di 630 mmq;
- in verde i ricettori che si trovano sul tratto di cavidotto che collega la cabina CU2 con la CU3, fino al punto 1 (di figura 10), incrocio con la strada Teverina con la SP18, nel cui scavo saranno interrati n.2 cavi aventi una sezione nominale di 630 mmq ciascuno;
- in magenta i ricettori che si trovano sul tratto di cavidotto che collega il punto 1 con la Stazione utente di trasformazione MT/AT, nel cui scavo verranno posati n.3 cavi aventi una sezione nominale di 630 mmq ciascuno;
- in giallo i ricettori ubicati vicino il tratto di cavidotto nella lunghezza stradale tra il punto 1 e la cabina CU3 dell' area 3, nel quale sono posate n.5 terne di cavi aventi ciascuno una sezione di 630 mmq.

Ricettori	Distanza [m]	N° terne di cavi da 630 mmq	Ricettori	Distanza [m]	N° terne cavi da 630 mmq
R1	240	1	R33	25	3
R2	25	1	R34	18	3
R3	340	1	R35	165	3
R4	240	1	R36	320	5
R5	80	1	R37	55	5
R6	200	1	R38	100	5
R7	205	2	R39	60	5
R8	13	2	R40	34	5
R9	30	2	R41	230	5
R10	20	2	R42	98	5
R11	130	2	R43	45	5
R12	190	2	R44	20	5
R13	13	2	R45	70	5
R14	60	2	R46	30	5
R15	5	2	R47	400	5
R16	4	2	R48	60	5
R17	26	2	R49	360	5
R18	18	2	R50	150	3
R19	8	2	R51	55	3
R20	55	2	R52	70	3
R21	160	2	R53	110	3
R22	240	2	R54	170	3
R23	98	2	R55	220	3
R24	35	2	R56	260	3
R25	90	5	R57	100	3
R26	70	5	R58	260	3
R27	150	5	R59	90	3
R28	25	5	R60	170	3
R29	350	5	R61	80	3
R30	32	3	R62	200	3
R31	230	3	R63	140	3
R32	350	3			

Tabella 7 – Distanza tra i ricettori ed il cavidotto esterno alle aree d'impianto

dalla quale si evince che i ricettori più prossimi al cavidotto sono 2: R15 e R16 le cui distanze dai rispettivi cavidotti sono di circa 5 e 4 metri.

9.2.4 CALCOLO DEL CAMPO B SUI RICETTORI

Il campo di induzione magnetica B generato dalle correnti che percorrono i cavi di connessione tra le cabine utenti con la Stazione utente di trasformazione MT/AT, avrà un andamento variabile con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo le curve riportate nelle figure successive. Nelle stesse figure sono anche indicati il limite di esposizione e l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

Per il calcolo del campo B si è considerato un valore di sezione nominale pari a 630 mmq per tutti i cavi dello scavo ed un valore della portata corrispondente pari a circa a 682 A, come riportato nei dati tecnici del cavo.

- Andamento del campo B sui ricettori in azzurro-n.1 terna di cavi da 630 mmq

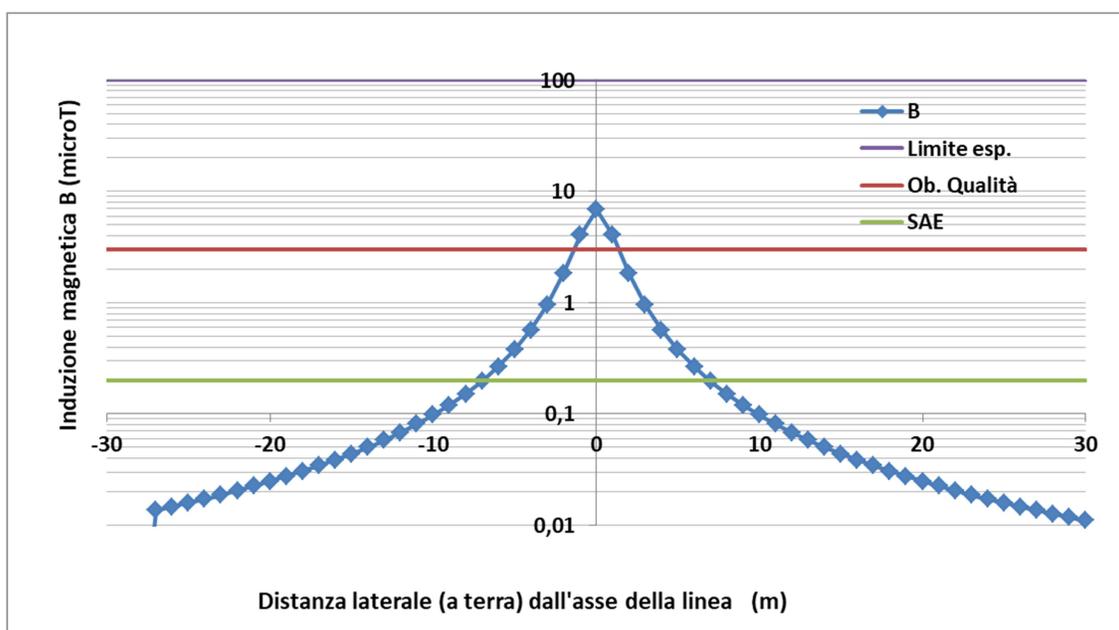


Figura 14 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità – ricettori in azzurro

Nella Tabella 8 seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di Figura 14, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

Punti	Distanza [m]	B [μ T]
0	1,2	6,9
1	1,6	4,1
2	2,3	1,8
3	1,2	6,9
4	4,2	0,6
5	5,1	0,4
6	6,1	0,3
7	7,1	0,2
8	8,1	0,2
9	9,1	0,1
10	10,1	0,1

Tabella 8 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per i ricettori in azzurro

- Andamento del campo B sui ricettori in verde-n.2 terne di cavi da 630 mmq

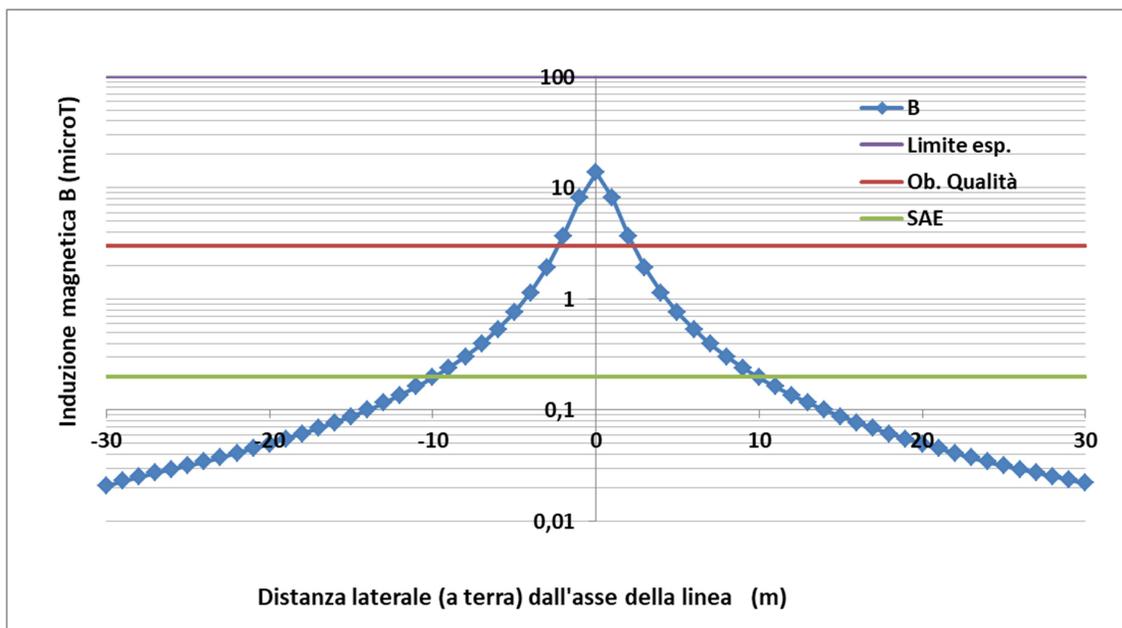


Figura 15 – Campo di induzione magnetica B (μ T) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità – ricettori in verde

Nella Tabella 9 seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di Figura 15, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

Punti	Distanza [m]	B [μ T]
0	1,2	13,8
1	1,6	8,2
2	2,4	3,7
3	3,3	1,9
4	4,3	1,1
5	5,2	0,8
6	6,2	0,5
7	7,2	0,4
8	8,2	0,3
9	9,2	0,2
10	10,2	0,2

Tabella 9 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori in verde

- Andamento del campo B sui ricettori in magenta-n.3 terne di cavi da 630 mmq

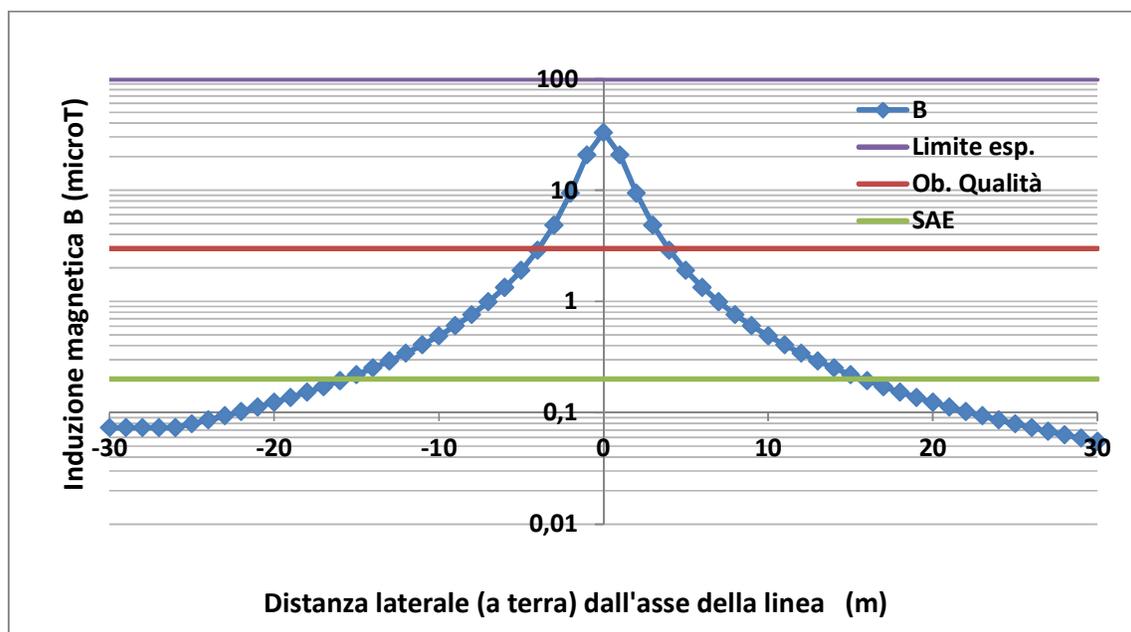


Figura 16 – Campo di induzione magnetica B (μ T) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità – ricettori in magenta

Nella Tabella 10 seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di Figura 16, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

Punti	Distanza [m]	B [μ T]
0	1,2	20,4
1	1,6	12,3
2	2,4	5,5
3	3,3	2,9
4	4,3	1,7
5	5,2	1,1
6	6,2	0,8
7	7,2	0,6
8	8,2	0,5
9	9,2	0,4
10	10,2	0,3

Tabella 10 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per i ricettori in magenta

- Andamento del campo B sui ricettori in giallo-n.5 terne di cavi da 630 mmq

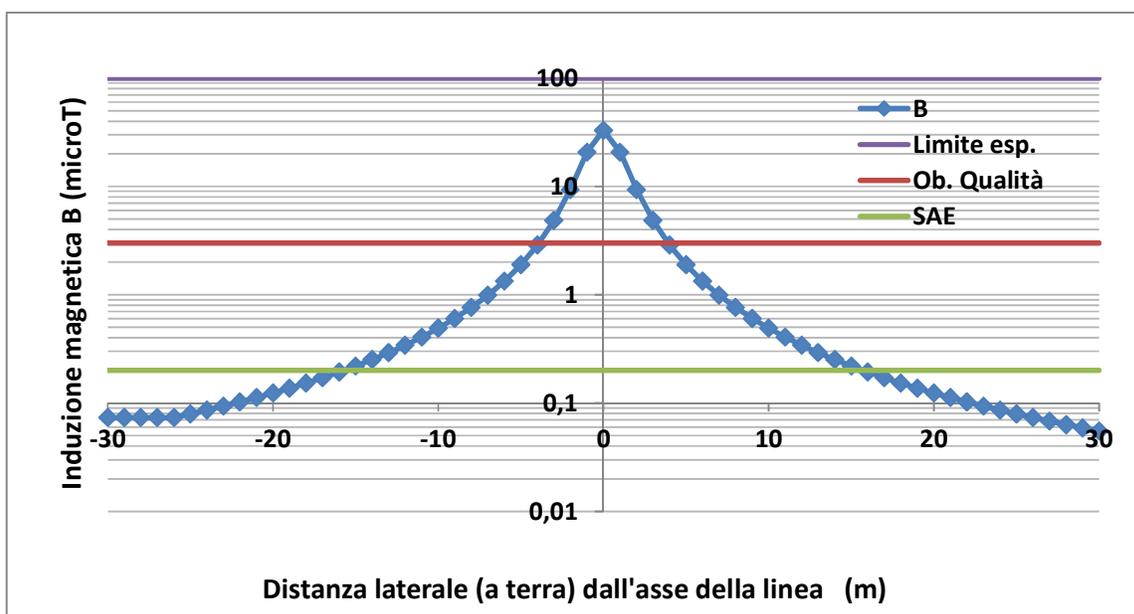


Figura 17 – Campo di induzione magnetica B (μ T) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità – ricettori in giallo.

Nella Tabella 11 seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di Figura 17, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

Punti	Distanza [m]	B [μ T]
0	1,2	32,9
1	1,6	20,7
2	2,4	9,4
3	3,3	4,8
4	4,3	2,9
5	5,2	1,9
6	6,2	1,3
7	7,2	1,0
8	8,2	0,8
9	9,2	0,6
10	10,2	0,5
11	11,1	0,4
12	12,1	0,3
13	13,1	0,3
14	14,1	0,3
15	15,0	0,2
16	16,0	0,2
17	17,0	0,2
18	18,0	0,2
19	19,0	0,1
20	20,0	0,1

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

Dallo studio sul campo B generato dalle correnti che percorrono i cavi nei tratti stradali esterni alle aree d’impianto si evince che:

tutti i ricettori riportati in tabella 4 hanno una distanza dai rispettivi cavidotti tale che, il campo magnetico B generato su di essi dalle correnti che percorrono i cavi, è trascurabile. Per quanto riguarda il ricettore R16 che dista circa 4,0 m dal tratto di cavidotto composto da n.2 terne di cavi nello stesso scavo, il campo elettromagnetico assume a quella distanza un valore di circa 1,4 μ T, dunque nel rispetto dei limiti di legge.

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-150 kV condivise tra tutti i produttori.

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

Considerando una sbarra in rame la cui portata è di circa 2000 A, il campo di induzione magnetica B generato assumerà il classico andamento secondo la curva riportata in figura 18, nella quale sono anche indicati il limite di esposizione e l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

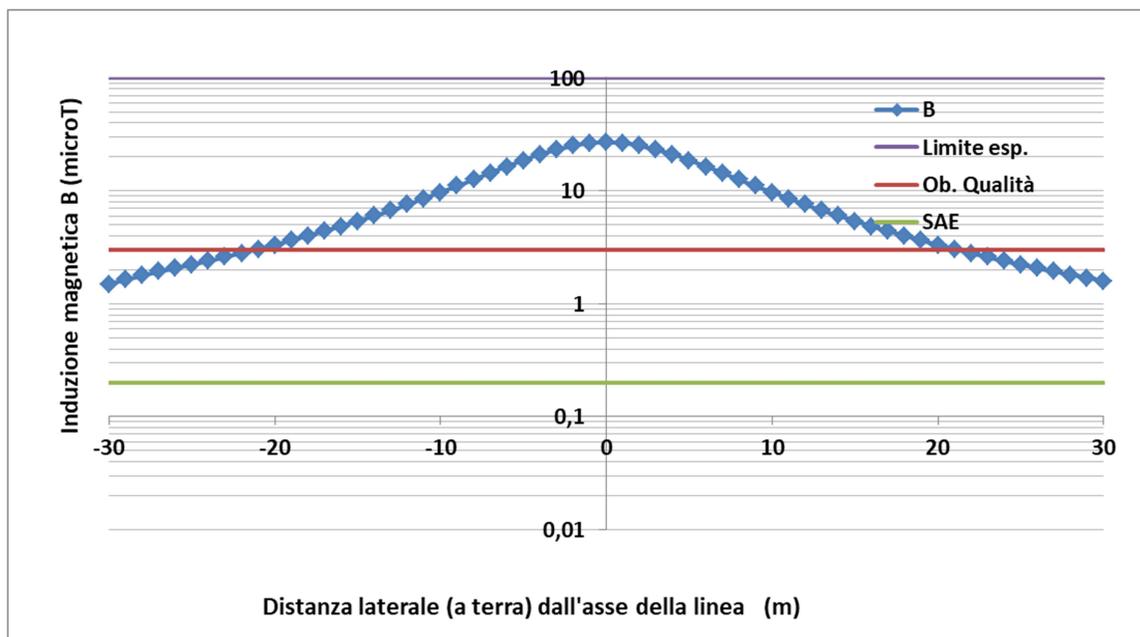


Figura 18 - Campo di induzione magnetica B (μT) generato dalle sbarre AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.

Nella tabella 12 seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di figura 18, 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 ovest della stazione utente di trasformazione è di circa 9 m, il campo elettromagnetico all'esterno della recinzione assume un valore di circa 11 μT, attenuandosi man mano fino a raggiungere il valore di 3 μT ad una distanza dal confine di circa 12 m.

Dalla Figura 13 si può osservare che l'unica costruzione prossima alla stazione di trasformazione è in realtà un capannone agricolo che comunque dista circa 52 m in linea d'aria dalle sbarre AT, in cui il valore del campo B è fuori dal valore del limite di 3 μT.

Un'altra considerazione da fare è che la stazione utente condivisa con altri produttori sarà collegata allo stallo dedicato nella stazione RTN a 150 kV di Terna SpA, la cui potenza massima in ingresso è pari a circa 200 MW. Per tale valore, la corrente che percorrerà le sbarre condivise in AT, assumerà un valore di circa 855,4 A, valore dunque inferiore a quello massimo ipotizzato sulle sbarre AT, il quale determinerà di conseguenza un campo B più basso di quello calcolato precedentemente.

11. CAVO IN AT-150 KV

11.1 TRACCIATO

La connessione tra la Stazione di trasformazione 30/150 kV utente e la stazione RTN sarà realizzato tramite cavidotto interrato, con cavo avente una sezione nominale pari a 1600 mmq, alla tensione nominale di 150 kV, per una lunghezza di circa 160 m.

Il tracciato del cavidotto, visibile in figura 13 della seguente relazione tecnica e nelle tavole cartografiche allegate nonché sul paricellare d'esproprio, si sviluppa principalmente all'interno delle aree delle due stazioni elettriche.

11.2 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 politenereticolato (XLPE);
- schermo semiconduttivo sull'isolamento;
- nastri in materiale igroespandente;
- schermo metallico in rame;
- foglio metallico in alluminio o rame;
- rivestimento in politene con grafitatura esterna (PE).

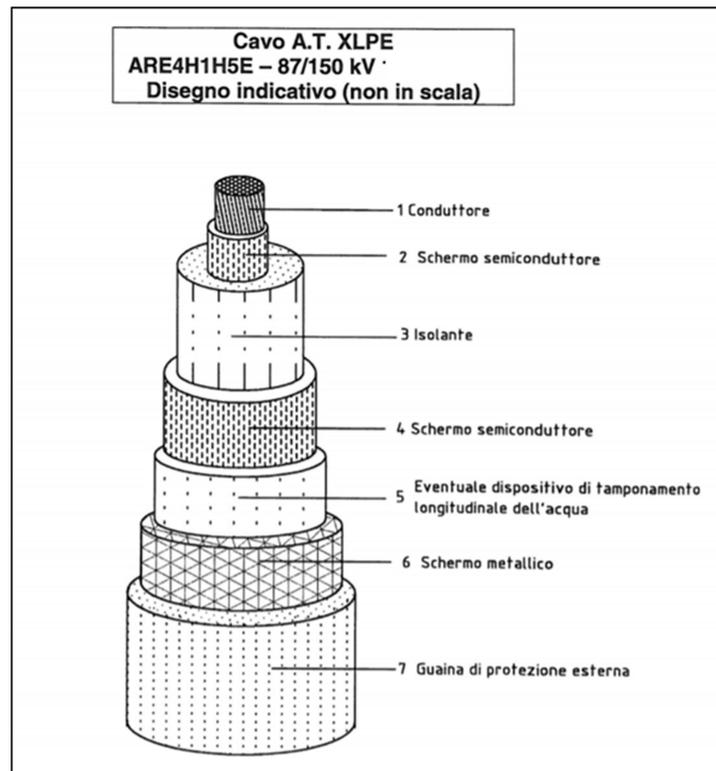


Figura 19 –Caratteristiche tecniche del cavo in AT a 150 kV

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 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* copper screen mm ²	Outside diameter of cable* mm	Weight of cable* kg/m	Sectional area* copper screen 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

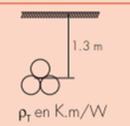
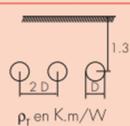
Nominal section area mm ²	Laying conditions : Trefoil formation					Laying conditions : Flat formation					Nominal section area mm ²
	Earthing conditions	Direct burial		In air, in gallery		Earthing conditions	Direct burial		In air, in gallery		
		induced current in the metallic screen		$\rho_T = 1,0$ T = 20°C	$\rho_T = 1,2$ T = 30°C		T = 30°C	T = 50°C	induced current in the metallic screen		
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 20 – Specifiche tecniche del cavo in AT a 150 kV

11.3 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:

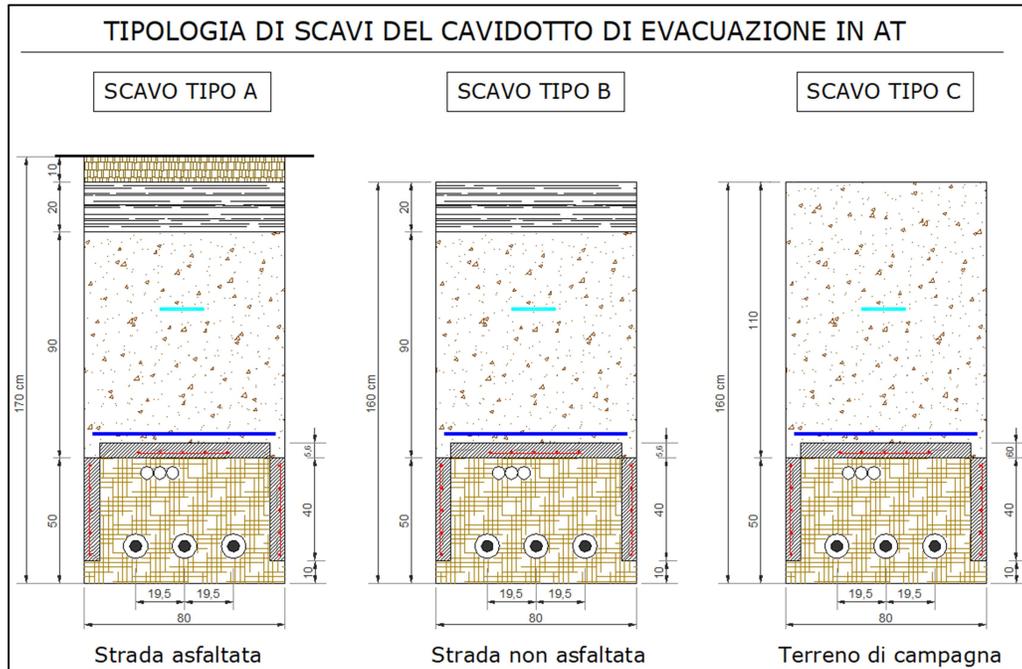


Figura 21 – Sezioni tipiche di scavo e di posa per il cavo in AT a 150 kV

11.4 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 1225 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.

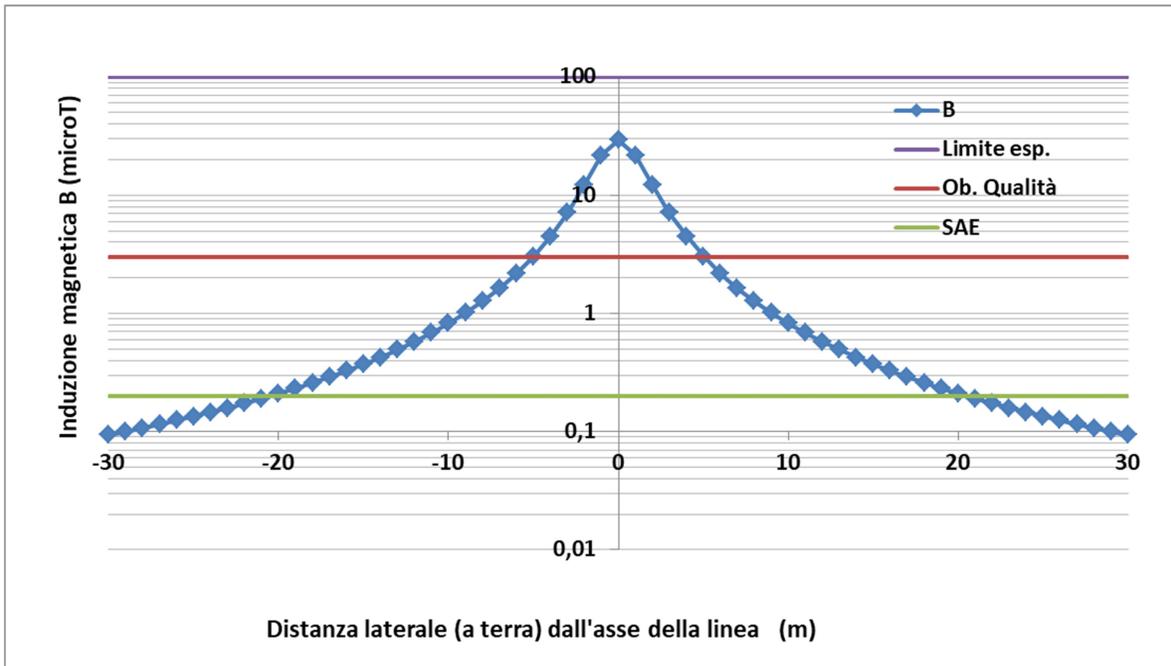


Figura 22 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella Tabella 13 seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di Figura 22, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto in AT.

Punti	Distanza [m]	B(μ T)
0	1,7	29,33
1	2,0	21,79
2	2,6	12,30
3	3,4	7,13
4	4,3	4,49
5	5,3	3,04
6	6,2	2,18
7	7,2	1,63
8	8,2	1,27
9	9,2	1,01
10	10,1	0,82
11	11,1	0,68
12	12,1	0,58
13	13,1	0,49
14	14,1	0,43
15	15,1	0,37
16	16,1	0,33
17	17,1	0,29
18	18,1	0,26
19	19,1	0,23
20	20,1	0,21

Tabella 13 – 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 Figura 13 si può osservare che non ci sono ricettori sensibili nei dintorni del cavidotto in AT.

12. CONCLUSIONI

Nel presente documento si è descritto il quadro generale e normativo riferito all'esposizione ai campi elettromagnetici di bassa frequenza, quali quelli generati sia dai componenti elettrici principali che costituiscono un impianto fotovoltaico, 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 FV e per il cavidotto interno all'impianto, il valore dell'induzione magnetica prodotta, non influenza alcun ricettore sensibile, essendo questi distanti dall'area d'impianto.

Anche l'impatto elettromagnetico generato del cavidotto interrato in MT esterno all'impianto a 30 kV, che collega le cabine utenti con la stazione di trasformazione utente 30/150 kV, è risultato trascurabile. Possiamo ritenere dunque che tutte le opere elettriche connesse al progetto fotovoltaico sono pertanto conformi ai parametri normativi relativi all'impatto elettromagnetico per l'obiettivo di qualità. Si specifica comunque che nel calcolo non è stato possibile tenere conto delle effettive caratteristiche del terreno, informazione necessaria in sede di progetto esecutivo.