



# REGIONE PUGLIA

## COMUNI DI RACALE E ALLISTE (LE)



### PROGETTO DEFINITIVO

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO**, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).



#### COMMITTENTE:

CASSIOPEA RINNOVABILI S.r.l.

Largo Augusto 3 | 20122 Milano  
P.IVA 11608260961

Società controllata al 100% da:

BayWa r.e. Italia S.r.l.  
Largo Augusto, 3 | 20122 Milano



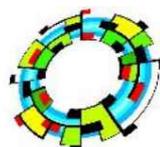
#### PROGETTISTI:



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



#### CONSULENTI:



VEGA LANDSCAPE ECOLOGY & URBAN PLANNING



Vega Sas  
Via Nicola delli Carri 46-71121 Foggia (FG)  
tel 0861756251  
CF e P iVa 02130210715

Elaborato:

**BYW-RCL-RIE**

Codice Pratica:

**WX6U5Q7**

Oggetto:

**Relazione Impatto Elettromagnetico**

Data: Febbraio 2023

Rev.

0

Data

10.02.2023

Rev.

Data

Rev.

Data

Scala

-

## INDICE

<b>INDICE DELLE FIGURE.....</b>	<b>2</b>
<b>1. OGGETTO DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE.....</b>	<b>6</b>
<b>3. RIFERIMENTI LEGISLATIVI NAZIONALI .....</b>	<b>8</b>
<b>4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>12</b>
<b>5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>12</b>
<b>5.1 MODULI FOTOVOLTAICI .....</b>	<b>13</b>
<b>5.2 MULTI-MPPT STRING INVERTER .....</b>	<b>13</b>
<b>6. CABINE DI TRASFORMAZIONE BT/MT .....</b>	<b>13</b>
<b>7. CABINE DI CONSEGNA.....</b>	<b>15</b>
<b>8. CABINE UTENTI .....</b>	<b>16</b>
<b>9. CAVIDOTTI IN MEDIA TENSIONE.....</b>	<b>17</b>
<b>10. ESPOSIZIONE POST-OPERAM DEL PROGETTO.....</b>	<b>20</b>
<b>10.1 CAMPO B GENERATO DAI CAVIDOTTI INTERNI.....</b>	<b>20</b>
<b>10.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT.....</b>	<b>20</b>
<b>10.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO.....</b>	<b>24</b>
<b>10.1.3 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B.....</b>	<b>24</b>
<b>8.1 CAMPO B GENERATO DAI CAVIDOTTI ESTERNI.....</b>	<b>26</b>
<b>8.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT.....</b>	<b>26</b>
<b>8.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO.....</b>	<b>26</b>
<b>8.1.3 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B.....</b>	<b>27</b>
<b>11. CONCLUSIONI .....</b>	<b>29</b>

**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 – DPA della cabina di trasformazione n.12 con trafo da 1800 kVA .....	14
Figura 3 – Valori della Distanza di prima approssimazione per una cabina di consegna con trasformatore. ....	16
Figura 4 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa. ....	18
Figura 5 – 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.....	19
Figura 6 – Tratto di scavo AB contenente n.5 terne di cavi in MT .....	21
Figura 7 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT da 185 mmq e 240 mmq per la connessione in MT tra le cabine di trasformazione e le cabine utenti .....	22
Figura 8 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT da 185 mmq per il collegamento in MT tra le cabine elettriche utente con quelle di consegna ed infine con la CP.....	23
Figura 9 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto .....	24
Figura 10: <i>Campo di induzione magnetica B (<math>\mu T</math>) generato dal cavidotto in MT interno all'area d'impianto in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.....</i>	25
Figura 11: <i>Campo di induzione magnetica B (<math>\mu T</math>) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità .....</i>	27

**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
<i>Tabella 4 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori interni all'impianto .....</i>	<i>26</i>
Tabella 5 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale per i cavi da 185 mmq .....	28

## **1. OGGETTO DEL DOCUMENTO**

Il presente documento ha lo scopo di descrivere i possibili campi elettromagnetici generati dall'impianto fotovoltaico da realizzare nel territorio comunale di Racale (LE), localizzato nella regione Puglia, in provincia di Lecce, 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 20 kV, interne al campo fotovoltaico, che collegano le cabine di trasformazione BT/MT con le rispettive cabine utente;
- in MT a 20 kV, interne al campo fotovoltaico, che collegano le cabine utenti con le rispettive cabine di consegna;
- in MT a 20 kV, esterne all'area d'impianto, che collegano le cabine di consegna tra di loro;
- in MT a 20 kV, esterne all'area d'impianto, che collegano le cabine di consegna con la CP "Racale".

Si rimanda alla Relazione tecnica degli impianti elettrici BYW-RCL-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 interrato. Campi a bassa frequenza sono emessi anche da alcuni strumenti elettromedicali e dalle apparecchiature domestiche o industriali alimentate da energia elettrica.

## 2.2 EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE

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

Ad **alta frequenza** (telefonia cellulare, emissioni radiotelevisive ecc.), il meccanismo di interazione di base è quello dell'orientamento dei dipoli che costituiscono un tessuto secondo le polarità del campo, che oscillano ad alta frequenza: ciò induce una dissipazione di energia che viene assorbita dal tessuto, riscaldandolo. Tale riscaldamento, oltre una certa soglia, comporta degli effetti dannosi sul tessuto stesso fino anche alla morte cellulare per esposizioni acute. La grandezza di interesse con cui caratterizzare l'esposizione ad alta frequenza è la **Specific 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  $\sigma$  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.

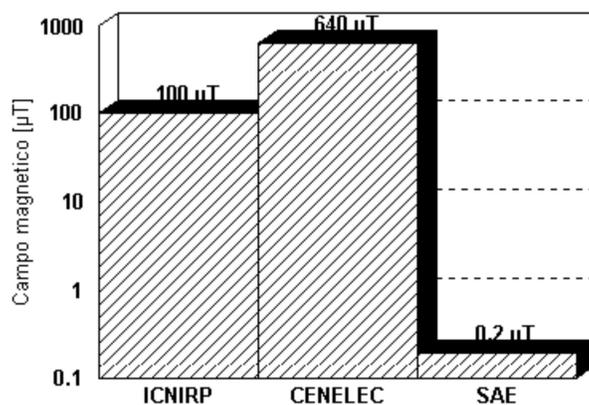


Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE.

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  $\mu$ T, mentre il CENELEC considera un valore più elevato, pari a 640  $\mu$ T.

### 3. RIFERIMENTI LEGISLATIVI NAZIONALI

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

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

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

- g) **esposizione della popolazione:** è ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici.

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

### **Articolo 3**

#### **Limiti di esposizione e valori di attenzione**

- 1) Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di **100  $\mu\text{T}$**  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  $\mu\text{T}$** , 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  $\mu\text{T}$**  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 [ $\mu$ T]
Lim. di esp.	<b>5</b>	<b>100</b>
Valori di att.	-	<b>10</b>
Ob. di qual.	-	<b>3</b>

*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 $\mu$ 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".

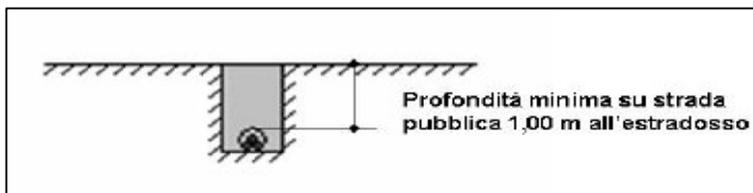
In particolare, si ricorda che con esso sono state date le seguenti definizioni:

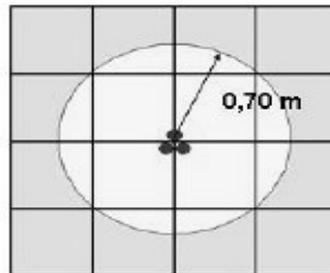
- portata in corrente in servizio normale: è la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento;
- portata di corrente in regime permanente: massimo valore della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

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  $\mu$ T ad una distanza di circa 0,7 m. Mentre, con lo stesso metodo analitico, un cavo da 240 mmq, con una portata di 441 A, anch'esso interrato ad 1 m di profondità, ha una DPA di circa 0,9 m dal centro del cavo stesso.

#### 4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

L'impianto fotovoltaico in oggetto, verrà realizzato su strutture metalliche fisse al suolo, aventi un Tilt pari a 15° ed Azimuth di 0° e 26° rispetto a Sud, montanti dei moduli fotovoltaici bifacciali, con una potenza nominale installata di circa 18,04 MWp. 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 [MWp]	18035,14
Potenza modulo fotovoltaico monocristallino [Wp]	545
Numero di moduli totali	33092
Area d'impianto recintata [ha]	16,3
Superficie captante fotovoltaica [ha]	8,55
N° cabine di trasformazione	12
N° cabine di consegna	3
N° cabine utenti	3
Lunghezza cavo da 6 mmq in BT CC [m]	104595
Lunghezza terna di cavi unipolari da 185 mmq in MT a 20 kV [m]	2635
Lunghezza terna di cavi unipolari da 240 mmq in MT a 20 kV [m]	2440
Lunghezza terna di cavi unipolari da 240 mmq in ac-BT a 1 kV [m]	355
Lunghezza terna di cavi unipolari da 300 mmq in ac-BT a 1 kV [m]	1110
Lunghezza cavi illuminazione e videosorveglianza da 2,5 mmq in BT in ac [m]	3500

*Tabella 3 – Caratteristiche tecniche dell'impianto*

#### 5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

I componenti principali che possono generare emissioni elettromagnetiche in n impianto fotovoltaico sono i seguenti:

- moduli fotovoltaici;

- cablaggi in BT;
- inverter;
- trasformatori;
- cavidotti in MT.

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 del tipo JAM 72D30, della JA solar, bifacciali, aventi potenza nominale pari 545 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 e da ciascuna stringa, è pari a circa 13,04 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. La tipologia dell'inverter utilizzato è il modello della Huawei SUN2000-330KTL-H1 (o similare) avente una potenza nominale in uscita in AC di 330 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**

Nell'area d'impianto, verranno installate n.12 cabine di trasformazione, ciascuna delle quali conterrà oltre ai quadri elettrici di protezione in BT ed MT, anche un trasformatore elevatore BT/MT, 0,8/20 kV, aventi potenze nominali variabili (dipendenti dal numero e potenza in

uscita degli inverter ad essi collegati) da 1000÷1800 kVA ciascuno. Verranno alloggiati con o senza l' apposito box metallico 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).

Il valore della corrente nominale sul lato BT del trasformatore di maggior potenza (1800 kVA), che rappresenta il massimo valore di corrente in uscita dagli inverter ad esso collegato, è pari a circa 1.191 A alla tensione di 800 V. Tenendo inoltre conto del diametro esterno dei cavi in BT (opportunamente dimensionati e pari a 3x(3x1x300) mmq) di circa 510 mm, si ottiene una DPA pari a circa 9,4 m.

La cabina elettrica di trasformazione più vicina alla recinzione è la n.12. 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, è posizionata quasi interamente all'interno dell' area d' impianto, come riportato in dettaglio nella figura successiva.



Figura 2 – DPA della cabina di trasformazione n.12 con trafo da 1800 kVA

La parte rimanente, pari a circa 5,5 m, incontra un terreno o superficie agricola non presieduta costantemente dalle persone. Inoltre, tali cabine elettriche non sono permanentemente presidiate durante il periodo di produzione dell'impianto FV. Lo sarebbero solamente in fase di manutenzione o di controllo del personale formato, ma questo avverrà soltanto per brevi periodi di tempo.

## **7. CABINE DI CONSEGNA**

In relazione alla specifica ubicazione degli impianti elettrici dei locali cabine di consegna, ubicate all'interno dell'area 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  $3 \mu\text{T}$  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 3). Entro tale distanza non ci sono né edifici sensibili né tantomeno vi è presenza di personale con presenza costate durante i giorni. Se la cabina fosse invece 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.

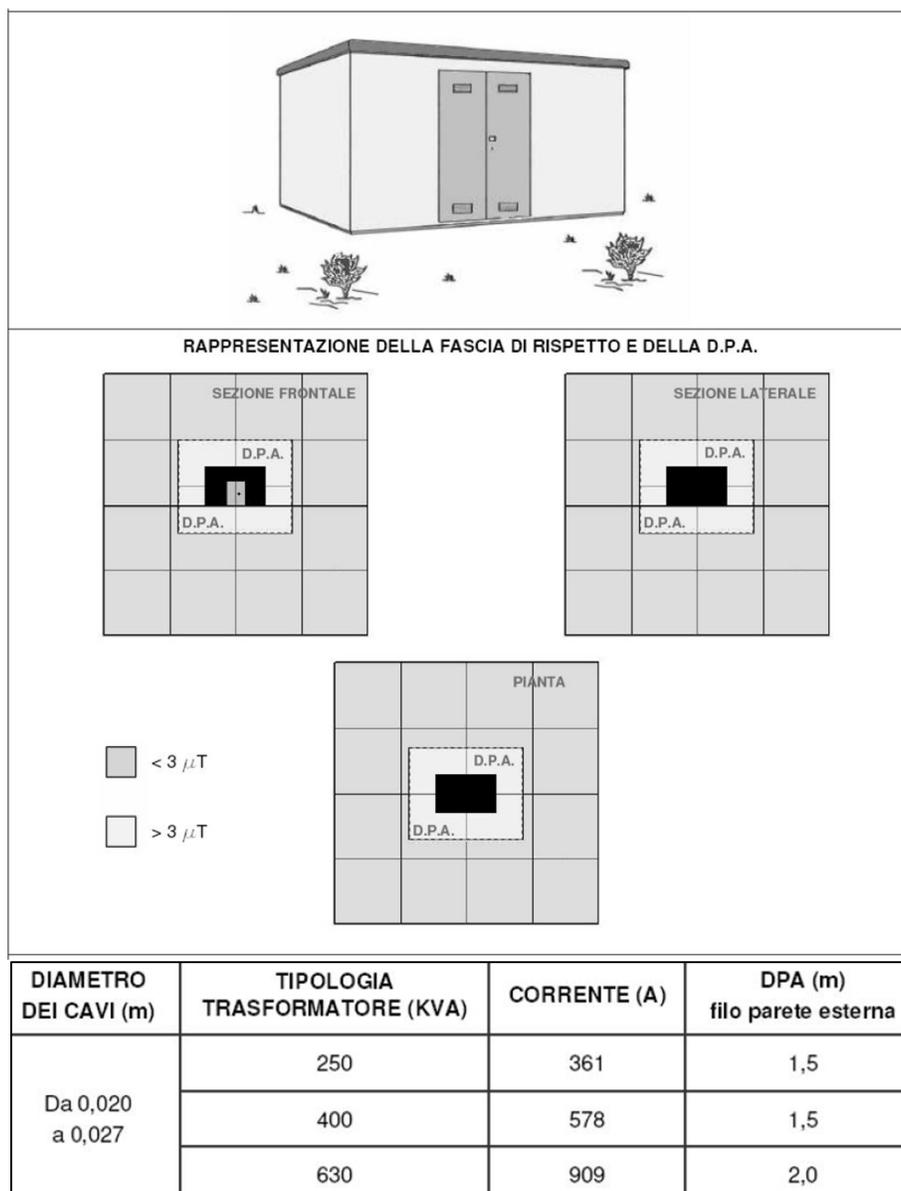


Figura 3 – Valori della Distanza di prima approssimazione per una cabina di consegna con trasformatore.

## 8. CABINE UTENTI

Sono previste n.3 cabine utenti, una per impianto costituente il lotto, che andranno a collegarsi in antenna con la rispettiva cabina di consegna. Anche in questo caso specifico valgono le stesse considerazioni fatte nel paragrafo precedente. In questa fase di progettazione però, non si intende installare un trasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari.

## 9. 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 Cabina Primaria "Racale", 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.

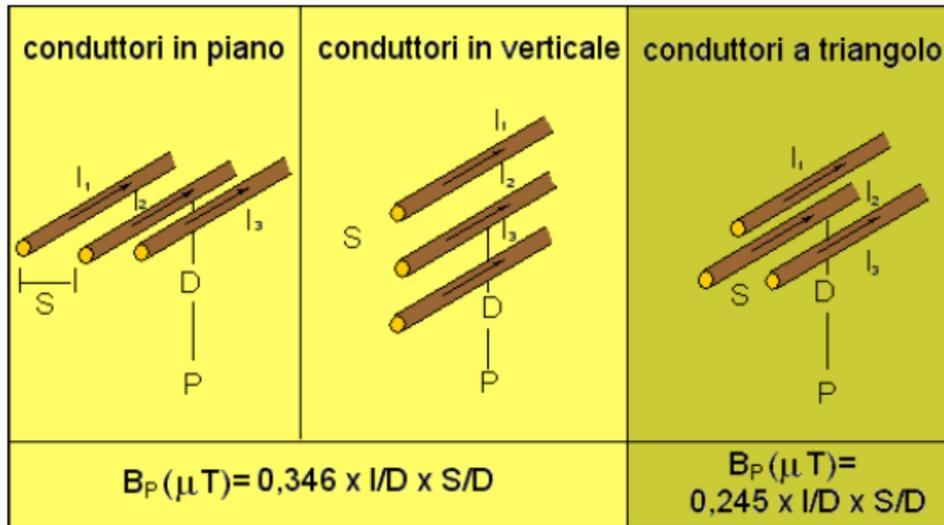


Figura 4 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.

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.

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  $\mu T$  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.

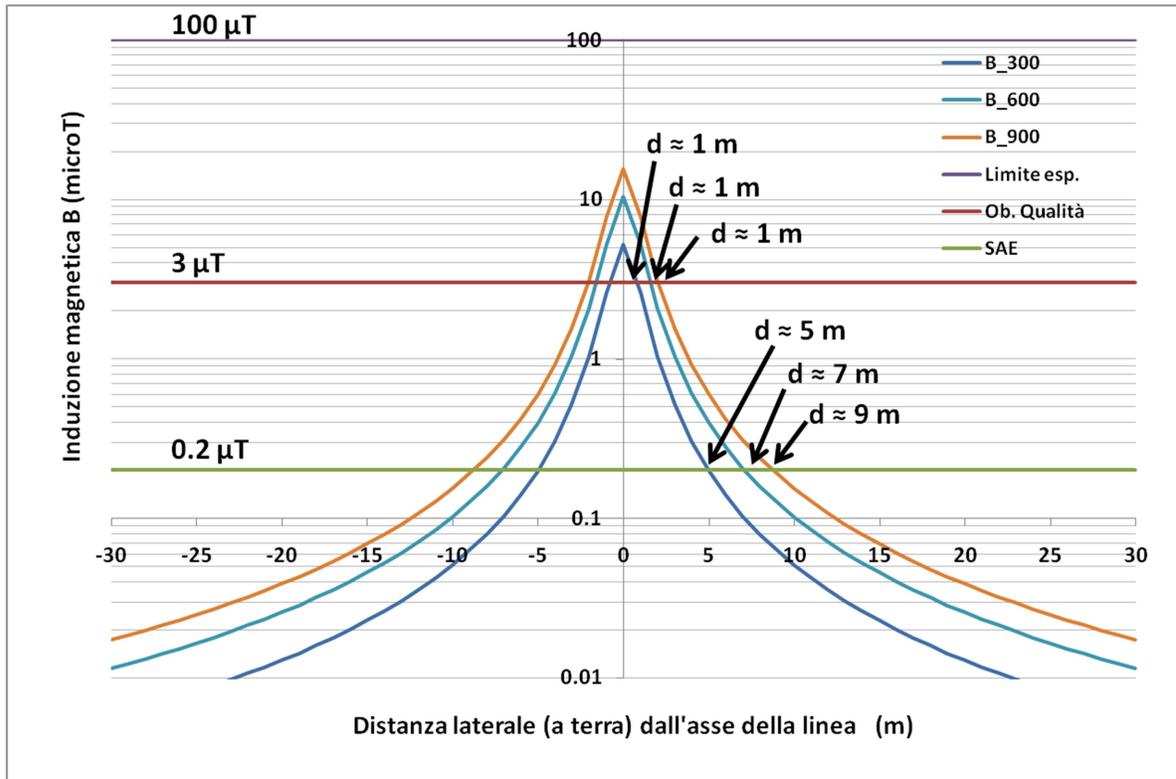


Figura 5 – Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE.

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.

## **10. 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 20 kV che collegano:

- a) le cabine di trasformazione (CT) alle cabine utenti;
- b) le cabine utenti con le rispettive cabina di consegna (CC);
- c) le cabine di consegna tra di loro e con la CP "Racale".

### **10.1 CAMPO B GENERATO DAI CAVIDOTTI INTERNI**

#### **10.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT**

Per la realizzazione dei cavidotti di collegamento tra le cabine elettriche, sono stati presi in considerazione tutte le accortezze necessarie atte a limitare gli effetti del campo elettromagnetico sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee in MT interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno; inoltre la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne cosiddette "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo in prossimità dei cavi.

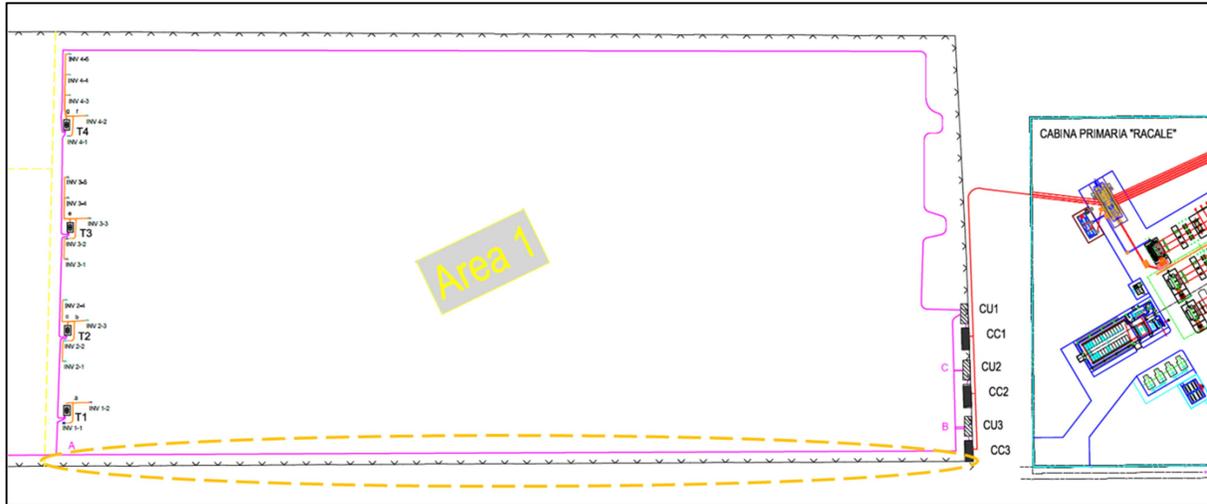
La scelta della sezione del conduttore dipende dalla corrente d'impiego e dalla portata effettiva del cavo in relazione al suo regime di funzionamento ed alle sue condizioni di installazione (CEI 11-17). I collegamenti in MT nei casi sopra descritti saranno realizzati con cavi cordati ad elica visibile, le cui sezioni saranno pari a:

- a) 185 mmq e 240 mmq del tipo ARE4H5(AR)EX;
- b) 185 mmq del tipo ARE4H5EX;
- c) 185 mmq del tipo ARE4H5EX.

Le simulazioni di seguito elencate, rappresentano le condizioni peggiori per il calcolo della DPA dell'intero impianto, in quanto sono state effettuate considerando i cavi non cordati ad elica visibile ed il numero maggiore di terne posizionate nello stesso scavo. Il tratto di scavo da valutare, corrisponde a quello in cui sono presenti le seguenti n.5 terne di cavi:

- n.3 terne di conduttori di sezione 185 mmq e n.2 terne di sezione pari a 240 mmq, disposti a trifoglio, aventi un valore di portata pari rispettivamente a 350 A e 407 A, interrate entrambe ad una profondità di 1,0 m e distanziate di 25 cm l'una dall'altra.

Il tratto di scavo in esame, tra il punto A ed il punto B in magenta è interno all'AREA1 di progetto e riportato nella figura successiva:



*Figura 6 – Tratto di scavo AB contenente n.5 terne di cavi in MT*

Nelle figure seguenti sono riportati i cavi in MT che verranno utilizzati nella progettazione.

## ARE4H5EX 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**

**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)  
**Guaina**  
Polietilene: colore rosso (qualità DMP 2)  
**Marcatura**  
PRYSMIAN (\*\*) ARE4H5EX <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 (Rmax 3Ω/Km)*  
**Sheath**  
*Polyethylene: red colour (DMP 2 type)*  
**Marking**  
*PRYSMIAN (\*\*) ARE4H5EX <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.*

Conduttore di alluminio / Aluminium conductor - ARE4H5EX					
sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	massa indicativa del cavo	raggio minimo di curvatura
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	approximate weight	minimum bending radius
(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)
50	8,2	19,9	28	1730	550
70	9,7	20,8	29	1940	570
95	11,4	22,1	30	2230	590
120	12,9	23,2	32	2510	630
150	14,0	24,3	33	2800	660
185	15,8	26,1	35	3260	700
240	18,2	28,5	37	3930	740
300	20,8	31,7	42	4730	820

sezione nominale	portata di corrente in aria	posa interrata a trifoglio p=1°C m/W	posa interrata a trifoglio p=2°C m/W
conductor cross-section	open air installation	underground installation trefoil p=1°C m/W	underground installation trefoil p=2°C m/W
(mm <sup>2</sup> )	(A)	(A)	(A)
50	186	175	134
70	230	214	164
95	280	256	197
120	323	291	223
150	365	325	250
185	421	368	283
240	500	427	328
300	578	483	371

Dati costruttivi / Construction charact. - 12/20 kV					
50	8,2	19,9	28	1730	550
70	9,7	20,8	29	1940	570
95	11,4	22,1	30	2230	590
120	12,9	23,2	32	2510	630
150	14,0	24,3	33	2800	660
185	15,8	26,1	35	3260	700
240	18,2	28,5	37	3930	740
300	20,8	31,7	42	4730	820

Caratt. elettriche / Electrical charact. - 12/20 kV			
50	186	175	134
70	230	214	164
95	280	256	197
120	323	291	223
150	365	325	250
185	421	368	283
240	500	427	328
300	578	483	371

Figura 7 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT da 185 mmq e 240 mmq per la connessione in MT tra le cabine di trasformazione e le cabine utenti

## 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

**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>  
(\*\*) 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 (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>  
(\*\*) 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.

### 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
(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm²)	(A)	(A)	(A)
50	8,2	19,9	34,5	2430	690	50	184	166	129
70	9,7	20,8	35,5	2660	690	70	227	203	157
95	11,4	22,1	37,0	3010	730	95	275	243	187
120	12,9	23,2	38,2	3300	760	120	317	276	212
150	14,0	24,3	39,5	3640	780	150	358	309	236
185	15,8	26,1	41,3	4120	820	185	411	350	267
240	18,2	28,5	44,0	4770	860	240	486	407	309
300	20,8	31,7	47,6	5730	950	300	561	461	349

#### Dati costruttivi / Construction charact. - 12/20 kV

#### Caratt. elettriche / Electrical charact. - 12/20 kV

Figura 8 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT da 185 mmq per il collegamento in MT tra le cabine elettriche utente con quelle di consegna ed infine con la CP

### 10.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO

I cavi verranno interrati in una trincea della profondità di 1,0 m e distanziati tra di loro di circa 25 cm sul piano orizzontale. Nello stesso scavo, a distanza di almeno 0,3 m dai cavi di energia, potrà essere posato un cavo con fibre ottiche e/o telefoniche per trasmissione dati. Tutti i cavi verranno alloggiati in sabbia o inerte prescritto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata più umida o con cemento 'mortar'. Saranno segnalati superiormente da un nastro segnaletico e potranno essere protetti anche da una rete in PVC.

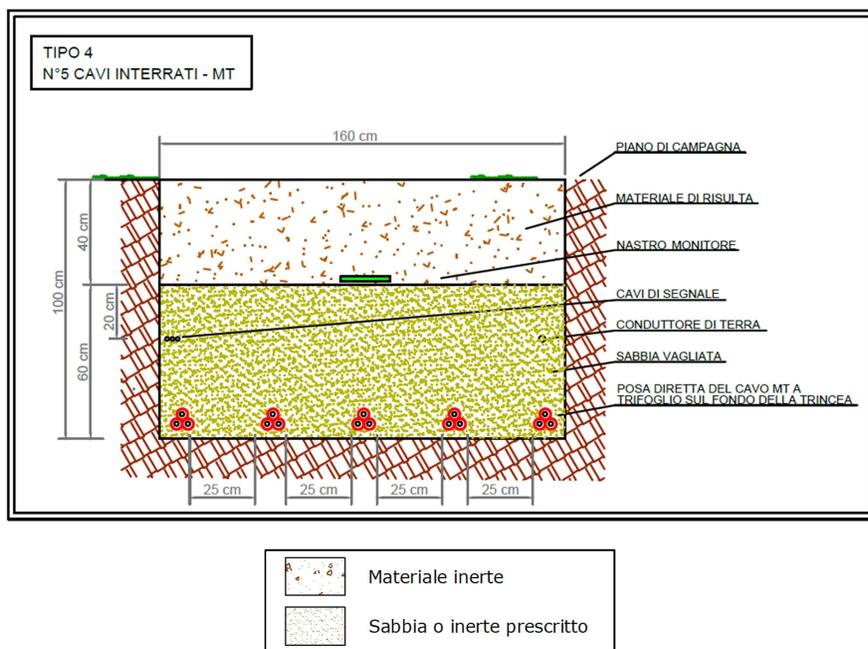


Figura 9 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto

### 10.1.3 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B

Il cavidotto in MT costituito da n.5 terne di cavi unipolari della sezione di 185 mmq e 240 mmq, genera un valore d'induzione B direttamente proporzionale alle portate dei cavi. Il calcolo del campo elettromagnetico generato dal cavidotto è stato effettuato utilizzando la seguente formula analitica nell'ipotesi di terna di cavi a geometria triangolare:

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

essendo  $I$  la corrente di linea,  $S$  la distanza tra conduttori e  $D$  la distanza radiale dalla linea. 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. 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  $\mu$ 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. Per i cavi considerati nella progettazione, la portata di corrente assume un valore di 350 A per il cavo da 185 mmq, e di 407 A per quello da 240 mmq (resistività del terreno pari ad 1°Cm/W, Temperatura 20°C).

Il campo di induzione magnetica B generato dai conduttori in alluminio del cavidotto percorso dal valore delle portate, assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva mostrata in **Figura 13**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

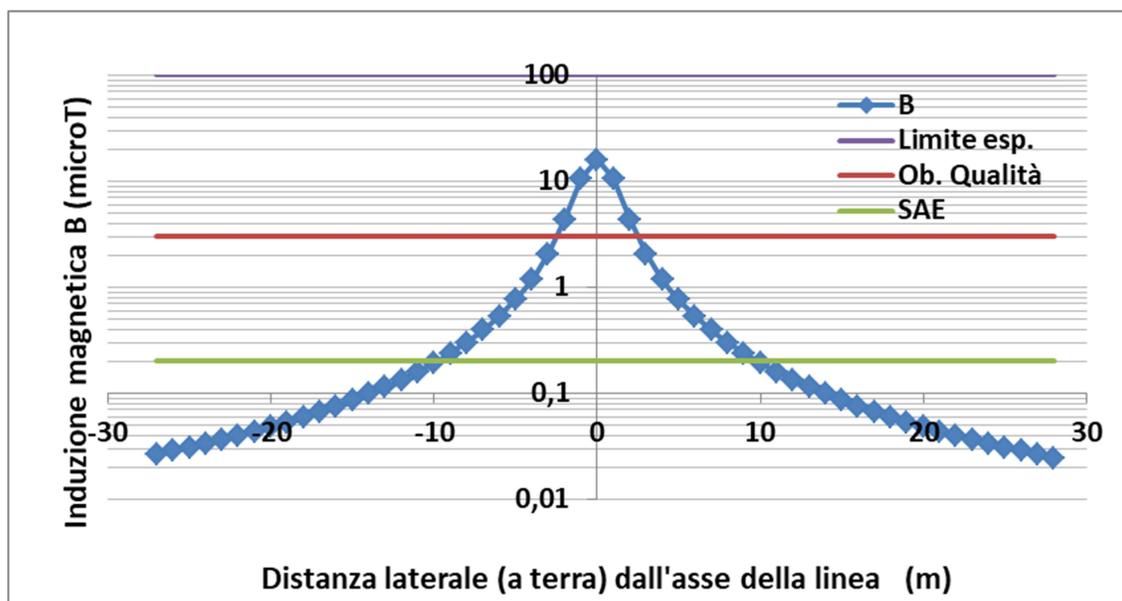


Figura 10: Campo di induzione magnetica B ( $\mu T$ ) generato dal cavidotto in MT interno all' area d'impianto in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 4** seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **Figura 10**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

Punti	Distanza [m]	B( $\mu$ T)
0	1,2	15,99
1	1,6	10,61
2	2,3	4,32
3	3,2	2,07
4	4,2	1,19
5	5,1	0,77
6	6,1	0,53
7	7,1	0,39
8	8,1	0,30
9	9,1	0,24
10	10,1	0,19

*Tabella 4 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per i ricettori interni all’impianto*

Dalla tabella precedente si evince che il valore del campo B assume un valore pari all’obiettivo di qualità ( $3\mu$ T), ad una distanza di circa 2,6 m dal cavo interrato, con un valore di DPA circa pari a 5,2 m. Poiché non sono presenti ricettori sensibili in prossimità della distanza DPA, si può ritenere che l’obiettivo di qualità è rispettato.

## **8.1 CAMPO B GENERATO DAI CAVIDOTTI ESTERNI**

In questo paragrafo prendiamo in considerazione i cavi di connessione tra le cabine di consegna con la CP “Racale”.

### **8.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT**

Il collegamento in MT tra le cabine di consegna con la CP “RACALE” sarà realizzato mediante n.3 cavi trifase aventi ciascuno una sezione nominale di 185 mmq, con conduttore in alluminio e tensione d’isolamento 12/24 KV. Il cavo che verrà utilizzato sarà del tipo descritto in **Figura 7**, ARE4H5EX, con cavi unipolari cordati ad elica visibile, disposti a trifoglio con protezione meccanica esterna.

### **8.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO**

I tre cavi saranno interrati, nella stessa trincea della profondità di 1,0 m, e distanziati tra di loro di circa 25 cm sul piano orizzontale. Nello stesso scavo, a distanza di almeno 0,3 m dai cavi di energia, potrà essere posato un cavo con fibre ottiche e/o telefoniche per trasmissione dati. Tutti i cavi verranno alloggiati in sabbia o inerte prescritto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata più umida o con cemento ‘mortar’. Saranno segnalati superiormente da un nastro segnaletico e potranno essere protetti anche da una rete in PVC.

### 8.1.3 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B

Per il cavo considerato nella progettazione, la portata di corrente ha un valore di circa 368 A (resistività del terreno pari ad 1°Cm/W, Temperatura 20°C).

Il campo di induzione magnetica B generato dai conduttori in alluminio dei n.3 cavi percorsi dal valore della corrente pari alla loro portata, assumerà un andamento variabile con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva mostrata in **Figura 11**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

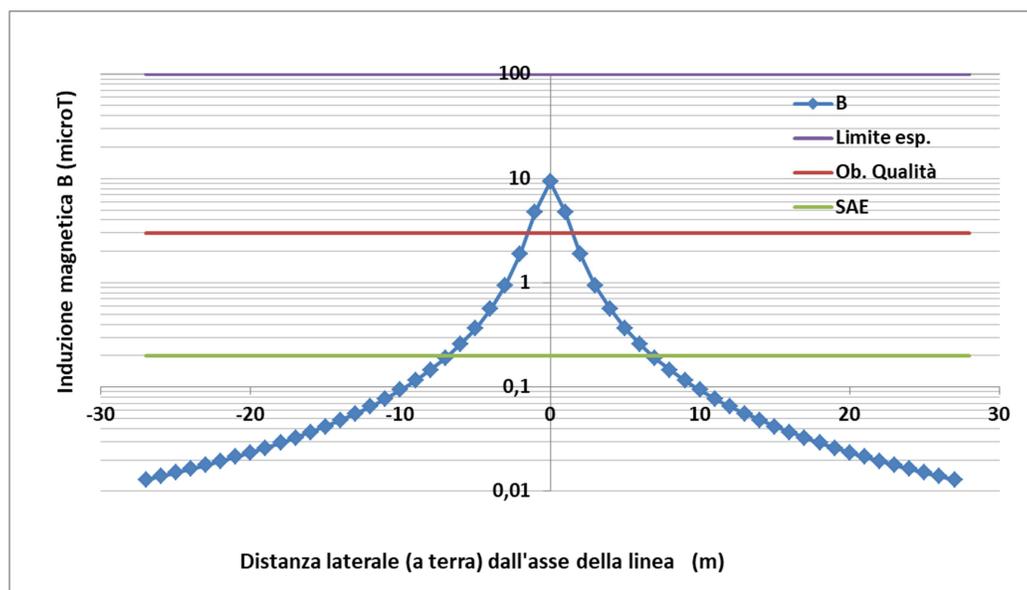


Figura 11: *Campo di induzione magnetica B ( $\mu T$ ) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità*

Nella **Tabella 5** seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **Figura 11**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

Punti	Distanza [m]	B( $\mu$ T)
0	1,2	9,35
1	1,6	4,76
2	2,3	1,90
3	3,2	0,95
4	4,2	0,56
5	5,1	0,36
6	6,1	0,26
7	7,1	0,19
8	8,1	0,15
9	9,1	0,12
10	10,1	0,09

Tabella 5 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale per i cavi da 185 mmq

Come si evince dalla tabella 5, il valore del campo B assume un valore pari all'obiettivo di qualità ( $3\mu$ T), ad una distanza di circa 1,6 m dal cavo interrato, per un valore di DPA circa pari a 3,2 m. Anche in questo caso, non sono presenti ricettori in prossimità della distanza DPA, per cui si può ritenere che l'obiettivo di qualità viene rispettato.

## **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 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 i cavidotti in MT, il valore dell'induzione magnetica prodotta, non influenza alcun ricettore sensibile, essendo questi molto distanti dall'area d'impianto.

L'utilizzo di cavi unipolari avvolti reciprocamente a spirale, fa sì che l'obiettivo di qualità di 3  $\mu$ T fissato dal D.P.C.M. 08/07/2003, venga raggiunto ad una distanza minore dall'asse del cavo stesso rispetto a quella calcolata assumendo i cavi non cordati. Considerando inoltre che gli schermi dei cavi verranno collegati a terra ed eventualmente utilizzati per interconnettere elettricamente gli impianti di terra delle cabine elettriche di trasformazione, assumeranno il potenziale zero di riferimento, e dunque anche l'obiettivo di qualità di 5 kV/m fissato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003 risulterà soddisfatto.

Possiamo ritenere che tutte le opere elettriche connesse al progetto fotovoltaico sono pertanto conformi ai parametri normativi relativi all'impatto elettromagnetico riferiti all'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.