



REGIONE LAZIO



Comune di Roma (RM)

PROGETTO DEFINITIVO

per la realizzazione di un impianto agrivoltaico della potenza di picco di 18,21 MWp presso via Boccea

TITOLO

Relazione Impatto Elettromagnetico

PROGETTAZIONE	CONSULENZA	PROPONENTE
 <p>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</p> 	<p>MASSIMO FORDINI SONNI ARCHITETTO</p> <p>Arch. Massimo Fordini Sonni Via Verdi 16c, Celleno (VT) - 01020 C.F. FRD MSM 65C21C446A, P.IVA 01505150563</p> <p>Collaboratori: Arch. Alessandra Rocchi Arch. Marco Musetti</p>  	<p>SWE IT 09 Srl</p> <p>SWE IT 09 Srl. Con sede legale a Milano (MI) Piazza Borromeo 14 - 20123 C.F. e P.IVA 12498800965</p>

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	10/02/2023	F. Lauretti	A. Bartolazzi	SWE IT 09 Srl	Relazione elettromagnetica

N° DOCUMENTO	SCALA	FORMATO
SWE-BCC-RIE	--	A4

INDICE

INDICE DELLE FIGURE	2
1. OGGETTO DEL DOCUMENTO	4
2. INTRODUZIONE	4
2.1 I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI	5
2.2 EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE	6
3. RIFERIMENTI LEGISLATIVI NAZIONALI	8
4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO.....	11
5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO	11
5.1 MODULI FOTOVOLTAICI	11
5.2 MULTI-MPPT STRING INVERTER	12
6. CABINE DI TRASFORMAZIONE BT/MT	12
7. CABINA DI CONSEGNA.....	13
8. CAVIDOTTI IN MEDIA TENSIONE.....	14
9. ESPOSIZIONE POST-OPERAM DEL PROGETTO.....	17
9.1 CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO	17
9.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI INTERNI IN MT	17
9.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO.....	18
9.1.3 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI	19
9.2 CAVIDOTTO ESTERNO DI CONNESSIONE TRA LE CABINE DI CONSEGNA E LA CABINA PRIMARIA DI ARETI SPA	25
9.2.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT.....	25
9.2.2 TIPOLOGIA DI SCAVO.....	26
9.2.3 PERCORSO DEL CAVIDOTTO E RICETTORI	27
9.2.4 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B.....	36
10. CONCLUSIONI	38

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE.	7
Figura 2 – Valori della Distanza di prima approssimazione per una cabina di consegna con trasformatore.	14
Figura 3 – Andamento dell’induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.	15
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.....	16
Figura 5 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT	18
Figura 6 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all’area d’impianto	19
Figura 7 – Layout dell’impianto con indicazione dei ricettori potenzialmente sensibili e del cavidotto di avacuazione fino alla CP.....	20
Figura 8 – Inquadramento dell’area di impianto su ortofoto – Ricettore (R1)	21
Figura 9 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità-R1	22
Figura 10 – Inquadramento dell’area di impianto su ortofoto – Ricettore (R3).....	23
Figura 11 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità-R3.	24
Figura 12 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT da 150 mmq	26
Figura 13 – Sezione di scavo per il cavidotto interrato in MT esterno all’area d’impianto ...	27
Figura 14 – <i>Materiali di riempimento per scavo cavi esterni</i>	27
Figura 15 – <i>Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R2, R4 e R5</i>	28
Figura 16 – <i>Inquadramento su ortofoto-posizione dei ricettori R6 e R7</i>	29
Figura 17 – <i>Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R8</i>	30
Figura 18 – <i>Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R9</i>	30
Figura 19 – <i>Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R10</i>	31
Figura 20 – <i>Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R11</i>	32

Figura 21 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R12	32
Figura 22 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R13	33
Figura 23 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R14 (gruppo di case)	33
Figura 24 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R15 (gruppo di case)	34
Figura 25 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R16 (gruppo di case)	35
Figura 26 – 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.	36

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.....	11
Tabella 4 – Distanza minima tra recettori e scavi per cavi interni.....	11
Tabella 5 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per il ricettore R1	114
Tabella 6 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per il ricettore R2	116
Tabella 7 – Distanza tra i ricettori ed il cavidotto di collegamento con la CP	3511
Tabella 8 – Distanza tra i ricettori ed il cavidotto di collegamento con la CP	3711

1. OGGETTO DEL DOCUMENTO

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

- in MT a 20 kV, interne al campo fotovoltaico, che collegano le cabine di trasformazione BT/MT (denominate CTi) alle cabine di cabina di consegna (denominate CCi);
- in MT a 20 kV, esterno all'area d'impianto, che collega le cabine di consegna CC1 e CC2 e la CP "PRIMAVALLE" di proprietà della società Areti SpA, il quale si svilupperà nel territorio comunale di Roma.

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

2. INTRODUZIONE

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

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

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

Alla produzione e al trasporto di energia elettrica, siano essi basati su fonti tradizionali fossili sia su fonti rinnovabili, si associano delle emissioni elettromagnetiche, dovute in massima parte alla corrente elettrica che scorre nei cavidotti aerei e/o interrati. Nella progettazione di nuovi impianti di produzione di energia elettrica risulta dunque necessario assicurarsi che da tali opere non scaturiscano situazioni possibilmente dannose per la popolazione legate all'esposizione a campi elettromagnetici. L'interazione tra campi elettromagnetici e sistemi biologici è governata in generale dalle equazioni di Maxwell, che descrivono la propagazione, riflessione e assorbimento dei campi elettromagnetici in tutti i mezzi, tra cui anche i tessuti

biologici. In particolare, lo studio di possibili effetti legati all'esposizione a campi elettromagnetici è affrontato da una disciplina scientifica che prende il nome di bio-elettromagnetismo, che in sintesi è basata sull'analisi di due aspetti:

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

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

Il parametro di maggior interesse è la frequenza, poiché campi a bassa frequenza 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.

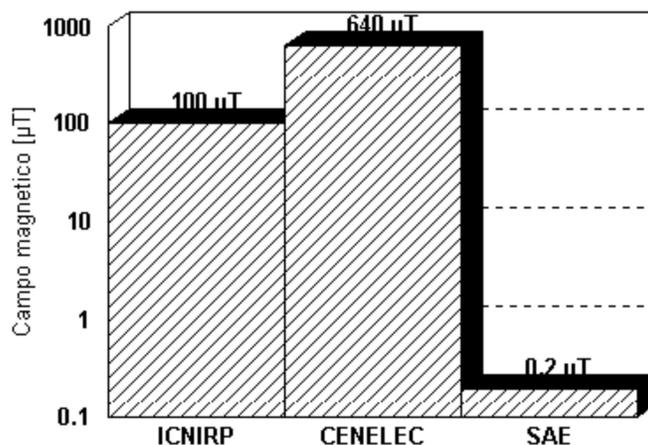


Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE.

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 elettromagnetici;
- e) **elettrodotto:** è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;
- f) **esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici:** è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;
- g) **esposizione della popolazione:** è ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici.

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

Articolo 3

Limiti di esposizione e valori di attenzione

- 1) Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di **100 μT** per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.
- 2) A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di **10 μT** , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Articolo 4

Obiettivi di qualità

Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di **3 μT** per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. Riassumendo dunque i limiti di legge in vigore in Italia relativi all'esposizione a campi elettromagnetici alla frequenza di 50 Hz sono quelli riportati in

Tabella 1.

Campi a 50 Hz

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

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

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

Fonte	Induzione magnetica 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.

4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO

L'impianto agrivoltaico di Boccea, verrà realizzato su strutture ad inseguitori solari monoassiali, del tipo "2-in-portrait", con una potenza nominale installata di circa 18,21 MWp. Di seguito si riporta la tabella riassuntiva con le principali caratteristiche tecniche dell'impianto AGRIVOLTAICO necessarie per la redazione della relazione in oggetto:

Potenza nominale dell'impianto [MWp]	18,21
Potenza modulo fotovoltaico monocristallino [Wp]	580
Numero di moduli totali	31392
Area d'impianto recintata [ha]	20,22
Superficie captante fotovoltaica [ha]	8,11
N° cabine di trasformazione	5
N° cabine di consegna	2
N° cabine utenti	2
Lunghezza cavo da 6 mmq in BT CC [m]	48150
Lunghezza cavo da 2,5 mmq in BT CC [m]	1530
Lunghezza cavo da 300 mmq in BT CC [m]	8200
Lunghezza cavo da 95 mmq in MT AC [m]	430
Lunghezza cavo da 150 mmq in MT AC [m]	6440
Lunghezza cavo da 240 mmq in MT AC [m]	1530

Tabella 3 - Caratteristiche tecniche dell'impianto

5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO

Un impianto agrivoltaico è costituito dei seguenti componenti principali:

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

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

5.1 MODULI FOTOVOLTAICI

Per il layout d'impianto sono stati scelti moduli fotovoltaici bifacciali del tipo JKM580N-72HL4-BDV, della Jinko Solar, della potenza nominale di 580 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 13,62 A, decisamente irrilevante per la generazione di un campo elettromagnetico.

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

5.2 MULTI-MPPT STRING INVERTER

Per la conversione dell'energia elettrica prodotta da continua in alternata a 50 Hz sono previsti inverter multistringa, con elevato fattore di rendimento, posizionati a lato delle strutture metalliche degli inseguitori solari. La tipologia dell'inverter utilizzato è il modello della Huawei SUN2000-330KTL (o similare) avente una potenza nominale in uscita in AC di 300 kVA ed tensione nominale fino a 800 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 dell'impianto, denominate CTi, conterranno oltre ai quadri elettrici di protezione in BT ed MT anche uno o due trasformatori elevatori BT/MT, della potenza nominale ciascuno di 2000 kVA.

I trasformatori verranno alloggiati all'interno delle cabine di trasformazione, in un apposito vano dedicato. In base al DM del 29/05/2008, cap.5.2.1, l'ampiezza della Distanza di Prima Approssimazione per la valutazione dei campi elettromagnetici indotti (DPA) dai componenti elettrici della cabina, si determina considerando la corrente del lato in bassa tensione del trasformatore, tenendo conto di una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore.

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

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

dove:

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

Considerando che il valore della corrente nominale sul lato BT di un trasformatore di potenza BT/MT all'interno di ogni cabina, (corrente massima in uscita dal quadro BT di collegamento con gli inverter), è pari a circa 1.667,4 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 11,5 m.

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

7. CABINA DI CONSEGNA

In relazione alla specifica ubicazione degli impianti elettrici dei locali cabina di consegna, ubicata all'interno dell'area dell'impianto agrivoltaico, è applicabile il criterio basato sulla DPA, distanza di prima approssimazione. Questa è stata calcolata sulla base della tabella riportata nell'articolo 5.2.1 dell'allegato al D.M. 29 maggio 2008, considerando che il limite fissato dall'obiettivo di qualità di 3 μ T di cui all'art. 4 del D.P.C.M. 08/07/2003 risulta rispettato per le aree ad una distanza superiore a quanto riportato nelle allegate rappresentazioni grafiche della fascia di rispetto e della D.P.A e cioè di 2,0 m dal fabbricato di pertinenza dell'edificio cabina se venisse installato un trasformatore BT/MT di potenza pari a 630 kVA (**Figura 2**). Se la cabina fosse priva di trasformatore, la DPA da considerare è quella della linea MT entrante/uscente e pertanto, si rimanda al capitolo successivo per la valutazione del campo elettromagnetico generato dai cavi in MT sui ricettori prossimi al percorso del cavidotto.

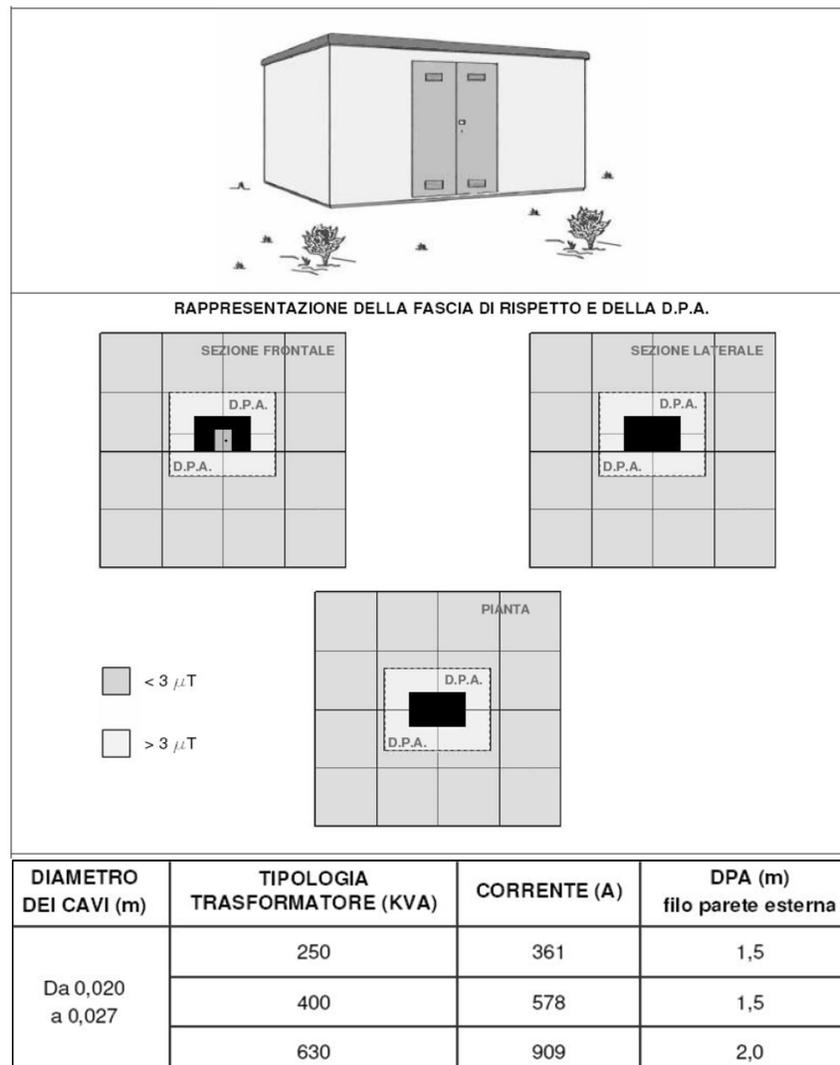


Figura 2 – Valori della Distanza di prima approssimazione per una cabina di consegna con trasformatore.

8. CAVIDOTTI IN MEDIA TENSIONE

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

La progettazione per la costruzione dell'elettrodotto di media tensione, viene redatta nel rispetto del D.M. del 21 Marzo 1988 n.28 (Norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne di classe zero, prima e seconda) e la sua

realizzazione avverrà in conformità agli articoli 3, 4 e 6 del DPCM 80.07.93 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alle frequenze di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti". Si precisa che, secondo quanto previsto dal Decreto 29 Maggio 2008 (G.U. n.156 del 5 luglio 2006) la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art.6 del DPCM 08 Luglio 2003 non si applica per le linee di media tensione in cavo cordato ad elica (interrato od aereo), in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal D.M. del 21 Marzo 1988 n.28 sopra citato e s.m.i.

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

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

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

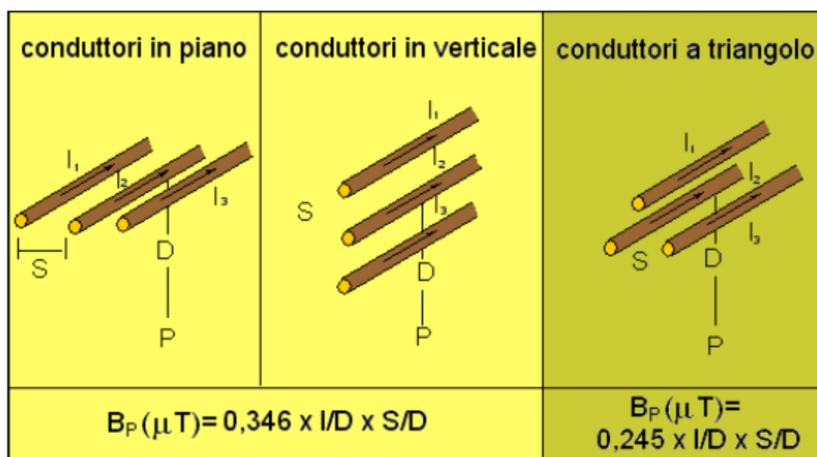


Figura 3 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.

Si osserva dalle relazioni in **Figura 3** che il campo B aumenta linearmente con la corrente di linea I e decade con il quadrato della distanza D dalla linea. Inoltre, il campo B aumenta

linearmente con la distanza tra i conduttori S . Ciò rappresenta il motivo per cui cavidotti aerei, che presentano conduttori generalmente più distanti tra loro, generano campi che decadono più lentamente con la distanza rispetto a cavidotti interrati, a parità di corrente. Infine, si noti che la configurazione a triangolo è quella cui si associa minore generazione di campo B , per via dell'opposizione tra le fasi.

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 $3 \mu\text{T}$ venga raggiunto a distanze brevissime ($0.5 - 0.8 \text{ m}$) dall'asse del cavo. Pertanto, per cavidotti con tale configurazione, l'impatto elettromagnetico è da considerarsi sempre trascurabile. Da un punto di vista quantitativo, per avere un'idea del campo generato dai cavidotti interni ad un generico impianto, si considerino tre tipologie di cablaggi con portate in corrente di tre classi: 300 A , 600 A e 900 A . Nell'ipotesi di terna piana, si riporta in **Figura 4** l'andamento del campo B generato al livello del suolo dal passaggio di corrente di 300 , 600 e 900 A , supponendo una distanza tra i conduttori pari a 5 cm (tipica di un cavidotto MT) ed un interrimento di 1 m .

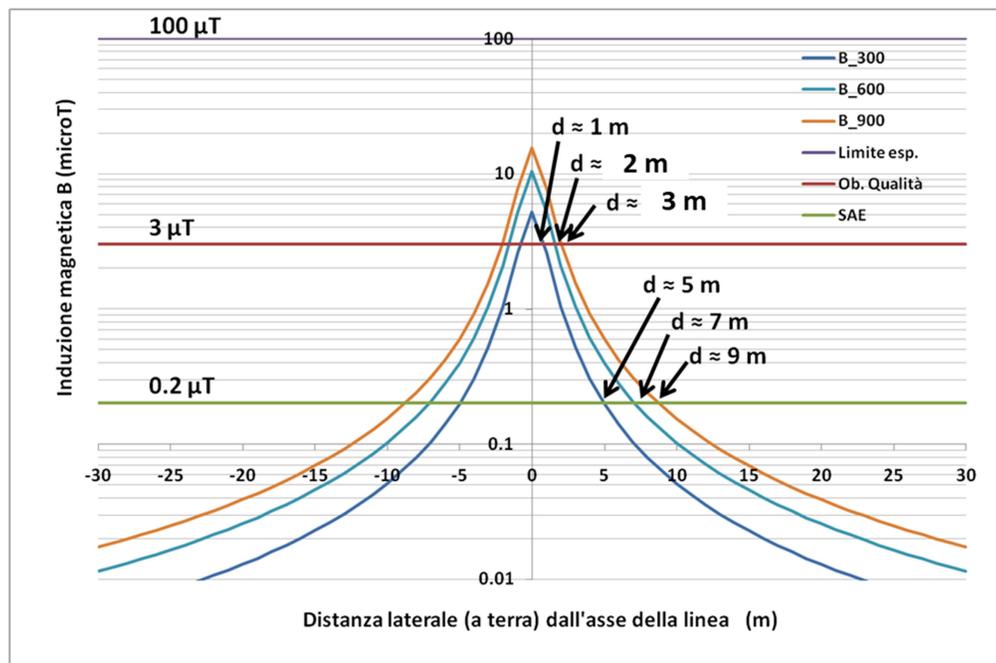


Figura 4 – Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE.

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

9. ESPOSIZIONE POST-OPERAM DEL PROGETTO

Date le suddette premesse metodologiche, si descrivono di seguito i risultati dello studio del campo elettromagnetico generato sia dai cavidotti interni all'impianto agrivoltaico in MT a 20 kV che collegano le cabine di trasformazione (CTi) alle rispettive cabina di consegna (CCi), sia dal cavidotto di connessione in MT a 20 kV, tra le cabine di consegna CCi e la CP di "Areti Spa", distanti circa 6.400 m.

9.1 CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO

9.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI INTERNI IN MT

Generalmente, la scelta della sezione del conduttore dei cavi dipende dalla corrente d'impiego e dalla portata effettiva del cavo in relazione al suo regime di funzionamento (regime permanente, ciclico o transitorio) ed alle sue condizioni di installazione (temperatura ambientale, modalità di posa, numero di cavi e loro raggruppamento, etc.) (CEI 11-17). I collegamenti in MT saranno realizzati in conformità allo schema elettrico unifilare mediante cavi in alluminio con tensione d'isolamento 12/20 KV. I cavidotti interni in MT saranno interrati ad una profondità di circa 1,2 m dal livello del suolo.

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

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 ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)

sezione nominale	portata di corrente in aria	posa interrata a trifoglio	
conductor cross-section	open air installation	underground installation trefoil	
(mm ²)	(A)	p=1°C m/W	p=2°C m/W

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 5 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT

9.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO

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

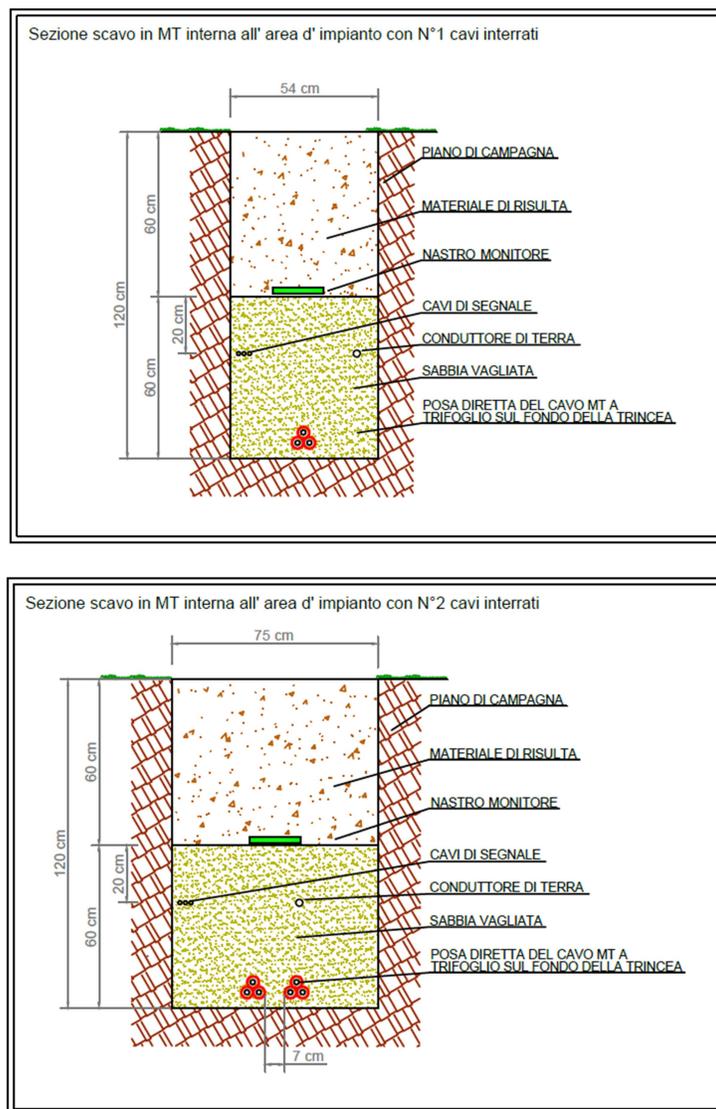


Figura 6 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto

9.1.3 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI

Nella **Figura 7** è riportato il layout del lotto di n.2 impianti fotovoltaici, in cui sono visibili: in ciano, l'area d'impianto, in rosso, il percorso del cavidotto di connessione con la CP, in verde, la posizione dei possibili ricettori potenzialmente sensibili al campo B, sia in prossimità dell'area d'impianto che lungo il tracciato del cavidotto.



Figura 7 – Layout dell’impianto con indicazione dei ricettori potenzialmente sensibili e del cavidotto di avacuazione fino alla CP

I recettori più vicini al percorso dei cavi interni in MT dell'impianto, sono R1 ed R3, le cui distanze tra questi e i cavidotti interrati più vicini, sono riportate in **Tabella 4**.

Ricettore	Distanza [m]
R1	30
R3	4,5

Tabella 4 – Distanza minima tra recettori e scavi per cavi interni.

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

In **Figura 8** è riportata la posizione del ricettore R1. Nello scavo interno (colore magenta) più vicino al ricettore, sono alloggiati due cavi del tipo "air-bag" ARE4H5(AR)EX aventi ciascuno una sezione di 240 mmq ed una portata di 427 A (resistività del terreno pari ad 1°Cm/W, Temperatura 20°C).



Figura 8 – Inquadramento dell'area di impianto su ortofoto – Ricettore (R1)

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

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

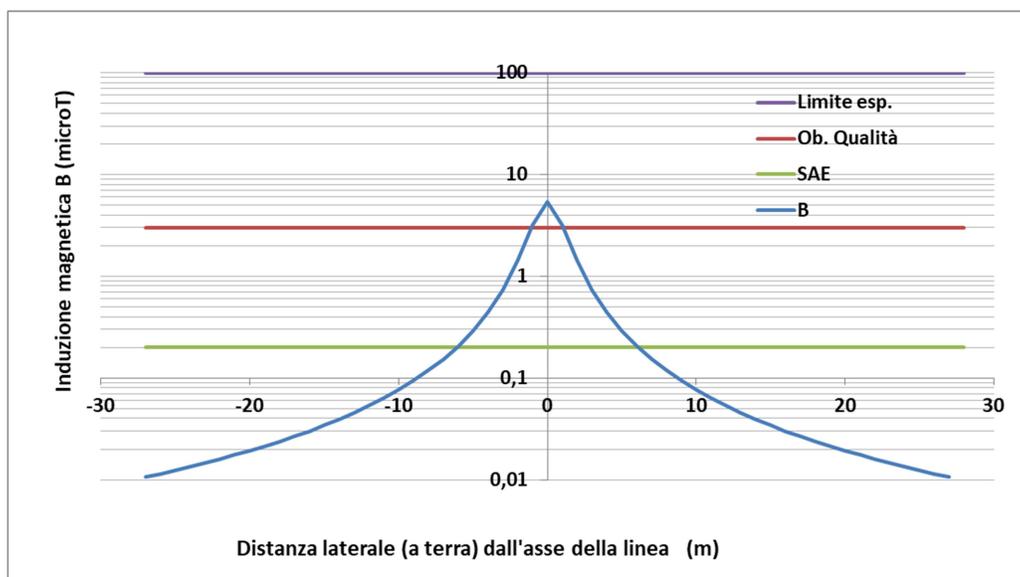


Figura 9 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità-R1

Nella **Tabella 6** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 9**. Il punto 0 rappresenta il punto in cui si proietta ortogonalmente il cavidotto, posato a 1,2 m di profondità, sul manto stradale, si noti che in questo punto si ha valore di B pari a circa $5,4 \mu\text{T}$.

Punti	Distanza [m]	B(μ T)
0	1,2	5,4
1	1,6	3,2
2	2,3	1,4
3	3,2	0,7
4	4,2	0,4
5	5,1	0,3
6	6,1	0,2
7	7,1	0,2
8	8,1	0,1
9	9,1	0,1
10	10,1	0,08

Tabella 5 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per il ricettore R1.

Il ricettore R1 è distante circa 30 metri dallo scavo. Come si evince dal grafico precedente, a tale distanza, il valore del campo B è prossimo allo zero e dunque di valore trascurabile sul ricettore in oggetto.

Calcolo del valore d’induzione B sul Ricettore R3 prossimo all’area d’impianto:

In **Figura 10** è riportato un’ ingrandimento della posizione del ricettore R3 rispetto allo scavo MT in magenta, in cui è posato un cavo del tipo “air-bag” ARE4H5(AR)EX, avente una sezione di 95 mmq ed un valore di portata pari a 256 A (considerando un valore di resistività del terreno pari ad 1°Cm/W e di 20°C la sua temperatura).

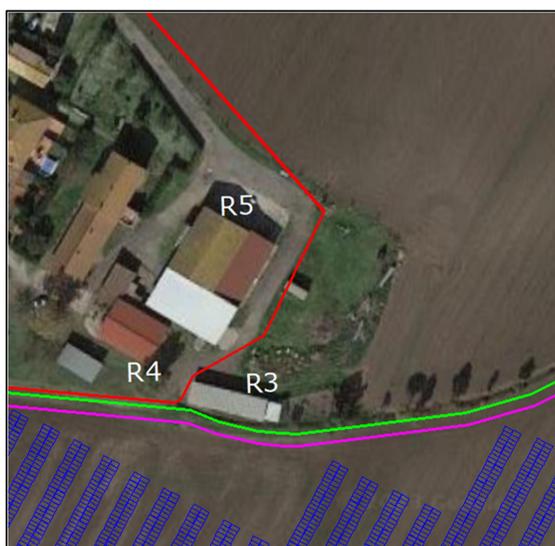


Figura 10 – Inquadramento dell’area di impianto su ortofoto – Ricettore (R3)

Il campo di induzione magnetica B generato dal cavo interrato assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva riportata in **Figura 11**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

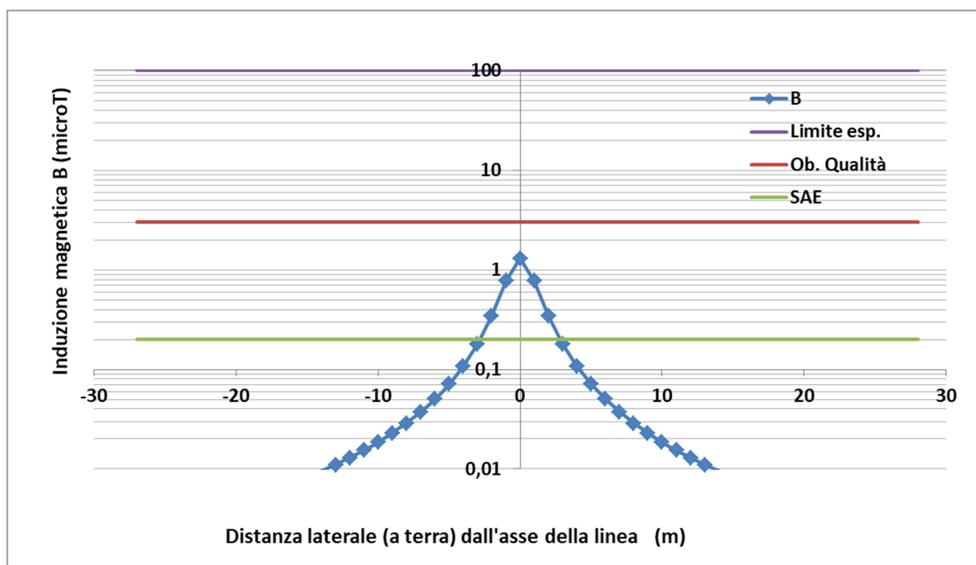


Figura 11 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità-R3.

Nella **Tabella 6** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 9**. Il punto 0 rappresenta il punto in cui si proietta ortogonalmente il cavidotto (posato, ricordiamo, a circa 1,2 m di profondità) sul manto stradale. Si noti che in questo punto si ha valore di B pari a circa 1,3 μT .

Punti	Distanza [m]	B(μT)
0	1,2	1,3
1	1,6	0,8
2	2,3	0,3
3	3,2	0,2
4	4,2	0,1
5	5,1	0,1
6	6,1	0,1
7	7,1	0,0
8	8,1	0,0
9	9,1	0,0
10	10,1	0,02

Tabella 6 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per il ricettore R3.

Dalla tabella seguente si evince che il valore del campo B generato dalla corrente che circola nel cavo, assume un valore sempre inferiore all' obiettivo di qualità.

9.2 CAVIDOTTO ESTERNO DI CONNESSIONE TRA LE CABINE DI CONSEGNA E LA CABINA PRIMARIA DI ARETI SPA

9.2.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT

Anche in questo caso, la scelta della sezione del conduttore, dipende dalla corrente d'impiego e dalla portata effettiva del cavo in relazione al suo regime di funzionamento ed alle sue condizioni di installazione (CEI 11-17). I collegamenti in MT tra le cabine di consegna e la Cabina Primaria saranno realizzati in conformità allo schema elettrico unifilare allegato al seguente progetto, mediante cavi in corda di rame, con tensione d'isolamento 12/20 KV e interrati ad una profondità di circa 1,2 m dal livello del suolo.

La connessione avverrà mediante n.2 cavi trifase, cordati ad elica visibile, disposti a trifoglio nello scavo, aventi ciascuno una sezione nominale di 150 mmq ed interrati con protezione meccanica aggiuntiva.. Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche dei cavi in questione:

MEDIA TENSIONE - BASSISSIMA EMISIONE DI FUMI E GAS TOSSICI / MEDIUM VOLTAGE - VERY LOW EMISSION OF SMOKE AND TOXIC GASES	
RG7H1M1 Afumex MV Power 105 	
Unipolare 12/20 kV e 18/30 kV Single core 12/20 kV and 18/30 kV	
Norma di riferimento HD 620 CEI 20-13	Standard HD 620 CEI 20-13
Descrizione del cavo Anima Conduttore a corda rotonda compatta di rame rosso Semiconduttivo interno Elastomerico estruso Isolante Miscela speciale di gomma ad alto modulo Semiconduttivo esterno Elastomerico estruso pelabile a freddo Schermatura A filo di rame rosso Guaina AFUMEX, colore rosso Marcatura PRYSMIAN(**) AFUMEX MV power 105 <tensione> <sez.> CEI 20-22III Cat. C. <anno>	Cable design Core Compact stranded bare copper conductor Inner semi-conducting layer Extruded elastomeric compound Insulation Special high module rubber compound Outer semi-conducting layer Extruded cold strippable elastomeric compound Screen Bare copper wire Sheath AFUMEX; colour red Marking PRYSMIAN(**) AFUMEX MV power 105 <rated voltage> <cross-sect.> CEI 20-22III Cat. C. <year>

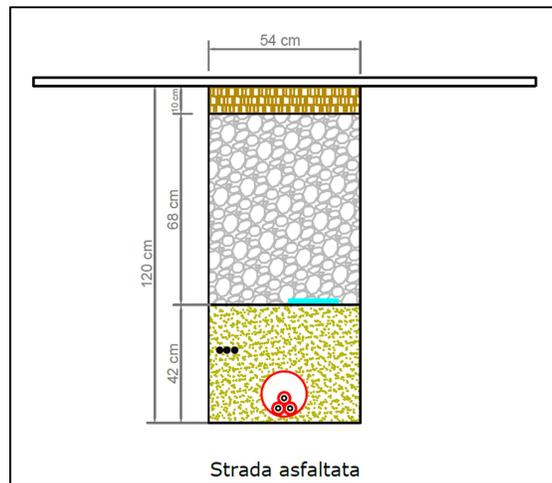
Unipolare - conduttore di rame / Single core - copper conductor - RG7H1M1

sezione nominale	diametro indicativo conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno massimo	peso indicativo del cavo	raggio minimo di curvatura	sezione nominale	posa in aria in piano	posa in aria a trifoglio	posa interrata in piano p=1 °C m/W	posa interrata a trifoglio in piano p=2 °C m/W	posa interrata a trifoglio in piano p=2 °C m/W	
conductor cross-section	approximate conductor diameter	diameter over insulation	maximum outer diameter	approximate weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation flat	open air installation trefoil	underground installation flat p=1 °C m/W	underground installation trefoil	underground installation trefoil p=2 °C m/W	
(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm ²)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	
Dati costruttivi / Construction charact. - 12/20 kV						Caratt. elettriche / Electrical charact. - 12/20 kV						
25	6,0	17	23,3	780	360	25	203	175	172	166	132	128
35	7,0	17	23,4	850	360	35	248	212	206	199	158	152
50	8,1	18	24,0	980	380	50	297	253	244	235	185	179
70	9,8	19	25,3	1190	400	70	373	316	299	288	225	218
95	11,4	21	26,7	1470	430	95	455	385	358	345	268	260
120	12,9	22	28,4	1740	450	120	525	445	406	392	304	294
150	14,2	24	30,0	2030	470	150	595	506	454	440	339	329
185	15,8	25	32,0	2440	490	185	680	581	512	496	381	370
240	18,2	28	34,6	3040	530	240	802	688	591	574	438	428
300	20,5	31	37,4	3700	560	300	916	790	664	647	491	481
400	22,9	33	40,3	4560	600	400	1049	912	747	732	551	543
500	26,2	37	43,7	5690	660	500	1203	1054	840	829	617	609
630	29,9	41	48,3	7210	720	630	1370	1212	937	923	687	682

Figura 12 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT da 150 mmq

9.2.2 TIPOLOGIA DI SCAVO

I cavi saranno interrati, protetti da tubo in PVC opportunamente dimensionato con diametro minimo di 160 mm, ed installati normalmente in una trincea della profondità di 1,2 m, con disposizione delle fasi a trifoglio. Nella figura successiva sono rappresentate due tipologie di scavi in relazione al tipo di percorso stradale:



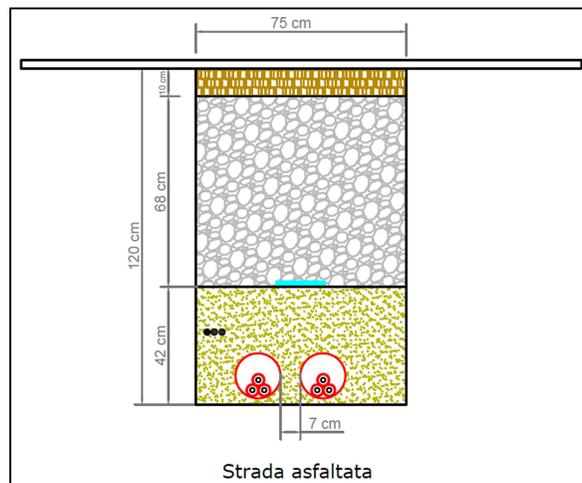


Figura 13 – Sezione di scavo per il cavidotto interrato in MT esterno all'area d'impianto

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

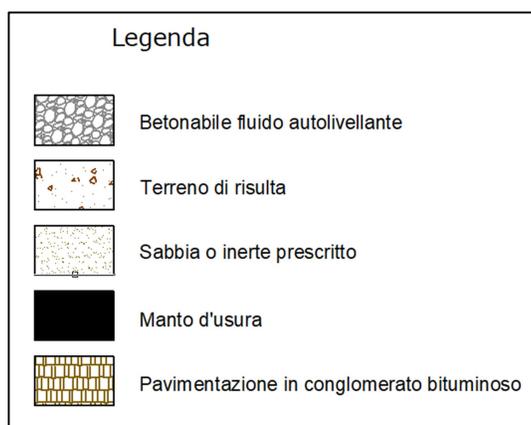


Figura 14 – Materiali di riempimento per scavo cavi esterni

9.2.3 PERCORSO DEL CAVIDOTTO E RICETTORI

Dai rispettivi quadri elettrici in MT a 20 kV in uscita dalle cabine di consegna CC1 E CC2, i due cavidotti interrati, con cavi della sezione di 150 mmq ciascuno, trasporteranno l'energia complessiva prodotta dall'impianto agrivoltaico, pari a circa 18.21 MWp, fino al quadro MT d'ingresso della Cabina Primaria di Areti SpA. Il cavidotto, lungo circa 6,4 km, sarà interrato principalmente su strade asfaltate ad una profondità di circa 1,2 m.

La **Figura 7** precedente mostra in dettaglio il percorso del cavidotto (in rosso) che collega le cabine di consegna CC1 e CC2 alla Cabina Primaria di Areti SpA (in blu), per tutta la sua lunghezza. Inoltre la stessa figura mostra i ricettori più rilevanti, cioè quelli potenzialmente più sensibili perché più vicini al percorso dei cavi, per i quali verrà riportata un'analisi approfondita sui possibili effetti dovuti al campo magnetico.

Nelle figure successive invece, sono riportati in dettaglio i ricettori individuati lungo il percorso del cavidotto.

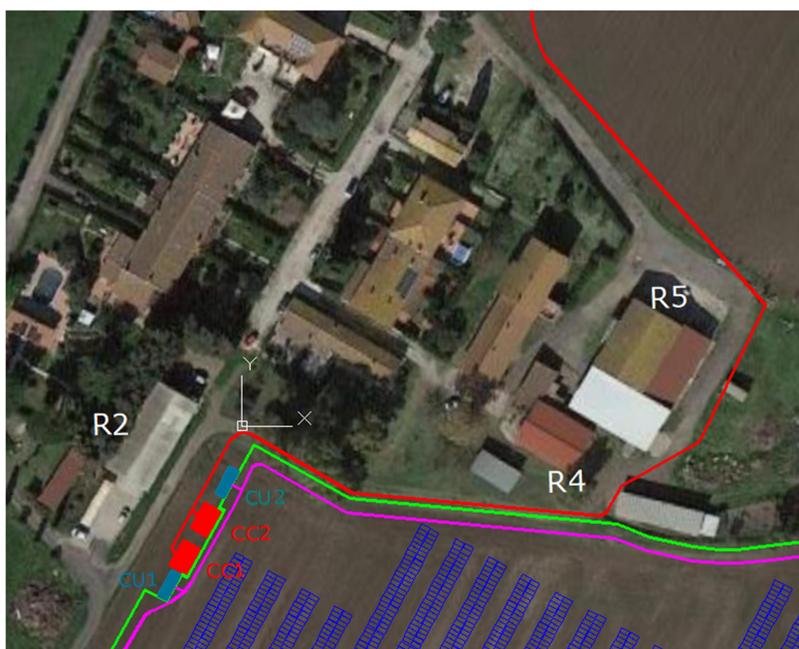


Figura 15 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R2, R4 e R5



Figura 16 – *Inquadramento su ortofoto-posizione dei ricettori R6 e R7*

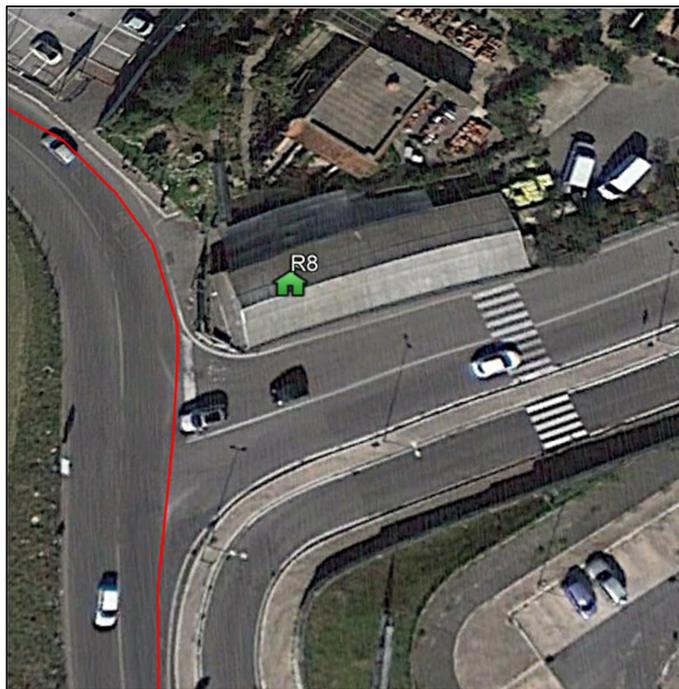


Figura 17 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricevitore R8



Figura 18 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricevitore R9



Figura 19 – *Inquadratura su ortofoto-posizione del ricettore R10*

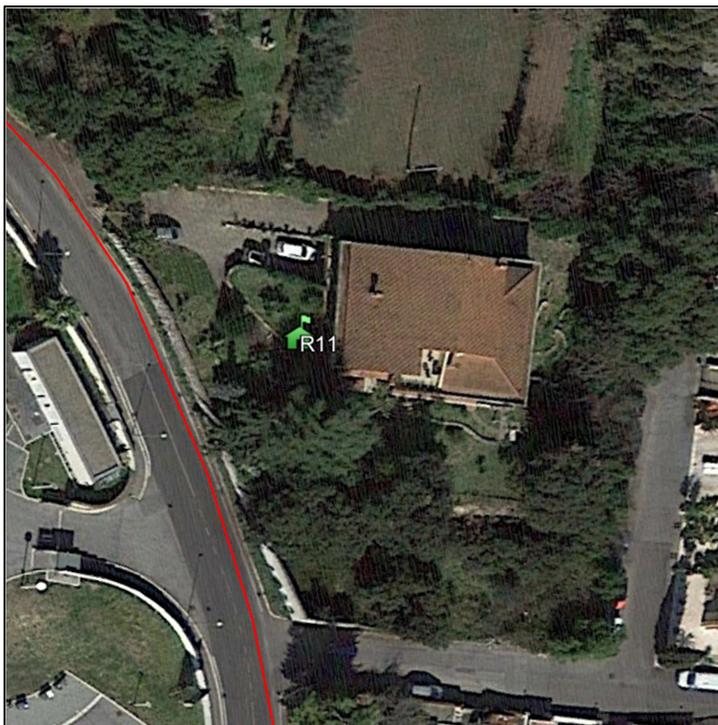


Figura 20 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R11

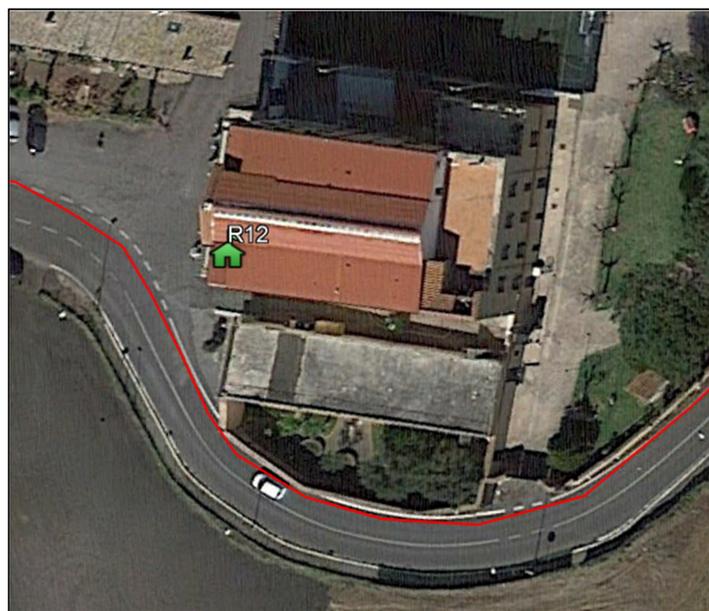


Figura 21 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricettore R12

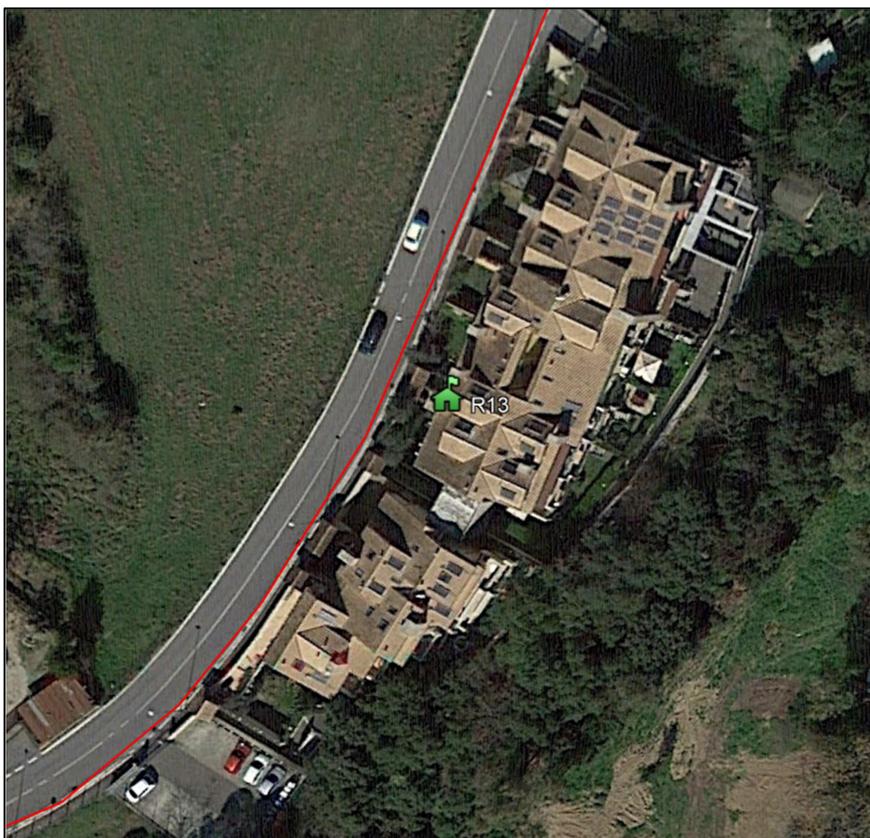


Figura 22 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricevitore R13



Figura 23 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricevitore R14 (gruppo di case)

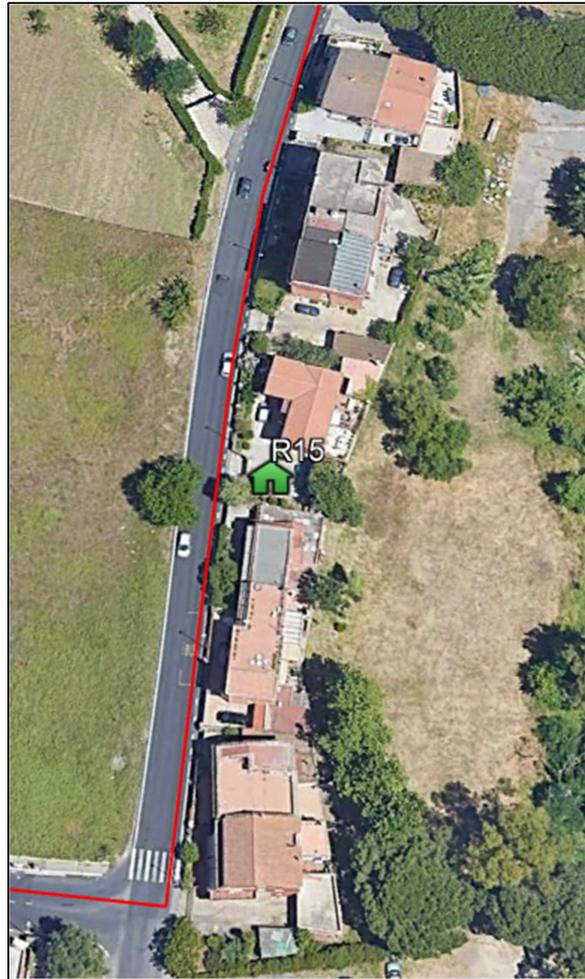


Figura 24 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricevitore R15 (gruppo di case)



Figura 25 – Inquadramento su ortofoto-posizione del ricevitore R16 (gruppo di case)

La **Tabella 7** seguente, elenca le distanze minime tra i ricevitori ed il tracciato del cavidotto che collega le cabine di consegna con la CP "Primavalle", nel caso in cui lo scavo venga realizzato nel lato della strada prossimo al ricevitore, come riportato nelle figure precedenti.

Ricettore	Distanza [m]
R2	10
R4	10
R5	5
R6	3,5
R7	5
R8	5,5
R9	5
R10	2,5
R11	9
R12	5
R13	2,5
R14	1,5
R15	1,5
R16	1,5

Tabella 7 – Distanze tra i ricettori dislocati lungo il percorso del cavidotto di avacuazione

9.2.4 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B

Il campo di induzione magnetica B generato dai cavi interrati assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva riportata in **Figura 26**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

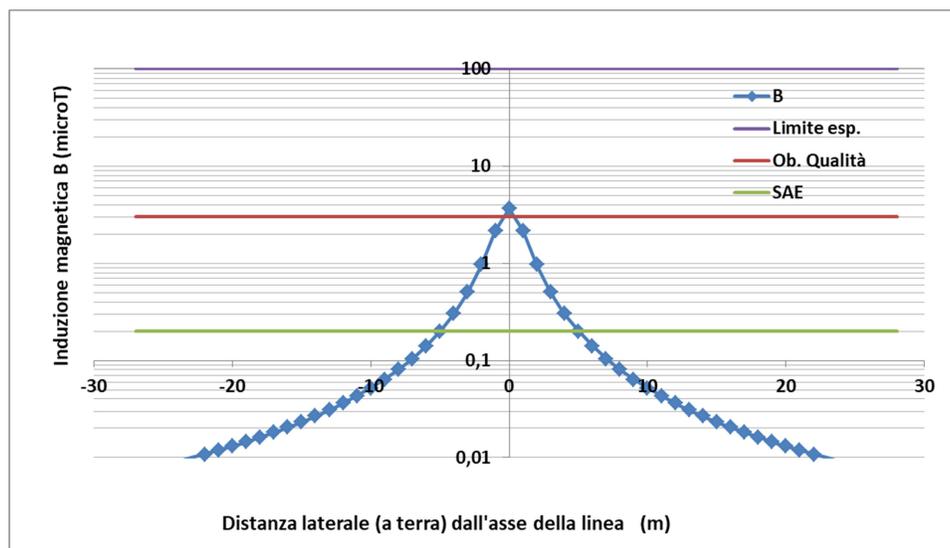


Figura 26 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.

Nella **Tabella 8** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 26**. Il punto 0 rappresenta il punto in cui si proietta ortogonalmente il cavidotto (ad 1,2 metri di profondità) sul manto stradale, si noti che in questo punto si ha un valore di B pari a 3,6 μ T.

Punti	Distanza [m]	B(μ T)
0	1,2	3,6
1	1,6	2,2
2	2,3	1,0
3	3,2	0,5
4	4,2	0,3
5	5,1	0,2
6	6,1	0,1
7	7,1	0,1
8	8,1	0,1
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 lungo il percorso del cavidotto MT.

Dalla tabella 8, si nota che l'obiettivo di qualità viene raggiunto ad una distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sulla strada, di circa 0,5 m, ossia, le condizioni di sicurezza si raggiungono quando il ricettore si trova ad una distanza superiore ad essa. Poiché tutti i ricettori sono più distanti dal percorso del cavidotto, si può concludere che non sono potenzialmente sensibili al campo generato dalle correnti che percorrono i cavi.

Nel caso in cui sarebbe stato necessario ridurre il campo B al di sotto dell'obiettivo di qualità nei tratti stradali prossimi ai ricettori più esposti al campo di induzione elettromagnetica, si sarebbero potute adottare le seguenti soluzioni:

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

10. CONCLUSIONI

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

Quindi, sotto opportune ipotesi cautelative, si è effettuato il calcolo post-operam dell'esposizione elettromagnetica, individuando in particolare per i cavidotti di progetto le distanze di rispetto per il soddisfacimento dei limiti di esposizione e degli obiettivi di qualità previsti dalla normativa vigente. I risultati hanno indicato che per i principali componenti elettrici costituenti l'impianto agrivoltaico 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 20 kV, che collega la cabina di consegna alla CP "Primavalle", 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 evidenzia che nel calcolo del campo B generato dalle correnti, è stata presa in considerazione la portata del singolo cavo posato nello scavo. Nella realtà, il valore della corrente che circola sui cavi è minore del valore della portata considerata e di conseguenza risulterà più basso quello del campo B prodotto da queste correnti. Si specifica comunque che nel calcolo non è stato possibile tenere conto delle effettive caratteristiche del terreno, informazione necessaria in sede di progetto esecutivo.

Si precisa, inoltre, che le verifiche dei campi magnetici sono state effettuate a favore di sicurezza, come descritte nei paragrafi precedenti, anche se, secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008, la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 si applica alle linee elettriche aeree ed interrate, esistenti ed in progetto ad esclusione di:

- linee esercite a frequenza diversa da quella di rete di 50 Hz (ad esempio linee di alimentazione dei mezzi di trasporto);
- linee di classe zero ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (come le linee di telecomunicazione);
- linee di prima classe ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (quali le linee di bassa tensione);
- linee di Media Tensione in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);

in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i.