

REGIONE ABRUZZO

COMUNI DI SULMONA E INTRODACQUA (AQ)

Progetto

Costruzione ed esercizio di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica di potenza di picco pari a 9.904,32 kWp e potenza di immissione pari a 9.000 kW, denominato "CAVATE", da realizzare nel Comune di Sulmona (AQ) in località "Cavate", e delle relative opere di connessione alla rete, da realizzare nei territori comunali di Sulmona e Introdacqua (AQ)

Proponente

AZ. AGRICOLA LORENZO DE MEIS

Via Aterno, Snc 65010 - Collecervino (PE)

C.F.: DMSLNZ79R15H501Z - P. IVA: 01660170687

PEC: lord1979@pec.it - +39 327 8750763

Redazione



SR International S.r.l.

Corso Vittorio Emanuele II, 282-284
00186 - ROMA

Ing. Luigi Imperato



DEVE-LOOP S.r.l. unipersonale

Via Orazio, 152
65128 - PESCARA (PE)

Arch. Gianluca
Francavilla



Coordinamento progettuale

DEVE-LOOP S.r.l. unipersonale Via Orazio, 152 65128 - PESCARA (PE)

P.IVA: 02319140683 - PEC: deve-loop@pec.it

+39 085 9562348 - +39 340 4925805



Elaborato

RELAZIONE DI IMPATTO ELETTROMAGNETICO

LIVELLO PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	NOME FILE	DATA	SCALA
PROGETTO DEFINITIVO	REL_06	REL_06 Relazione di impatto elettromagnetico.pdf	07/2023	--

Revisioni

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
0.0	07/2023	PRIMA EMISSIONE	L. Imperato	G. Francavilla	L. De Meis



RELAZIONE DI IMPATTO ELETTROMAGNETICO

Sommario

INDICE DELLE FIGURE	2
INDICE DELLE TABELLE	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 FOTOVOLTAICO	13
5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO	13
5.1 MODULI FOTOVOLTAICI	13
5.2 MULTI-MPPT STRING INVERTER	14
6. TRASFORMATORE BT/MT	14
7. CABINA CONSEGNA	15
8. CABINA DI SEZIONAMENTO	17
9. CAVIDOTTI IN MEDIA TENSIONE	17
10. ESPOSIZIONE POST-OPERAM DEL PROGETTO	20
10.1 CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO	20
10.2 TIPOLOGIA DEI CAVI INTERNI IN MT	20
10.3 TIPOLOGIA DI SCAVO	20
10.4 CAMPO B GENERATO DAI CAVIDOTTI INTERNI	21
10.5 CAVIDOTTI ESTERNI	26
10.6 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT	26
10.7 TIPOLOGIA DI SCAVO	27
10.8 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B GENERATO DAI CAVIDOTTI ESTERNI ALL' AREA D' IMPIANTO	28
11. CONCLUSIONI	32

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE.	8
Figura 2 – Valori della Distanza di prima approssimazione per una cabina di consegna con trasformatore.	16
Figura 3 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.	18
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.	19
Figura 5 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT	20
Figura 6 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto.....	21
Figura 7 – Layout dell'impianto con indicazione dei cavidotti interni.....	22
Figura 8 – Campo di induzione magnetica B (μ T) generato dal cavidotto interno MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.....	24
Figura 9 – Campo di induzione magnetica B (μ T) generato dal cavidotto interno MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.....	25
Figura 10– Caratteristiche tecniche del cavo in MT esterno all' area d'impianto	27
Figura 11– Sezioni tipiche degli scavi dei cavidotti in MT esterni	28
Figura 12– Inquadramento su ortofoto percorso cavidotto	29
Figura 13 – Campo di induzione magnetica B (μ T) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità: CC-CP	30
Figura 14 – Campo di induzione magnetica B (μ T) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità: CC-PALO	31

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Limiti della normativa italiana sull'esposizione a campi elettromagnetici a 50 Hz, indicati nel DPCM dell'8 Luglio 2003.....	10
Tabella 2 – Induzione magnetica B generata da comuni elettrodomestici a 50 Hz.	11
Tabella 3 – Caratteristiche tecniche dell'impianto	13
Tabella 4 – DPA delle cabine di trasformazione.	15
Tabella 5 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale.	24
Tabella 6 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale.	26
Tabella 7 - Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale: CC-CP	30

Tabella 8– Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale: CC-PALO	32
--	----

1. OGGETTO DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha lo scopo di descrivere i possibili campi elettromagnetici generati dall'impianto fotovoltaico e dalle opere di connessione alla rete in MT di E-Distribuzione, da realizzare nel territorio comunale di Sulmona nella regione Abruzzo, 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) alla cabina di consegna (denominata CC);
- in MT a 20 kV, esterno all'area d'impianto, che collegano la cabina di consegna alla cabina primaria "SULMONA CITTA'", e alla linea aerea esistente denominata MT BUGNARA, di proprietà della società E-Distribuzione.

Si rimanda alla Relazione tecnica degli impianti elettrici *REL_02 Relazione tecnica elettrica*, 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.

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

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

dalle equazioni di Maxwell, che descrivono la propagazione, riflessione e assorbimento dei campi elettromagnetici in tutti i mezzi, tra cui anche i tessuti biologici. In particolare, lo studio di possibili effetti legati all'esposizione a campi elettromagnetici è affrontato da una disciplina scientifica che prende il nome di bio-elettromagnetismo, che in sintesi è basata sull'analisi di due aspetti:

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

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

Il parametro di maggior interesse è la frequenza, poiché campi a bassa frequenza agisce sui sistemi biologici secondo meccanismi sostanzialmente diversi da quelli ad alta frequenza. Nel caso della bassa frequenza, come quello di elettrodotti a 50 Hz quali quello in esame, è possibile dimostrare che campi elettrici e magnetici sono sostanzialmente indipendenti (o disaccoppiati), per cui possono essere trattati separatamente.

2.1 I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

Il **campo elettrico** è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. Dal momento che i valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano, l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante. La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.

L'intensità maggiore del campo elettrico in elettrodotti aerei si misura generalmente al centro della campata, ossia nel punto in cui i cavi si trovano alla minore distanza dal suolo. L'andamento e il valore massimo delle intensità dei campi dipenderanno anche dalla disposizione e dalle distanze tra i conduttori della linea. Nel caso di **elettrodotti interrati**, il campo elettrico è ridotto dai rivestimenti dei cavi e soprattutto dall'interramento, tanto che già a brevissima distanza dal cavo il campo è sostanzialmente trascurabile. Si pensi infatti che date le caratteristiche dielettriche del terreno, il piano di terra costituisce un riferimento elettrico equipotenziale, a potenziale nullo. Per tale motivo, il campo elettrico non è generalmente di interesse per la valutazione di effetti biologici legati alla presenza di elettrodotti in bassa frequenza, e le normative che fissano i limiti di esposizione a bassa frequenza sono incentrate sul campo magnetico.

Il **campo magnetico** generato dalla corrente che scorre in un elettrodotto è invece la grandezza di maggiore interesse per la valutazione di possibili effetti biologici. Infatti, si presenta come un'onda di bassa impedenza, quindi in grado di penetrare facilmente all'interno della quasi totalità dei materiali (solo quelli ferromagnetici possono ostacolarla). L'interazione con i tessuti organici si esplica prevalentemente con la generazione di correnti indotte dalle variazioni del campo magnetico

nel tessuto stesso. Quando tali correnti sono superiori a determinate soglie, possono indurre degli effetti acuti dannosi.

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico indotto da un elettrodotto sono principalmente le seguenti:

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

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee interrato. Campi a bassa frequenza sono emessi anche da alcuni strumenti elettromedicali e dalle apparecchiature domestiche o industriali alimentate da energia elettrica.

2.2 EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE

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

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

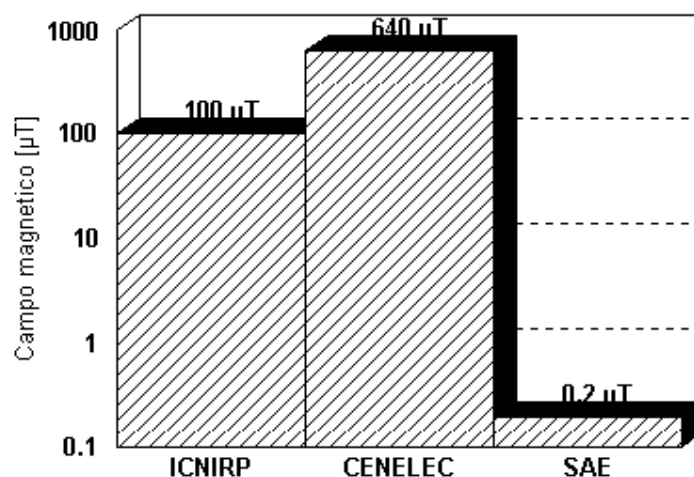


Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE.

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 μT , mentre il CENELEC considera un valore più elevato, pari a 640 μT .

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:

- esposizione:** è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;
- 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 μ 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 μ 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 μ 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 [μ T]
Lim. di esp.	5	100
Valori di att.	-	10
Ob. di qual.	-	3

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

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

Fonte	Induzione magnetica μT	
	vicino	30 cm
Apriscatole	2000	16
Asciugacapelli	2500	7
Aspirapolvere	800	20
Coperta elettrica	30	-
Ferro da stiro	30	0.4
Forno elettrico	1000	20
Frullatore	700	10
HiFi	5	5
Lampada 325 W	2500	-
Lampada alogena	12	12
Lampada a incandescenza	400	4
Caffettiera elettrica	2.5	0.15
Monitor computer	0.25	0.25
Radiosveglia	5	5
Rasoio elettrico	1500	9
Saldatore	800	20
Sega elettrica	1000	25
Trapano	800	16
TV color	500	4
Ventilatore	180	40

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

Successivamente, in esecuzione della Legge 36/2001 e del suddetto il D.P.C.M. 08/07/2003, è stato emanato il D.M. ATTM del 29/05/2008, che ha definito i criteri e la metodologia per la determinazione delle fasce di rispetto, introducendo inoltre il criterio della "distanza di prima approssimazione (DPA)" e delle connesse "aree o corridoi di prima approssimazione".

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

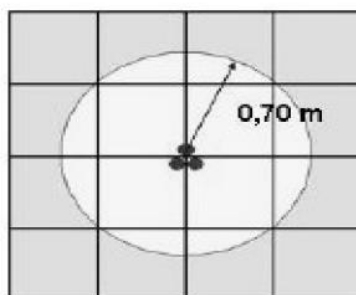
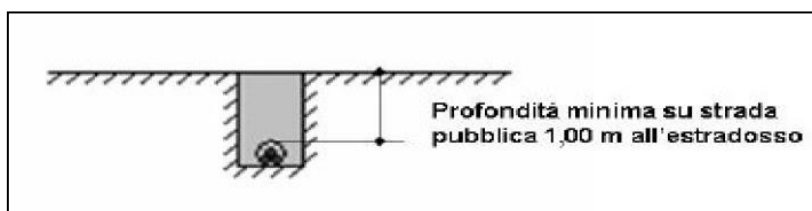
- portata in corrente in servizio normale: è la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento;
- portata di corrente in regime permanente: massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato (secondo CEI 11-17 par. 1.2.05);
- fascia di rispetto: è lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità;
- distanza di prima approssimazione (DPA): per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo; dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di Dpa si trovi all'esterno delle fasce di rispetto.

- Inoltre, è stato definito il valore di corrente da utilizzare nel calcolo come la portata in corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata ed in dettaglio:
- per linee aeree con tensione superiore a 100 kV la portata di corrente in servizio normale viene calcolata ai sensi della norma CEI 11-60;
 - per le linee in cavo la corrente da utilizzare nel calcolo è la portata in regime permanente così come definita nella norma CEI 11-17.

In base al D.M. Ambiente 29.05.2008, restano escluse dall'applicazione della metodologia le linee esercite a frequenze diverse da quella di rete (50 Hz), le linee definite di classe zero e di prima classe secondo il D.I. 21.03.1988 n.449, nonché le linee in AT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree) in quanto, in tutti questi casi, le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanze previste dal D.I. n.449/88 e dal D.M.LL.PP. del 16.01.1991.

In questo caso le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e dalla Norma CEI EN 50341-2-13 "Linee elettriche aeree con tensione superiore a 1 kV in c.a. – Parte 2-13: Aspetti Normativi Nazionali (NNA) per l'Italia (basati sulla EN 50341-1: 2012).

Nell'immagine successiva è riportata la curva di livello dell'induzione magnetica generata da un cavo cordati ad elica, i cui calcoli sono stati effettuati con il modello tridimensionale "Elico" della piattaforma "EMF Tools", che tiene conto del passo d'elica.



Si evince che il cavo da 185 mmq, con un valore di portata di 325 A, interrato ad 1 m di profondità, genera un campo B pari a 3 μ T ad una distanza di circa 0,7 m. Mentre, con lo stesso metodo analitico, un cavo da 240 mmq, con una portata di 441 A, anch'esso interrato ad 1 m di profondità, ha una DPA di circa 0,9 m dal centro del cavo stesso.

4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

L'impianto fotovoltaico di Sulmona, verrà realizzato su strutture ad inseguitori solari monoassiali, del tipo "2-in-portrait", con una potenza nominale installata di circa 9,904 MWp. Di seguito si riporta la tabella riassuntiva con le principali caratteristiche tecniche dell'impianto FV necessarie per la redazione della relazione in oggetto:

IMPIANTO FV "SULMONA"	N. Inverter	N. Stringhe per Inverter	N. stringhe	N. moduli	Potenza sottocampi [kW]	Trafo [kVA]	Cabine di trasformazione	Cabina utente	Cabina di consegna	Cabina di sezionamento	Numero tracker da 48 mod
Sottocampo 1	8	18 str per 6 inv 19 str per 2 inv	146	3504	1997,28	2000	CT1	CU	CC	CS	73
Sottocampo 2	8	18 str per 8 inv	144	3456	1969,92	2000					72
Sottocampo 3	8	18 str per 8 inv	144	3456	1969,92	2000	CT2				72
Sottocampo 4	8	18 str per 8 inv	144	3456	1969,92	2000					72
Sottocampo 5	8	18 str per 6 inv 19 str per 2 inv	146	3504	1997,28	2000	CT3				73
TOT:	40	724	724	17376	9904,32	5	3	1	1	1	362

Tabella 3 – Caratteristiche tecniche dell'impianto

5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Un impianto fotovoltaico è costituito dei seguenti componenti principali:

- moduli fotovoltaici;
- cablaggi in BT;
- inverter;
- cabine di trasformazione;
- cavidotti in MT interni ed esterni al campo FV.

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

5.1 MODULI FOTOVOLTAICI

Per il layout d'impianto sono stati scelti moduli fotovoltaici bifacciali del tipo LR5-72HND-570M, della Longi, della potenza nominale di 570 Wp (o similari) in condizioni STC. Ogni modulo dispone inoltre di diodi di by-pass alloggiati in una cassetta IP65 e posti in antiparallelo alle celle così da salvaguardare il modulo in caso di contro-polarizzazione di una o più celle dovuta ad ombreggiamenti o danneggiamenti. Tali moduli generano correnti continue la cui entità è variabile con la radiazione incidente sulla loro superficie captante. La corrente al punto di massima potenza che attraversa i cavi uscenti da un modulo fotovoltaico è pari a circa 13,00 A, decisamente irrilevante per la generazione di un campo elettromagnetico. Difatti, nella certificazione dei moduli fotovoltaici alla norma CEI 82-8 (IEC 61215) non sono assolutamente menzionate prove di compatibilità elettromagnetica, proprio perché assolutamente irrilevanti.

5.2 MULTI-MPPT STRING INVERTER

Per la conversione dell'energia elettrica prodotta da continua in alternata a 50 Hz sono previsti inverter multistringa, con elevato fattore di rendimento, posizionati a lato delle strutture metalliche degli inseguitori solari. La tipologia dell'inverter utilizzato è il modello della Sungrow SG250HX (o similare) avente una potenza nominale in uscita in AC di 225 kVA. Gli inverter sono apparecchiature costituite per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze. D'altro canto il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo). A questo scopo gli inverter prescelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC): EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, EN 50530, IEC 60068, IEC 61683. Gli inverter, viste le correnti in gioco, non emettono campi elettromagnetici rilevanti dannosi per la salute umana o recanti interferenze con altri componenti elettronici.

6. TRASFORMATORE BT/MT

L'impianto sarà dotato di n.3 cabine di trasformazione, denominate CTi, che conterranno oltre ai quadri elettrici di protezione in BT ed MT, anche dei trasformatori elevatori BT/MT. In particolare la cabina di trasformazione CT3 conterrà un solo trasformatore della potenza nominale di 2000 kVA mentre le cabine di trasformazione CT1 e CT2, ne conterranno n.2 ciascuno della stessa potenza. I trasformatori verranno alloggiati in appositi box metallici prefabbricati di opportune dimensioni oppure direttamente posati all'interno del 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 tensione nominale sul lato BT di un trasformatore di potenza BT/MT all'interno di ogni cabina (tensione in uscita dal quadro BT di collegamento con gli inverter) è pari a 800 V e, tenendo inoltre conto del diametro esterno dei cavi in BT (opportunamente dimensionati usando come riferimento dei cavi (3x1x300) mmq), si ottengono i seguenti risultati:

	Potenza totale trasformatori (kVA)	DPA (m)
Cabina CT3	2000	6,4
Cabine CT1 e CT2	4000	9,3

Tabella 4 – DPA delle cabine di trasformazione.

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 CT2, è posizionata internamente alla recinzione dell'area d'impianto; mentre, per quanto riguarda le altre due cabine CT1 e CT3, la DPA si estende esternamente per circa 3,5 m dalla recinzione: non si riscontrano però ricettori nelle immediate vicinanze delle stesse. Inoltre, tali cabine elettriche non sono permanentemente presidiate durante il periodo di produzione dell'impianto FV. Lo sarebbero solamente in fase di manutenzione o di controllo del personale formato, ma questo avverrà soltanto per brevi periodi di tempo.

7. CABINA CONSEGNA

In relazione alla specifica ubicazione degli impianti elettrici dei locali cabina di consegna, ubicata 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 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.

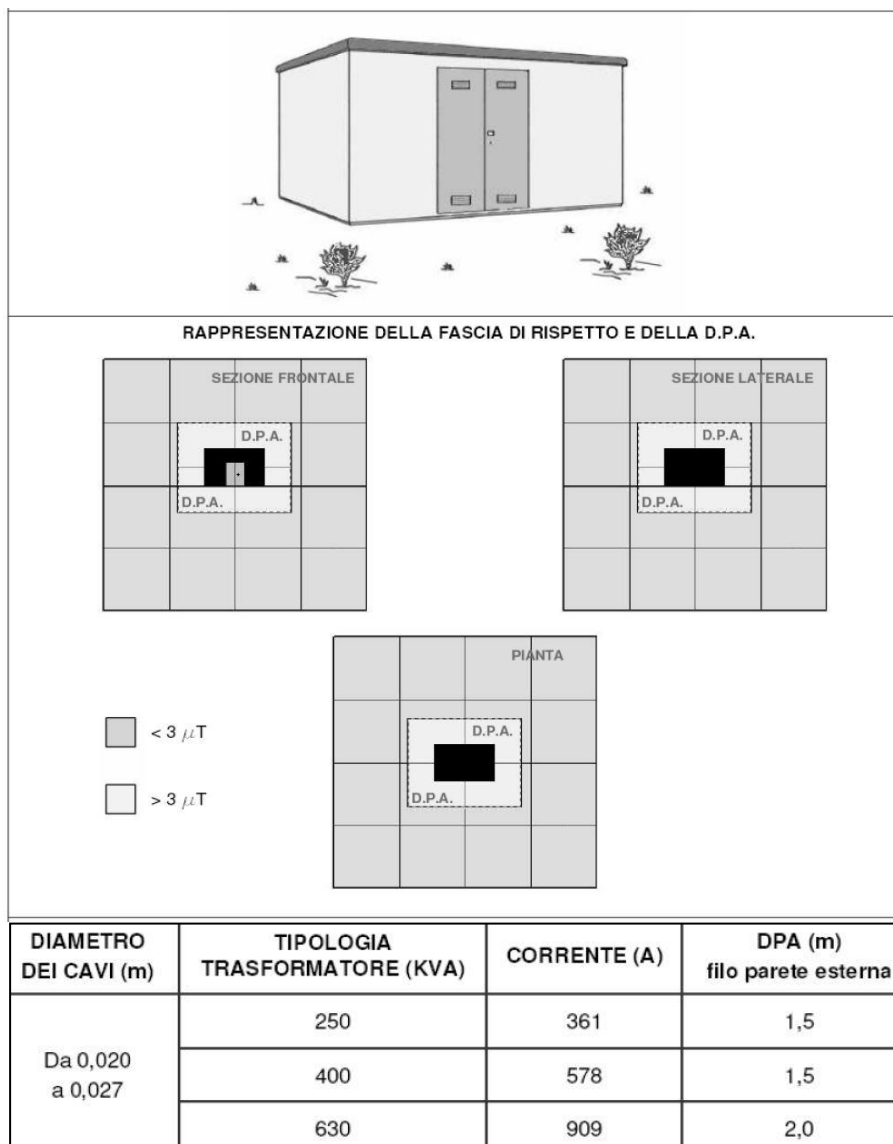


Figura 2 – Valori della Distanza di prima approssimazione per una cabina di consegna con trasformatore.

8. CABINA DI SEZIONAMENTO

Per quanto riguarda il calcolo della DPA per la cabina di sezionamento, valgono le stesse considerazioni fatte nel paragrafo precedente per la cabina di consegna. Tale cabina che verrà ubicata lungo il percorso del cavidotto di connessione tra la cabina di consegna e la CP, distante da possibili ricettori sensibili, avrà lo scopo di sezionare il cavo di collegamento in MT tra le due cabine. Ipotizzando l'installazione di un trasformatore da 630 kVA, la DPA sarà pari a circa 2,0 m.

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 stazione elettrica utente, in quanto esiste la possibilità che il percorso di tali cavidotti sia prossimo ad unità abitative (o ricettori). Sarà dunque necessario verificare che l'esposizione associata sia conforme ai limiti di legge.

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

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

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

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

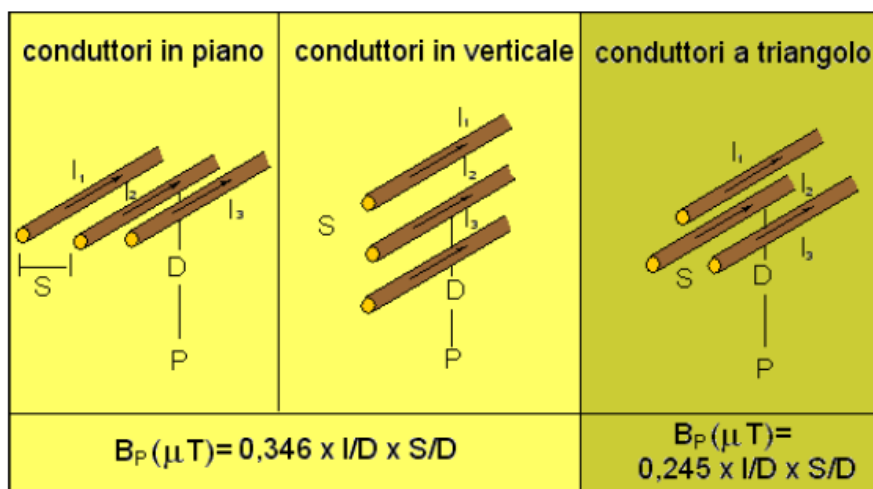


Figura 3 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.

Si osserva dalle relazioni in **Figura 3** che il campo B aumenta linearmente con la corrente di linea I e decade con il quadrato della distanza D dalla linea. Inoltre, il campo B aumenta linearmente con la distanza tra i conduttori S. Ciò rappresenta il motivo per cui cavidotti aerei, che presentano conduttori generalmente più distanti tra loro, generano campi che decadono più lentamente con la distanza rispetto a cavidotti interrati, a parità di corrente. Infine, si noti che la configurazione a triangolo è quella cui si associa minore generazione di campo B, per via dell'opposizione tra le fasi.

Più diffusa un'altra configurazione geometrica della terna, in cui si prevede una struttura elicoidale (cordata) dei conduttori. In tale configurazione la ridotta distanza tra i conduttori e la continua trasposizione delle fasi fornita dalla cordatura (ricordiamo che linee con le fasi trasposte, cioè ottimizzate, abbattano il campo magnetico), fa sì che l'obiettivo di qualità di 3 μT venga raggiunto a distanze brevissime (0.5 – 0.8 m) dall'asse del cavo. Pertanto, per cavidotti con tale configurazione, l'impatto elettromagnetico è da considerarsi sempre trascurabile. Da un punto di vista quantitativo, per avere un'idea del campo generato dai cavidotti interni ad un generico impianto, si considerino tre tipologie di cablaggi con portate in corrente di tre classi: 300 A, 600 A e 900 A. Nell'ipotesi di terna piana, si riporta in **Figura 4** l'andamento del campo B generato al livello del suolo dal passaggio di corrente di 300, 600 e 900 A, supponendo una distanza tra i conduttori pari a 5 cm (tipica di un cavidotto MT) ed un interrimento di 1 m.

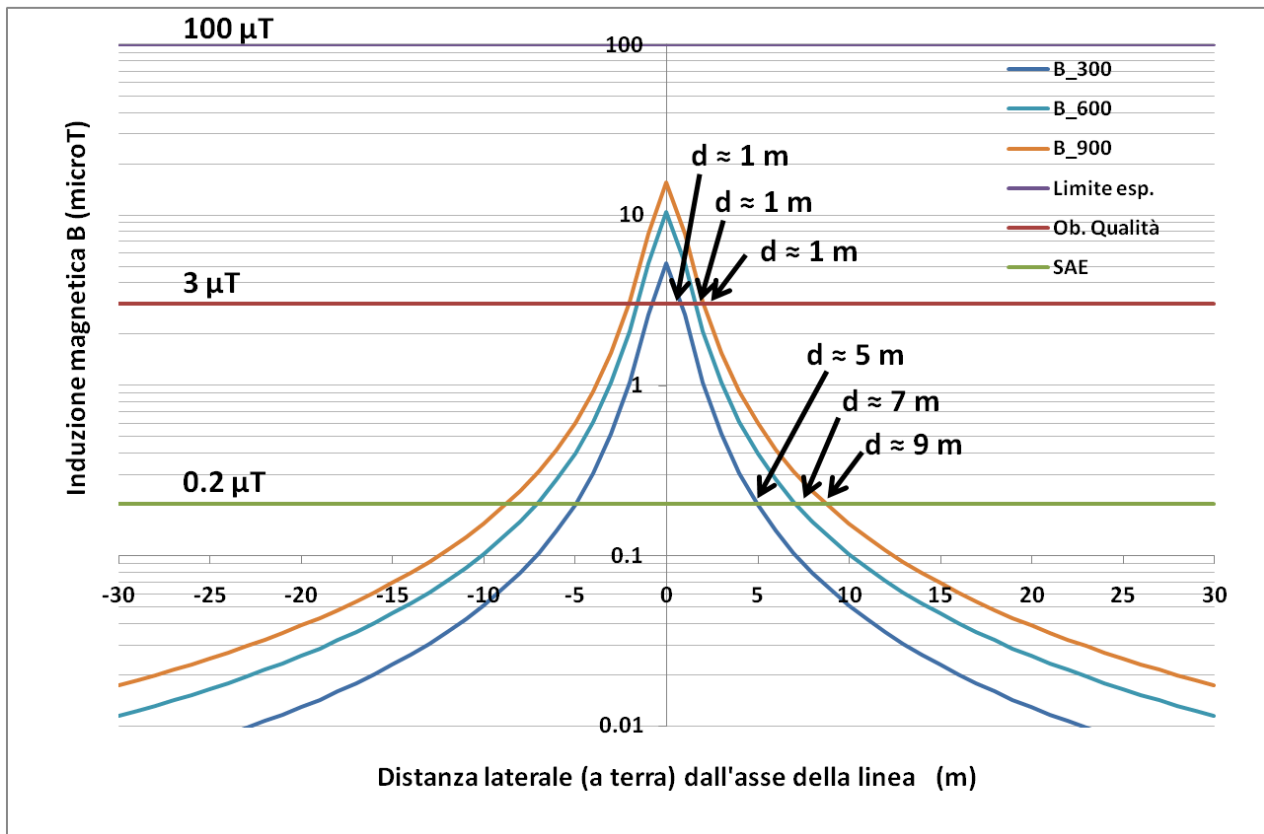


Figura 4 – Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE.

Si osservi dalla stessa figura come il campo magnetico assuma il valore massimo in corrispondenza della minima distanza dei conduttori dal suolo, ossia in corrispondenza (sopra) l'asse della linea, e decada molto rapidamente con la distanza laterale. Nella stessa figura sono indicati i valori di riferimento indicati dalla normativa: limite di esposizione ($100 \mu T$) e Obiettivo di Qualità per la progettazione di nuovi elettrodotti ($3 \mu T$). È anche indicata la Soglia di Attenzione Epidemiologica (SAE) di $0.2 \mu T$, 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 $100 \mu T$ non viene mai raggiunto. L'obiettivo di qualità di $3 \mu T$, 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 $3 \mu T$. Infine, la SAE di $0.2 \mu T$ 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.

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

- percorso dei cavi posizionato sul lato stradale più vicino al ricevitore in esame;
- cavi del tipo non cordati ad elica visibile.

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 le cabine di trasformazione (CTi) alla cabina di consegna (CC), sia dai cavidotti di connessione in MT a 20 kV: tra la cabina di consegna (CC) e la Cabina Primaria SULMONA CITTA' e tra la cabina di consegna al nuovo palo da installare sulla linea aerea MT esistente.

10.1 CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO

10.2 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 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 la cabina di raccolta sarà del tipo ARE4H5(AR)EX (o similare) unipolare, del tipo "air-bag", conforme alle specifiche di e-distribuzione e disposto a trifoglio nello scavo. Si riportano di seguito le caratteristiche del suddetto cavo:

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	peso del cavo	raggio minimo di curvatura	sezione nominale	posa in aria	posa interrata p=1 °C m/W	posa interrata p=2 °C m/W
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation	underground installation p=1 °C m/W	underground installation p=2 °C m/W
(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm ²)	(A)	(A)	(A)
Dati costruttivi / Construction charact. - 12/20 kV						Caratt. elettriche / Electrical charact. - 12/20 kV			
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

Figura 5 – Caratteristiche tecniche del cavo in MT

10.3 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:

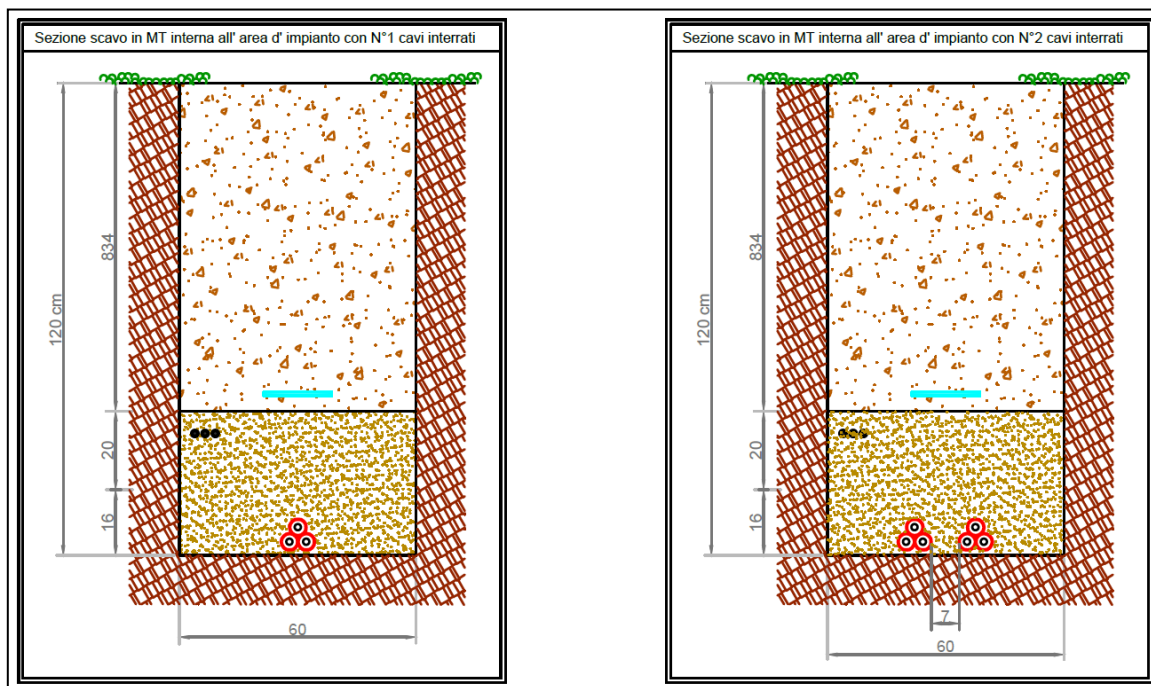


Figura 6 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto

10.4 CAMPO B GENERATO DAI CAVIDOTTI INTERNI

Nella **Figura 7** è riportata l' area d' impianto in cui sono visibili: le cabine di trasformazione (in magenta), la cabina utente (in ciano) e quella di consegna (in rosso), il percorso dei cavidotti interni (in magenta).

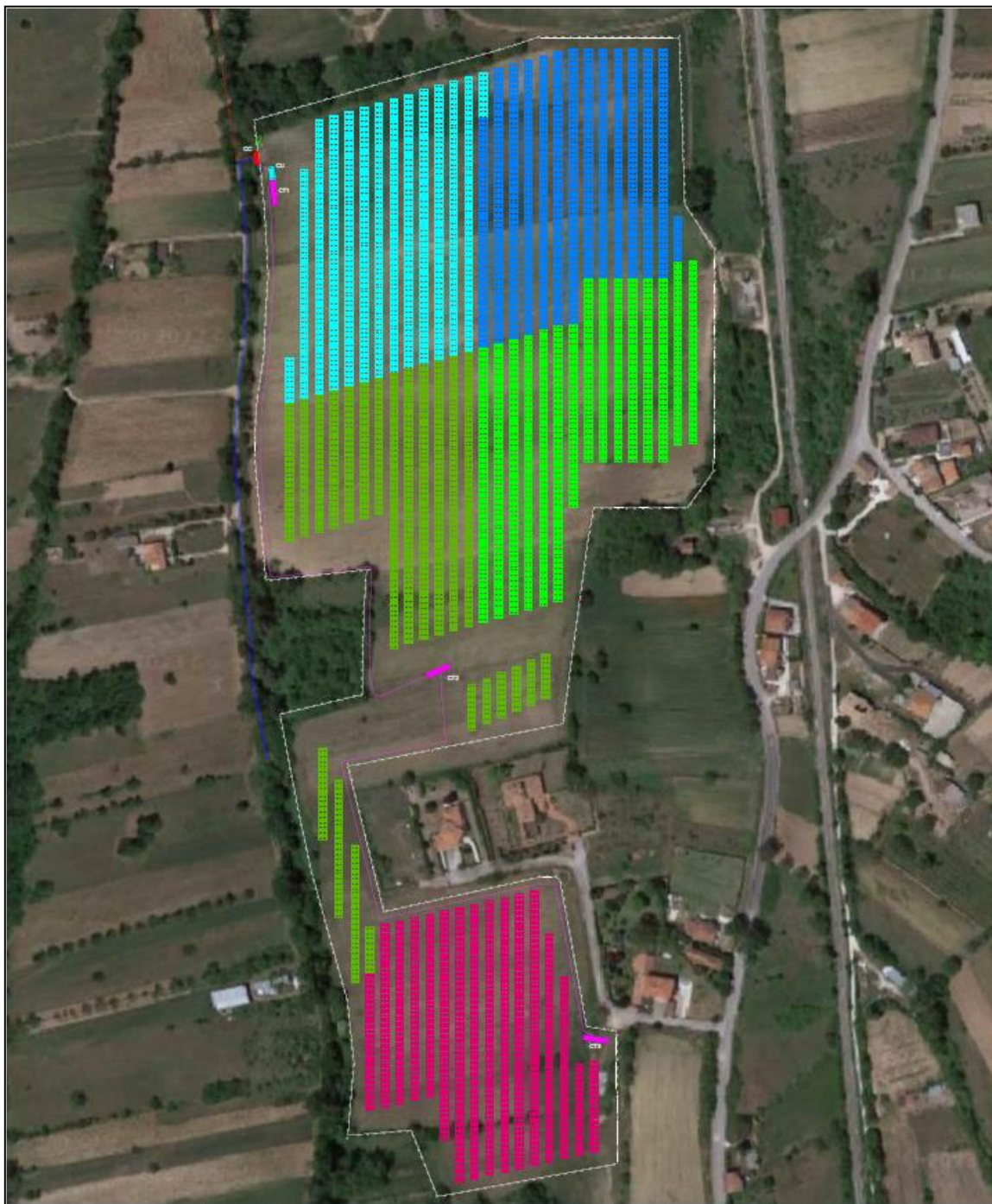


Figura 7 – Layout dell’impianto con indicazione dei cavidotti interni

Nella stessa figura, sono anche visibili sia il cavidotto interrato con doppia terna che collega la cabina di consegna al nuovo palo in MT (in blu) e una porzione del cavidotto di collegamento tra la cabina di consegna e la cabina di sezionamento (in rosso, a nord dell’ area).

- **Calcolo del valore d’induzione B tra la CT3-CT2:**

La cabina di trasformazione CT3 sarà collegata con la CT2 tramite un cavidotto interrato in MT a 20 kV, attraverso un cavo tripolare elicordato ad elica visibile, del tipo ARE4H5(AR)EX (o similare), del tipo “air-bag, di sezione pari a 95 mmq (resistività del terreno pari ad 1°Cm/W, Temperatura 20°C, profondità di posa 1,2 m).

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 B.

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 µT (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 il cavo in esame, il valore della portata è pari a circa 243 A.

Il campo di induzione magnetica B generato dai cavi interrati assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva riportata in **Figura 8**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

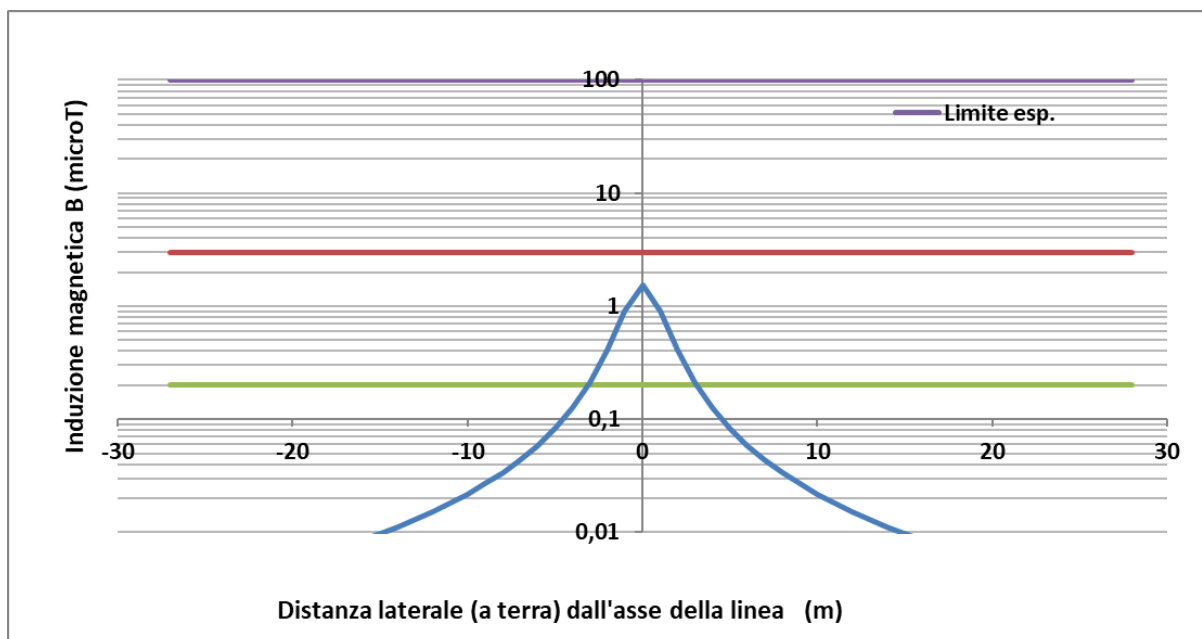


Figura 8 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 5** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 8**. Nel punto 0 che rappresenta il punto in cui si proietta ortogonalmente il cavidotto (posato a 1,2 m di profondità) sul manto stradale, si ha valore di B pari a circa 1,5 μT .

Punti	B(μT)
0	1,53
1	0,90
2	0,40
3	0,21
4	0,13
5	0,08
6	0,06
7	0,04
8	0,03
9	0,03
10	0,02

Tabella 5 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale.

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

- **Calcolo del valore d'induzione B tra la CT2-CT1-CC:**

I collegamenti elettrici in MT tra: la cabina CT2 con la CT1 e quest' ultima con la cabina utente (CU), avverranno attraverso una terna di cavo tripolare cordato ad elica visibile, del tipo ARE4H5(AR)EX (o similare), con protezione "air-bag, avente un valore di sezione pari a 185 mmq (resistività del terreno pari ad 1°Cm/W, Temperatura 20°C, profondità di posa 1,2 m). Per il calcolo del campo B è stato considerato lo stesso procedimento del caso precedente. Il campo di induzione magnetica B generato dai cavi interrati, aventi un valore di portata pari a circa 350 A, 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.

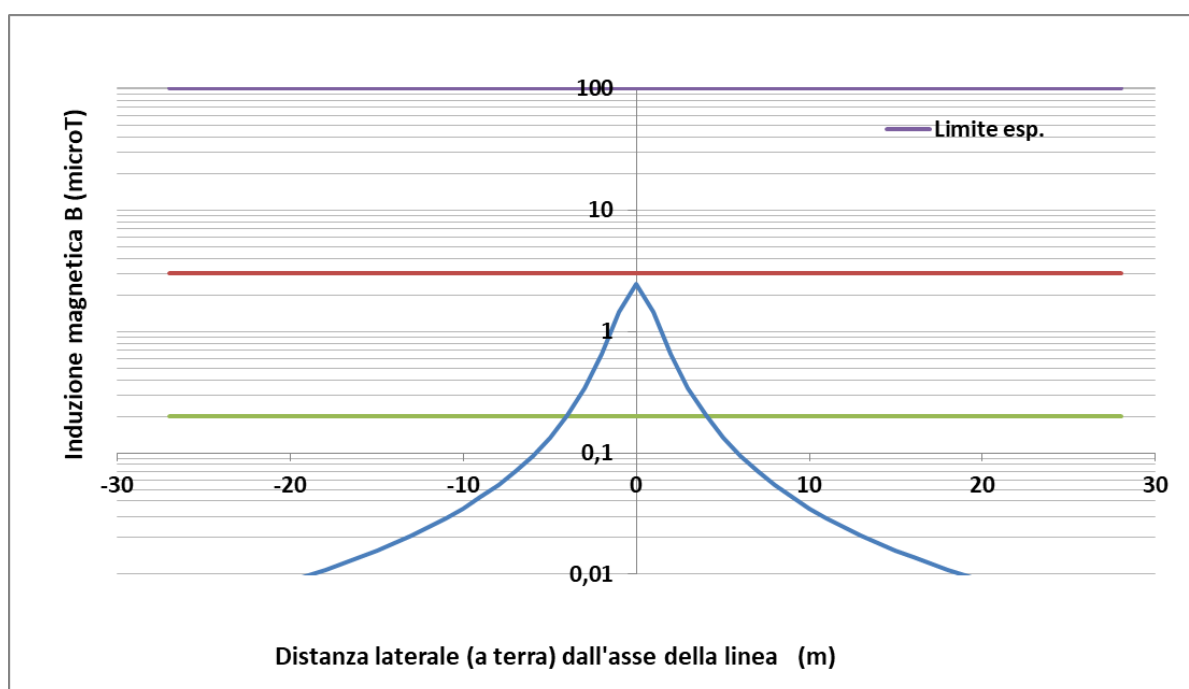


Figura 9 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 6** nella quale sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 9**, si evince che sul manto stradale il valore di B generato dalla corrente che circola nel cavo, assume un valore sempre inferiore all'obiettivo di qualità. Si può pertanto concludere che tale cavidotto non influisce elettromagneticamente su alcun riceettore presente nelle vicinanze del tracciato.

Punti	B(μT)
0	2,5
1	1,5
2	0,65
3	0,34
4	0,20
5	0,13
6	0,09
7	0,07
8	0,05
9	0,04
10	0,03

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

10.5 CAVIDOTTI ESTERNI

10.6 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT

Anche in questo caso, la scelta della sezione del conduttore dipende dalla corrente d'impiego e dalla portata effettiva del cavo in relazione al suo regime di funzionamento ed alle sue condizioni di installazione (CEI 11-17). Il collegamento in MT tra la cabina di consegna e la CP e la cabina di consegna con il palo in MT su linea aerea esistente, sarà realizzato in conformità allo schema elettrico unifilare allegato al seguente progetto, mediante cavi trifase, in corda di alluminio, del tipo ARE4H5EX (o similare) cordati ad elica visibile, disposti a trifoglio nello scavo, aventi ciascuno una sezione nominale di 185 mmq ed interrati con protezione meccanica aggiuntiva (tubo con diametro minimo di 160 mm) ad una profondità di circa 1,2 m dal livello del suolo.

Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche del cavo in questione:

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	massa indicativa del cavo	raggio minimo di curvatura	sezione nominale	portata di corrente in aria	posa interrata a trifoglio	
								p=1 °C m/W	p=2 °C m/W
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	approximate weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation	underground installation trefoil	
								p=1 °C m/W	p=2 °C m/W
(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm²)	(A)	(A)	(A)
Dati costruttivi / Construction charact. - 12/20 kV						Caratt. elettriche / Electrical charact. - 12/20 kV			
50	8,2	19,9	28	1730	550	50	186	175	134
70	9,7	20,8	29	1940	570	70	230	214	164
95	11,4	22,1	30	2230	590	95	280	256	197
120	12,9	23,2	32	2510	630	120	323	291	223
150	14,0	24,3	33	2800	660	150	365	325	250
185	15,8	26,1	35	3260	700	185	421	368	283
240	18,2	28,5	37	3930	740	240	500	427	328
300	20,8	31,7	42	4730	820	300	578	483	371

Figura 10– Caratteristiche tecniche del cavo in MT esterno all' area d'impianto

10.7 TIPOLOGIA DI SCAVO

I cavi saranno interrati, protetti da tubo in PVC opportunamente dimensionato con diametro minimo di 58.1 mm, ed installati normalmente in una trincea della profondità di 1,2 m, con disposizione delle fasi a trifoglio. Nella figura successiva sono rappresentate le tipologie di scavi in relazione al tipo di percorso stradale:

- tra la cabina di consegna e la cabina di sezionamento e tra quest' ultima con la CP, n.1 terne di cavi tripolari da 185 mmq;
- tra la cabina di consegna e la linea aerea esistente, n.2 terne di cavi tripolari da 185 mmq.

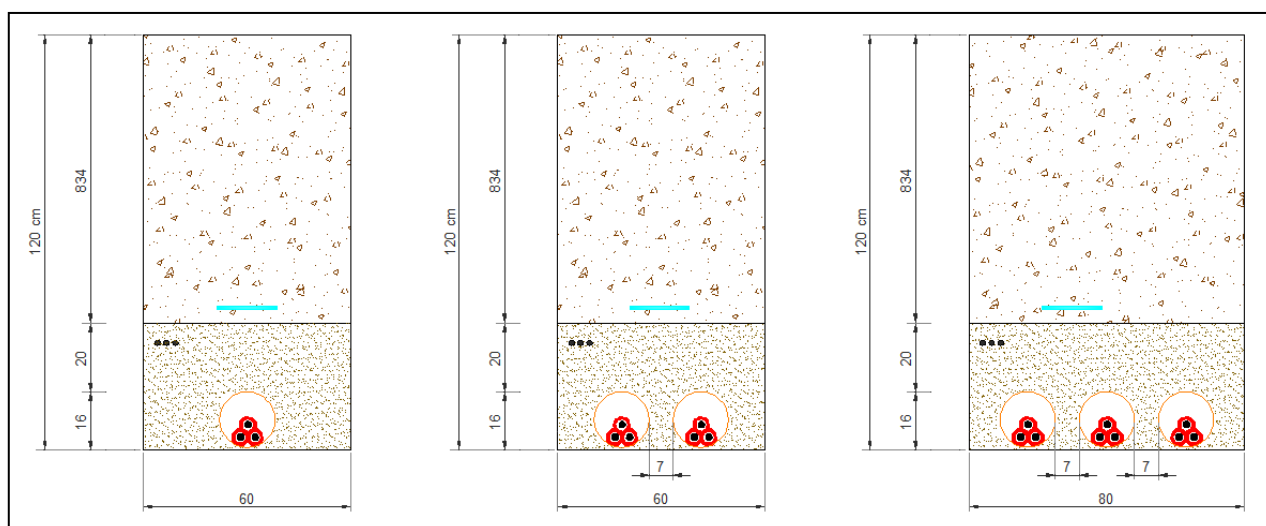
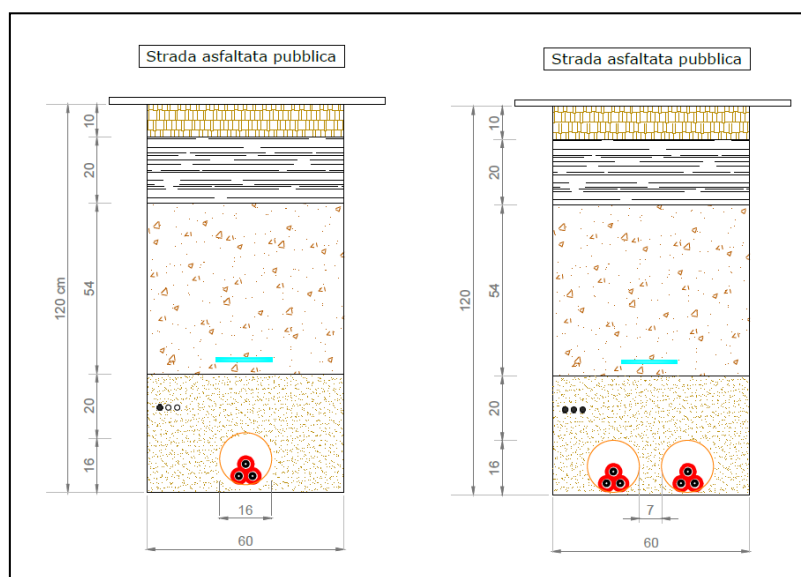




Figura 11– Sezioni tipiche degli scavi dei cavidotti in MT esterni

10.8 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B GENERATO DAI CAVIDOTTI ESTERNI ALL' AREA D' IMPIANTO

- **Calcolo del valore d'induzione B tra la CC e la CP:**

Dal quadro elettrico in MT a 20 kV in uscita dalla cabina di consegna, il cavidotto interrato trasporterà l'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico, fino alla Cabina Primaria “Sulmona Città”, distante circa 4.750 m su percorso stradale, visibile nella **Figura 12** successiva. Tale cavidotto sarà composto da una terna di cavi della sezione di 185 mmq tipo ARE4H5EX (o similare), cordati ad elica visibile, disposti a trifoglio nello scavo e protetti da tubazione, la cui portata è pari a circa 368 A, come da **Figura 10**.



Figura 12– Inquadramento su ortofoto percorso cavidotto

Il campo di induzione magnetica B generato dal cavo interrato a 1,2 m di profondità (resistività del terreno pari ad 1°Cm/W , Temperatura 20°C) assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva riportata in **Figura 13**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

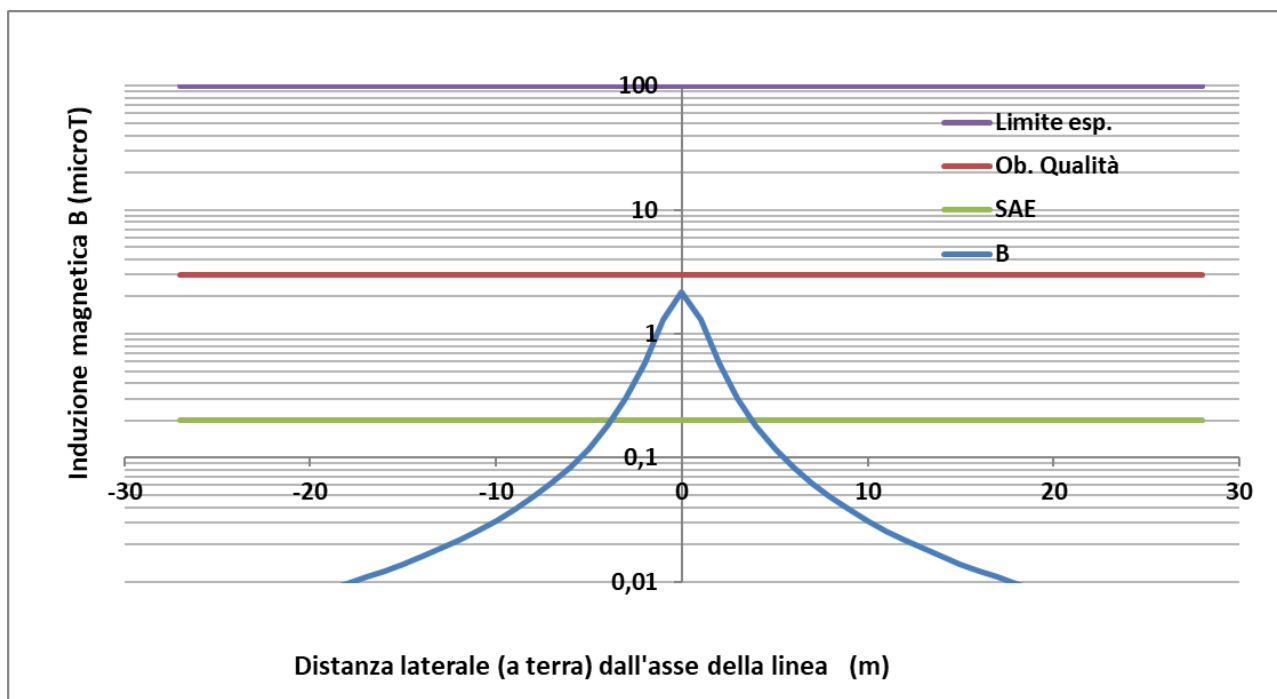


Figura 13 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità: CC-CP

Nella **Tabella 7** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 13**. Dal grafico e dalla tabella si evince che il campo B assume sempre valori inferiori all’ obiettivo di qualità.

Punti	$B(\mu\text{T})$
0	2,19
1	1,29
2	0,58
3	0,30
4	0,18
5	0,12
6	0,08
7	0,06
8	0,05
9	0,04
10	0,03

Tabella 7 - Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale: CC-CP

- **Calcolo del valore d'induzione B tra la CC e la linea MT BUGNARA:**

Come previsto dalla STMG, sarà anche realizzata una richiusura in entra-esce, sempre in cavo interrato, tra la Cabina di Consegna e la linea MT BUGNARA, con uno scavo avente una lunghezza di circa 380 m. Il cavidotto sarà composto da due terne di cavi della sezione di 185 mmq tipo ARE4H5EX (o similare) unipolare del tipo "air-bag, cordati ad elica visibile, disposti a trifoglio nello stesso scavo, aventi ciascuno una sezione nominale di 185 mmq.

Per il calcolo del campo magnetico generato si considera la portata di ciascun cavo pari a circa 368 A, come da Figura 10 e che la direzione delle correnti che circolano sui due cavi sia la stessa. Nella **Figura 15** successiva si riporta l'andamento del campo B e nella **Tabella 8**, i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento al calcolo del campo magnetico effettuato.

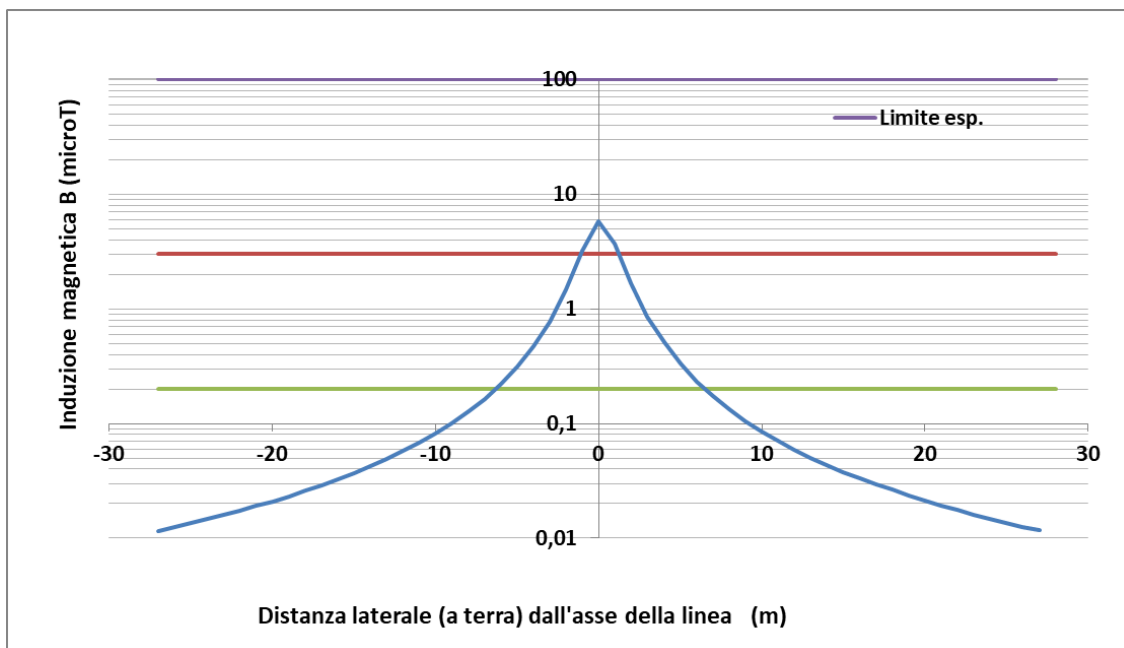


Figura 14 – Campo di induzione magnetica B (μ T) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto fotovoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità: CC-PALO

Punti	B(μ T)
0	4,4
1	2,6
2	1,16
3	0,61
4	0,36
5	0,24
6	0,17
7	0,13
8	0,10
9	0,08
10	0,06

Tabella 8– Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale: CC-PALO

Sul punto 0, che rappresenta il punto in cui si proietta ortogonalmente il cavidotto (ad 1,2 metri di profondità) sul manto stradale, il valore massimo del campo B è circa 4,4 μ T. Il valore dell’obiettivo di qualità si raggiunge ad una distanza dal punto 0, pari a circa 0,8 m, distanza per la quale non si individua alcun ricettore ubicato nelle vicinanze dello scavo.

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 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 dai cavidotti interrati in MT esterni all’impianto a 20 kV, sono risultati trascurabili. 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 il campo B risulterà più basso di quello prodotto dalla portata.

Si specifica comunque che nel calcolo non è stato possibile tenere conto delle effettive caratteristiche del terreno, informazione necessaria in sede di progetto esecutivo.

I tecnici

Ing. Luigi Imperato



Arch. Gianluca Francavilla

