

Regione Basilicata



Comune di Rapolla



Comune di Venosa



PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN CLUSTER DI N. 2 IMPIANTI AGRIVOLTAICI DENOMINATI "RAPOLLA" E "VENOSA" DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI PICCO PARI A 29.353,68 kWp DA REALIZZARSI IN AGRO DI RAPOLLA E VENOSA (PZ) E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE UBICATE ANCHE NEL COMUNE DI MELFI (PZ)

TITOLO

Relazione di Impatto Elettromagnetico Impianto "Rapolla"

PROGETTAZIONE	CONSULENZA	PROPONENTE
 SR International S.r.l. Via di Monserrato 152 - 00186 Roma Tel. 06 8079555 - Fax 06 80693106 C.F e P.IVA 13457211004  Ing. Andrea Bartolazzi		 ATON 36 S.r.l. Via Ezio Maccani, 54 - 38121 Trento aton36.srl@pec.it C.F e P.IVA 02729140224

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	26/03/2024	De Chicchis	Ing. Bartolazzi	ATON 36 S.r.l.	Relazione di Impatto Elettromagnetico

Codice Elaborato	Scala	Formato
PSR-GRM-RIE-R	-	A4

INDICE

INDICE DELLE FIGURE	2
1. OGGETTO DEL DOCUMENTO	4
2. INTRODUZIONE	4
2.1 I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI	5
2.2 EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE	6
3. RIFERIMENTI LEGISLATIVI NAZIONALI	8
4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO	12
5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO	12
5.1 MODULI FOTOVOLTAICI.....	13
5.2 MULTI-MPPT STRING INVERTER	13
6. TRASFORMATORE BT/AT	13
7. CAVIDOTTI IN ALTA TENSIONE	14
8. ESPOSIZIONE POST-OPERAM DEL PROGETTO.....	17
9. CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO	17
9.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN AT	17
9.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO	18
9.1.3 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI.....	19
9.2 CAVIDOTTO ESTERNO DI CONNESSIONE TRA LA CABINA DI RACCOLTA E LA STAZIONE ELETTRICA UTENTE	22
9.2.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN AT	24
9.2.2 TIPOLOGIA DI SCAVO	25
9.2.3 PERCORSO DEL CAVIDOTTO E RICETTORI.....	26
9.2.4 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B	29
9.3 CAVIDOTTO ESTERNO DI CONNESSIONE TRA LA STAZIONE ELETTRICA UTENTE E L' AMPLIAMENTO DELLA STAZIONE DI "MELFI"	31
10. 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 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.	15
Figura 3 – 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 4 – Caratteristiche tecniche del cavo in AT.....	17
Figura 5 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in AT interni all'area d'impianto	19
Figura 6 – Layout dell'impianto con indicazione dei ricettori potenzialmente sensibili	20
Figura 7 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno AT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità-R1	21
Figura 8 - Connessione alla RTN: confine catastale (in magenta), percorso del cavidotto (in rosso), futuro ampliamento della SE (in verde)	23
Figura 9 - Inquadramento su ortofoto della suddivisione del tracciato del cavidotto	24
Figura 10 – Caratteristiche tecniche del cavo in AT da 800 mmq.....	25
Figura 11 – Sezione di scavo per il cavidotto interrato in AT esterno all'area d'impianto	25
Figura 12 – Materiali di riempimento per scavo cavi esterni.....	26
Figura 13 – Inquadramento su ortofoto del percorso del cavidotto e dei relativi recettori ..	27
Figura 14 – Inquadramento su ortofoto-posizione del recettore R1	28
Figura 15 – Inquadramento su ortofoto-posizione del recettore R2.....	28
Figura 16 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto singolo di evacuazione AT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.	29
Figura 17 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione AT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.	30

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Limiti della normativa italiana sull’esposizione a campi elettromagnetici a 50 Hz, indicati nel DPCM dell’8 Luglio 2003.	10
Tabella 2 – Induzione magnetica B generata da comuni elettrodomestici a 50 Hz.	10
Tabella 3 – Caratteristiche tecniche dell’impianto	12
Tabella 4 – DPA Cabine di trasformazione.	14
Tabella 5 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per il ricevitore R1.	22
Tabella 6 - Distanze tra i ricevitori dislocati lungo il percorso del cavidotto di evacuazione..	29
Tabella 7 - Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per i ricevitori lungo il percorso del cavidotto di evacuazione singolo	30
Tabella 8 - Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per i ricevitori lungo il percorso del cavidotto di evacuazione.....	31

1. OGGETTO DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha lo scopo di descrivere i possibili campi elettromagnetici generati dall'impianto agrivoltaico e dalle opere di connessione alla rete in AT di Terna SpA, da realizzare nei territori comunali di Rapolla e Melfi nella regione Basilicata, 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 AT a 36 kV, interne al campo agrivoltaico, che collegano le cabine di trasformazione BT/AT (denominate CTi) alla cabina di cabina di raccolta (denominata CDR);
- in AT a 36 kV, esterno all'area d'impianto, che collega la CDR con la stazione elettrica utente (SEU);
- in AT tra la SEU ed il quadro in ingresso della SE della RTN nel territorio comunale di Melfi.

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

Le opere di connessione prevedono il collegamento al futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/150 kV denominata "Melfi", alla sezione di 36 kV, distante circa 9,8 km in linea d'aria dall'impianto "Rapolla". Di conseguenza, si prevede la realizzazione di una nuova stazione elettrica utente, SEU, situata nelle immediate vicinanze dell'ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/150 kV.

La SEU includerà anche uno scomparto per l'arrivo del cavo proveniente dall'altro impianto agrivoltaico, denominato "Venosa", appartenente alla medesima società responsabile del progetto "Rapolla". Infine, anche il cavidotto in uscita dalla SEU che si collegherà con la SE, sarà condiviso dai due impianti.

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 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 Absorbtion 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.

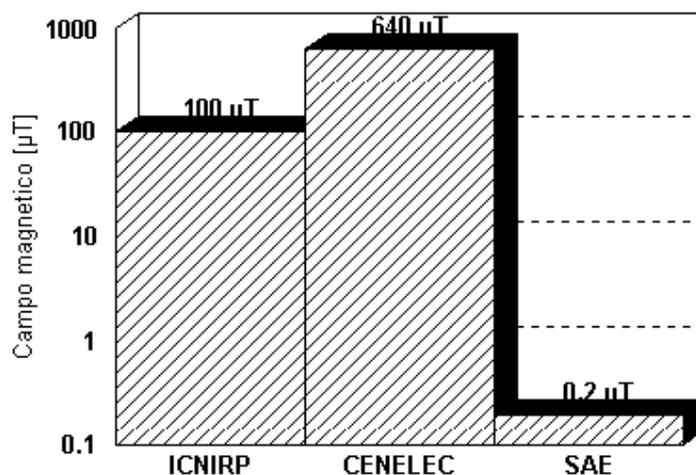


Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE

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 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);
- valore di attenzione:** è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate per le finalità di cui

all'articolo 1, comma 1, lettere b) e c). Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge;

d) **obiettivi di qualità** sono:

- 1) i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali secondo le competenze definite dall'articolo 8;
- 2) i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato secondo le previsioni di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), ai fini della progressiva mitigazione dell'esposizione ai campi medesimi;

e) **elettrodotti**: è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;

f) **esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici**: è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;

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

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

Articolo 3

Limiti di esposizione e valori di attenzione

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

Articolo 4

Obiettivi di qualità

Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti

operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di **3 μT** per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. Riassumendo dunque i limiti di legge in vigore in Italia relativi all'esposizione a campi elettromagnetici alla frequenza di 50 Hz sono quelli riportati in **Tabella 1**.

Campi a 50 Hz

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

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

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

Fonte	Induzione magnetica 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".

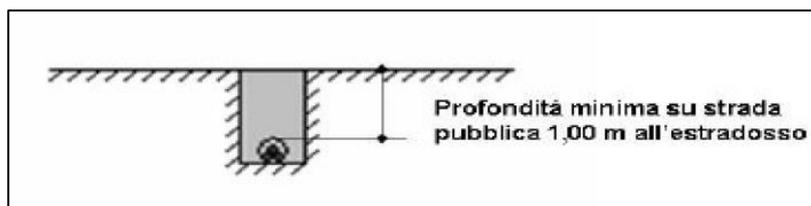
In particolare, si ricorda che con esso sono state date le seguenti definizioni:

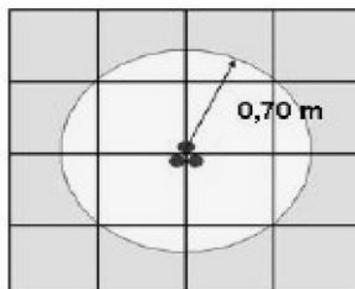
- portata in corrente in servizio normale: è la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento;
- portata di corrente in regime permanente: massimo valore della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

L'impianto agrivoltaico di Rapolla, verrà realizzato su strutture ad inseguitori solari monoassiali, del tipo "1-in-portrait", con una potenza nominale installata di circa 14,811 MWp. Di seguito si riporta la tabella riassuntiva con le principali caratteristiche tecniche dell'impianto FV necessarie per la redazione della relazione in oggetto:

Potenza nominale dell'impianto [MWp]	14,811
Potenza modulo fotovoltaico monocristallino [Wp]	590
Numero di moduli totali	25.104
Area d'impianto recintata [ha]	18,94
N° cabine di trasformazione	4
N° cabine di raccolta	1
Lunghezza cavo esterno in AT di collegamento alla SEU [m]	12.500
Lunghezza totale cavi interni in AT AC [m]	850

Tabella 3 – Caratteristiche tecniche dell'impianto

5. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO

Un impianto agrivoltaico è costituito dei seguenti componenti principali:

- moduli fotovoltaici;
- inverter;
- trasformatori BT/AT;
- cablaggi in BT;
- cavidotti in AT interni ed esterni al campo FV.

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

5.1 MODULI FOTOVOLTAICI

Per il layout d'impianto sono stati scelti moduli fotovoltaici bifacciali del tipo LR5-72HGD della Longi, della potenza nominale di 590 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 13,58 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-H1 (o similare) avente una potenza nominale in uscita in AC di 300 kW e tensione nominale fino a 1500 V.

Gli inverter sono apparecchiature costituite per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze. D'altro canto il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo). A questo scopo gli inverter prescelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC): EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, EN 50530, IEC 60068, IEC 61683. Gli inverter, viste le correnti in gioco, non emettono campi elettromagnetici rilevanti dannosi per la salute umana o recanti interferenze con altri componenti elettronici.

6. TRASFORMATORE BT/AT

L'impianto sarà dotato di n.4 trasformatori di potenza (tutti di potenza 4000 kVA), che hanno lo scopo di elevare la tensione in uscita dagli inverter in BT, in alta tensione a 36 kV.

I trasformatori (uno per ogni sottocampo), verranno alloggiati o in appositi box metallici prefabbricati di opportune dimensioni o senza, all'esterno della rispettiva cabina di trasformazione (CTi). Per la determinazione del campo B generato dal trasformatore, si è fatto riferimento al DM del 29/05/2008, cap.5.2.1, il quale descrive il calcolo dell'ampiezza della Distanza di Prima Approssimazione per la valutazione dei campi elettromagnetici indotti (DPA) dai componenti elettrici di una cabina con trasformatore. In tal caso, il campo B è riferito alla corrente del lato in bassa tensione del trasformatore, tenendo conto di una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dallo stesso.

Per la determinazione dunque 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/AT 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 (kVA)	DPA (m)
Cabina	4000	8,7

Tabella 4 - DPA Cabine di trasformazione.

La circonferenza avente il raggio pari al valore della DPA appena calcolata, centrata sul trasformatore, è posizionata interamente all'interno della recinzione dell'area d'impianto. Inoltre, le zone d'impianto adiacenti al trasformatore, 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. CAVIDOTTI IN ALTA 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 CDS, 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 alta 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 2** le equazioni che descrivono l'andamento dell'induzione magnetica B con la distanza dal cavidotto, nel caso di tre possibili configurazioni geometriche della terna.

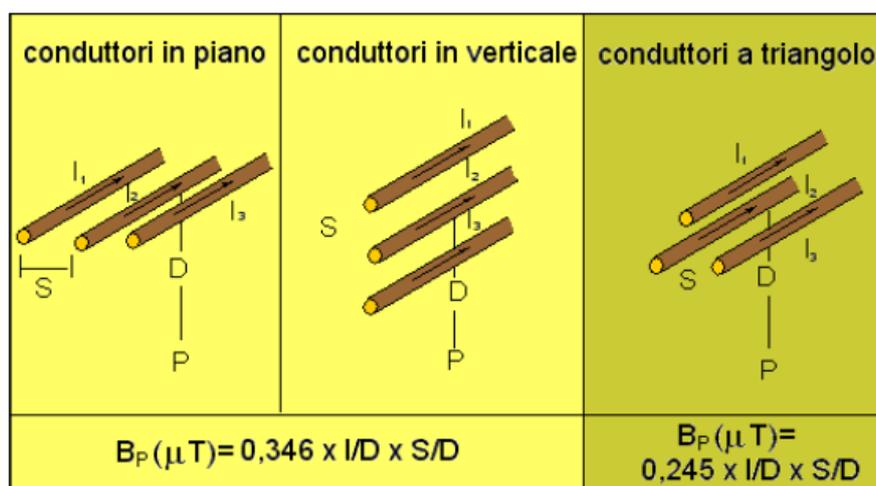


Figura 2 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.

Si osserva dalle relazioni in **Figura 2** 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 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 3** 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 ed un interramento di 1 m.

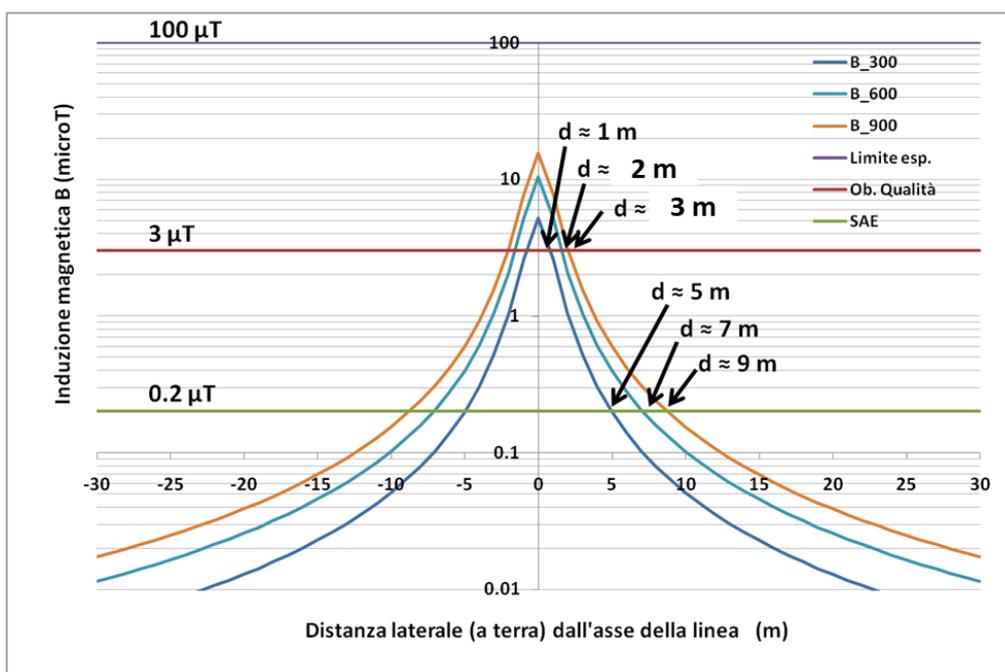


Figura 3 – Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE.

Si osservi dalla stessa figura come il campo magnetico assuma il valore massimo in corrispondenza della minima distanza dei conduttori dal suolo, ossia in corrispondenza (sopra) l'asse della linea, e decada molto rapidamente con la distanza laterale. Nella stessa figura sono indicati i valori di riferimento indicati dalla normativa: limite di esposizione (100 μT) e Obiettivo di Qualità per la progettazione di nuovi elettrodotti (3 μT). È anche indicata la Soglia di Attenzione Epidemiologica (SAE) di 0.2 μT , seppure essa non sia un limite di legge. Con riferimento a tali valori, si sono indicate le distanze oltre le quali il campo B è al di sotto di tali limiti. In particolare, il limite di esposizione di 100 μT non viene mai raggiunto. L'obiettivo di qualità di 3 μT , che è il principale riferimento normativo per i cavidotti del presente progetto, è superato solo nelle immediate vicinanze del cavidotto, ma già entro 1 m di distanza il campo B è inferiore a 3 μT . Infine, la SAE di 0.2 μT è raggiunta a distanza di 5, 7 e 9 m. In generale, si può osservare come tali distanze siano molto ridotte, per via della bassa distanza tra i conduttori e delle correnti non molto elevate. Già in questa fase appare quindi evidente come l'esposizione legata ai cavidotti di impianto non comporti situazioni critiche dal punto di vista

elettromagnetico, salvo casi particolari.

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 ricettore in esame;
- cavi del tipo non cordati ad elica visibile.

8. 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 AT a 36 kV che collegano le cabine di trasformazione (CTi) alla cabina CDR, sia dal cavidotto di connessione in AT a 36 kV, tra la CDR e la CDS e tra quest'ultima con la SE della RTN di proprietà di Terna S.p.A. e localizzata nel territorio comunale di Melfi.

9. CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO

9.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN AT

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 AT saranno realizzati in conformità allo schema elettrico unifilare mediante cavi in alluminio con tensione d'isolamento 36 KV. I cavidotti interni in AT saranno interrati ad una profondità di circa 1,2 m dal livello del suolo.

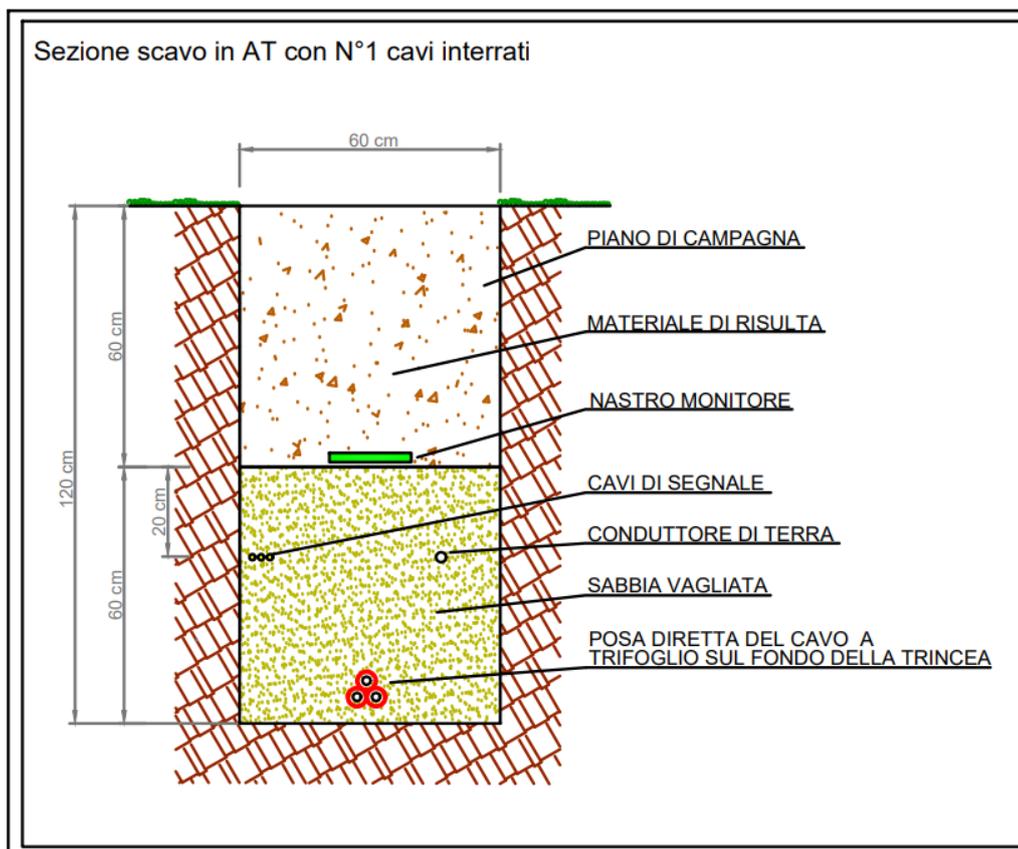
Il cavo utilizzato in AT per la connessione tra le cabine di trasformazione e le cabine utenti sarà del tipo ARE4H5EEX (o simile) unipolare, del tipo "air-bag", disposto a trifoglio nello scavo. Si riportano di seguito le caratteristiche del suddetto cavo:

ARE4H5EEX 20,8/36kV 3x1x... SK2															
Type	Conductor diameter nominal	Insulation thickness min.	Insulation diameter nominal	Sheaths thickness nominal	Phase diameter approx	Cable diameter approx	Cable weight indicative	Electrical resistance of conductor		X at 50 Hz	C	Current capacity		Short circuit current	
								at 20 °C - d.c. max	at 90 °C - a.c.			in ground at 20 °C	in free air at 30 °C	conductor Tmax 250°C	screen Tmax 150°C
n° x mm ²	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	μF/km	A	A	kA x 1,0 s	kA x 0,5 s
3x1x95	11,5	8,1	29,5	2,0+2,0	42,5	91,7	4.210	0,320	0,411	0,138	0,168	223	290	9,0	2,1
3x1x120	13,1	7,9	30,7	2,0+2,0	43,8	94,4	4.550	0,253	0,325	0,132	0,185	253	334	11,3	2,2
3x1x150	14,3	7,6	31,3	2,0+2,0	44,4	95,8	4.800	0,206	0,265	0,127	0,201	282	377	14,2	2,2
3x1x185	16,0	7,4	32,6	2,0+2,0	45,8	98,7	5.220	0,1640	0,211	0,122	0,221	320	432	17,5	2,3
3x1x240	18,5	7,1	34,5	2,0+2,0	47,8	103,0	5.890	0,1250	0,161	0,116	0,252	370	510	22,7	2,3
3x1x300	20,7	6,8	36,1	2,0+2,0	49,5	106,6	6.490	0,1000	0,129	0,111	0,283	417	584	28,3	2,4

Figura 4 – Caratteristiche tecniche del cavo in AT

9.1.2 TIPOLOGIA DI SCAVO

Si riporta nella **Figura 5** una rappresentazione grafica della sezione di scavo con la posa di una terna di cavi unipolari cordati, interrati in AT ad una profondità di posa pari a circa 1,2 m, e larghezza variabile in relazione al numero di terne:



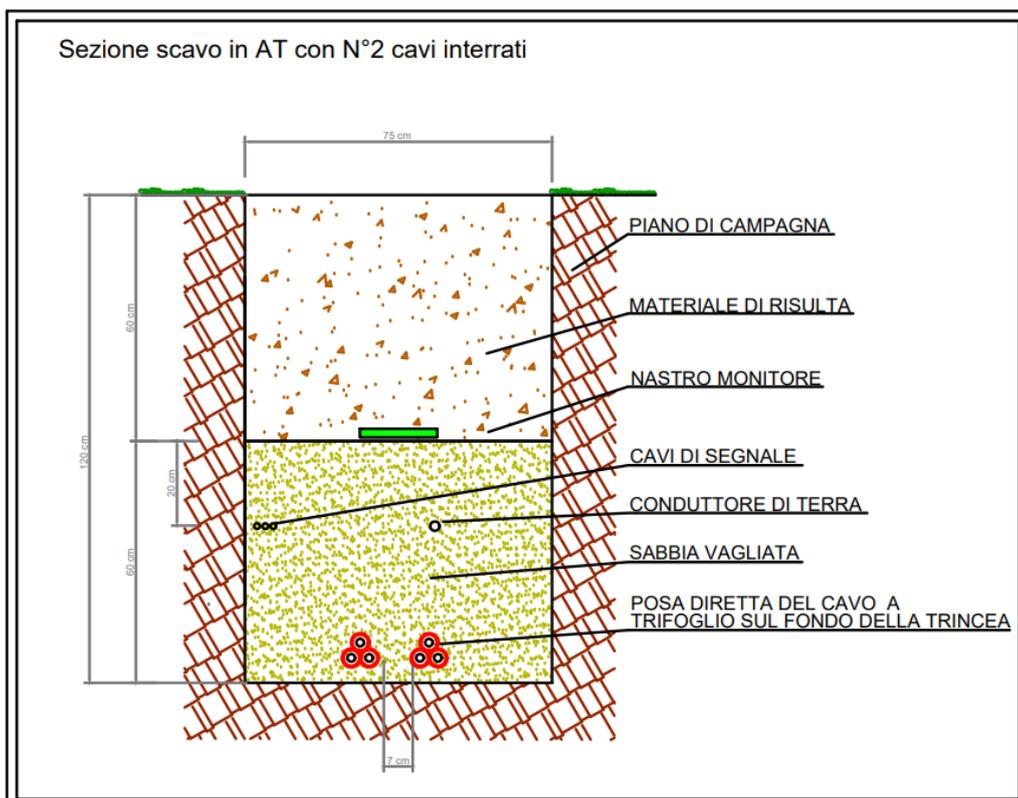


Figura 5 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in AT interni all'area d'impianto

9.1.3 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI

Nella **Figura 6** è riportata una porzione del layout dell'impianto agrivoltaico in cui sono visibili: in rosso e magenta le cabine di trasformazione e di raccolta, il percorso dei cavidotti interni in magenta e la posizione del possibile ricevitore potenzialmente sensibile al campo B, indicato con "R1".



Figura 6 – Layout dell’impianto con indicazione dei ricettori potenzialmente sensibili

Tale ricettore dista dallo scavo contenente i cavi in ingresso alla CDR circa 45 m in linea d’aria.

Calcolo del valore d’induzione B sul Ricettore R1:

Lo scavo interno più vicino al ricettore, contiene n.1 cavo del tipo “air-bag” ARE4H5EEX, avente una sezione di 95 mmq ed una portata di 223 A, ed è indicato nella figura precedente in magenta. La corrente che percorre tali cavi, genera un valore d’induzione B direttamente proporzionale alla portata dei cavi stessi. 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 e ipotizzando: che le terne non abbiano la configurazione elicoidale, che il valore di resistività del terreno sia pari ad 1°Cm/W e che la Temperatura sia di 20°C. Ricordiamo che tali ipotesi danno luogo a una soluzione più conservativa rispetto al caso reale (geometria di cavi cordati ad elica visibile) 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 μ 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 7**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati il limite di esposizione, la soglia SAE e l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

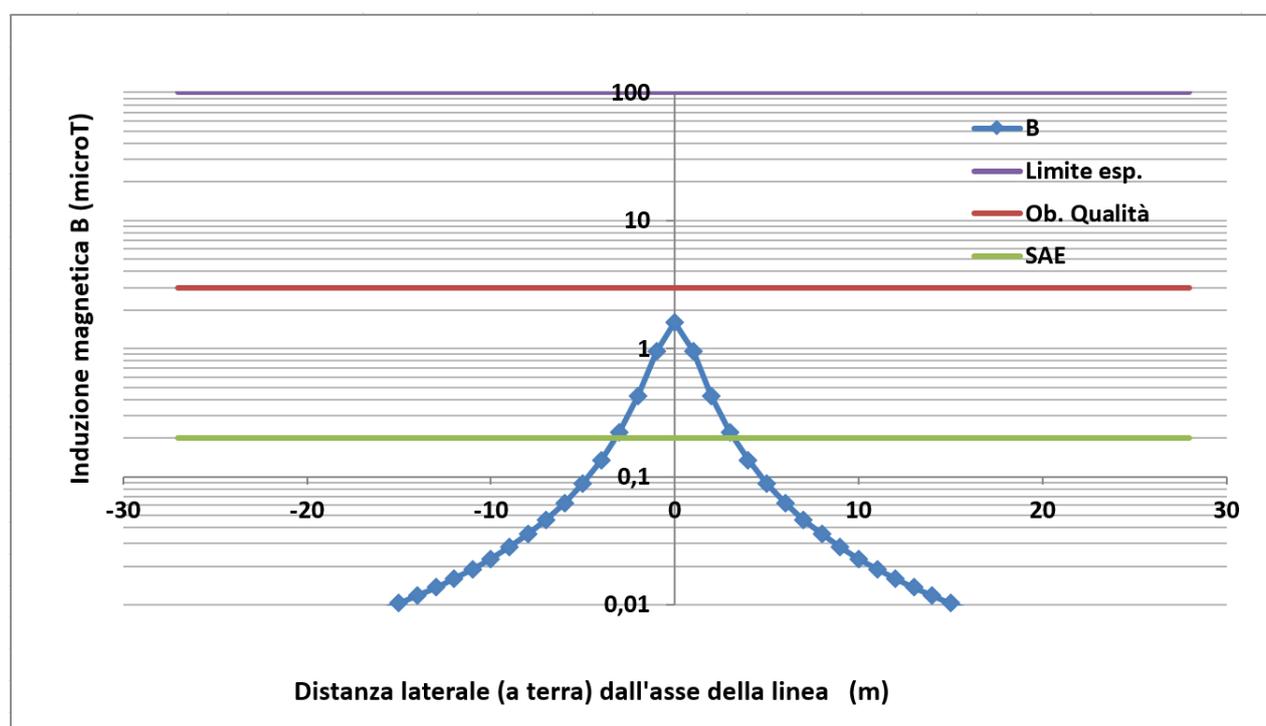


Figura 7 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto interno AT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità-R1

Nella **Tabella 5** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 7**. 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 un valore di B pari a circa 1,61 μT .

Distanza [m]	B(μT)
0,0	1,61
1,0	0,95
2,0	0,43
3,0	0,22
4,0	0,13
5,0	0,09
6,0	0,06
7,0	0,05
8,0	0,04
9,0	0,03
10,0	0,02

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

Dalla tabella precedente si evince che il campo B generato dalla terna di cavi da 95 mmq, posata nello scavo alla profondità di circa 1,2 m e distanti circa 7 cm tra loro, non assume mai un valore superiore all’obiettivo di qualità. Per cui, l’effetto del campo B sul ricevitore distante circa 35 m, è quasi nullo.

9.2 CAVIDOTTO ESTERNO DI CONNESSIONE TRA LA CABINA DI RACCOLTA E LA STAZIONE ELETTRICA UTENTE

Nella figura seguente è indicato il percorso del cavidotto di collegamento con il futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE).

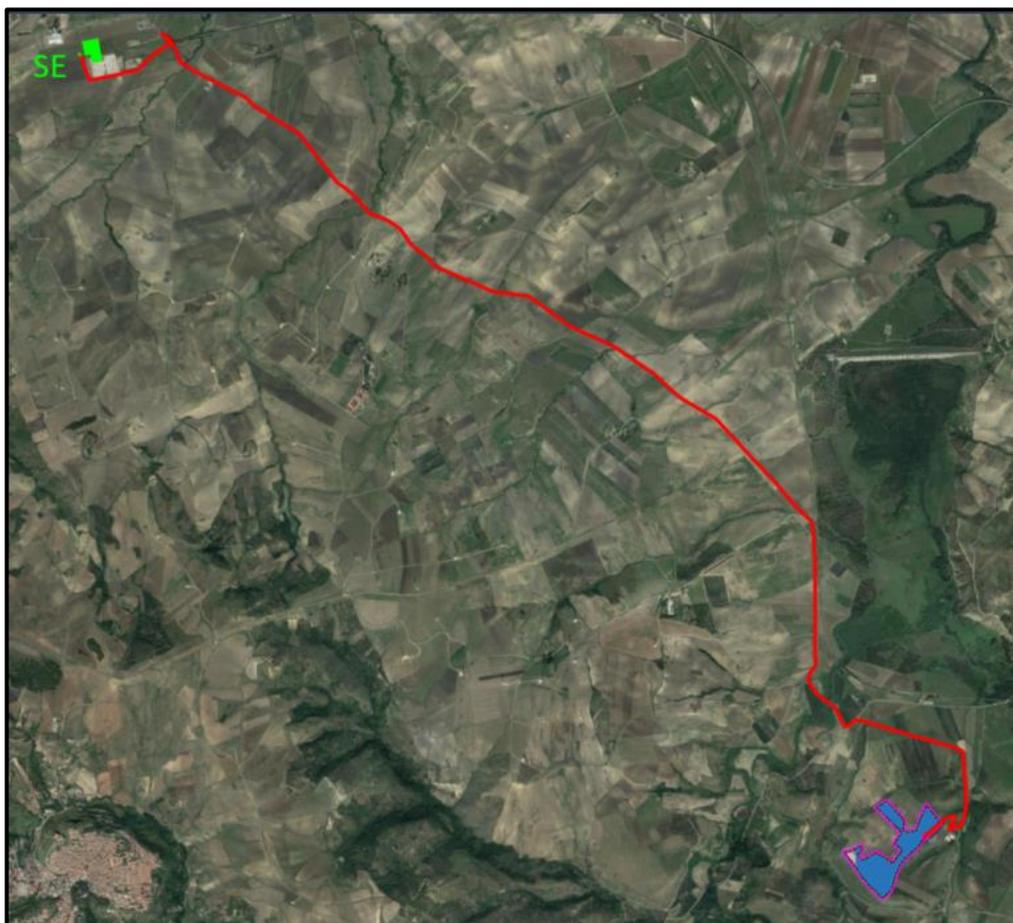


Figura 8 - Connessione alla RTN: confine catastale (in magenta), percorso del cavidotto (in rosso), futuro ampliamento della SE (in verde)

Inoltre, la connessione tra la cabina di raccolta e la stazione elettrica utente è articolata in due tratti, come illustrato nella **Figura 9**. Nel primo tratto del percorso (1-2), circa 500 m ed evidenziato in bianco nella figura seguente, è presente un unico cavidotto AT nello scavo. Nella porzione successiva (2-3) di circa 12,0 km, evidenziata in rosso, sono presenti due cavidotti nello scavo: uno dedicato al progetto in esame e l'altro destinato a un progetto correlato (denominato "Venosa") appartenente alla medesima società responsabile del progetto "Rapolla", situato nelle vicinanze, poco più a sud lungo la SP ex Strada Statale 168.

Pertanto, vengono effettuati due set di calcoli per determinare il campo magnetico: uno relativo alla sezione del percorso con cavidotto singolo e l'altro concernente la sezione con doppio cavidotto, come sarà illustrato nei paragrafi successivi.



Figura 9 - Inquadramento su ortofoto della suddivisione del tracciato del cavidotto

9.2.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN AT

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 AT tra la cabina di raccolta e la stazione elettrica utente fino alla SE della RTN localizzata nel comune di Melfi saranno realizzati in conformità allo schema elettrico unifilare allegato al seguente progetto, mediante cavi in corda di alluminio, con tensione d'isolamento 36 KV e interrati ad una profondità di circa 1,2 m dal livello del suolo.

La connessione sarà realizzata, come evidenziato in precedenza, in parte mediante n.1 terna di cavi trifase e in parte tramite n.2 terna di cavi trifase, disposti a trifoglio nello scavo, aventi ciascuno una sezione nominale di 800 mmq, del tipo ARE4H5EE, aventi protezione meccanica "air-bag". Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche dei cavi in questione:

ARE4HSEE 20,8/36kV 1x... SK2															
Type	Conductor diameter nominal mm	Insulation thickness min. mm	Insulation diameter nominal mm	Sheaths thickness nominal mm	Cable diameter approx mm	Cable weight indicative kg/km	Electrical resistance of conductor		X at 50 Hz Ω/km	C μF/km	Current capacity		Short circuit current		
							at 20 °C - d.c. max Ω/km	at 90 °C - a.c. Ω/km			in ground at 20 °C A	in free air at 30 °C A	conductor T _{max} 250°C kA x 1,0 s	screen T _{max} 150°C kA x 0,5	
1x95	11,5	8,1	29,5	2,0+2,0	42,5	1.400	0,320	0,411	0,138	0,168	223	290	9,0	2,1	
1x120	13,1	7,9	30,7	2,0+2,0	43,8	1.520	0,253	0,325	0,132	0,185	253	334	11,3	2,2	
1x150	14,3	7,6	31,3	2,0+2,0	44,4	1.600	0,206	0,265	0,127	0,201	282	377	14,2	2,2	
1x185	16,0	7,4	32,6	2,0+2,0	45,8	1.740	0,1640	0,211	0,122	0,221	320	432	17,5	2,3	
1x240	18,5	7,1	34,5	2,0+2,0	47,8	1.960	0,1250	0,161	0,116	0,252	370	510	22,7	2,3	
1x300	20,7	6,8	36,1	2,0+2,0	49,5	2.160	0,1000	0,129	0,111	0,283	417	584	28,3	2,4	
1x400	23,5	6,9	39,1	2,0+2,0	52,6	2.510	0,0778	0,101	0,107	0,308	478	681	37,8	2,6	
1x500	26,5	7,0	42,6	2,0+2,0	56,3	2.960	0,0605	0,079	0,104	0,337	545	792	47,2	2,9	
1x630	30,0	7,1	46,3	2,0+2,0	60,2	3.510	0,0469	0,063	0,100	0,367	620	920	59,5	3,0	
1x800	34,2	7,2	50,7	2,0+2,0	64,8	4.220	0,0367	0,050	0,096	0,402	700	1061	75,6	3,3	

Figura 10 – Caratteristiche tecniche del cavo in AT da 800 mmq

9.2.2 TIPOLOGIA DI SCAVO

I cavi saranno interrati con scavo avente una profondità di 1,2 m, e larghezza minima di circa 60 cm. Nella figura successiva sono riportate tre tipologie di scavi in relazione al tipo di percorso stradale:

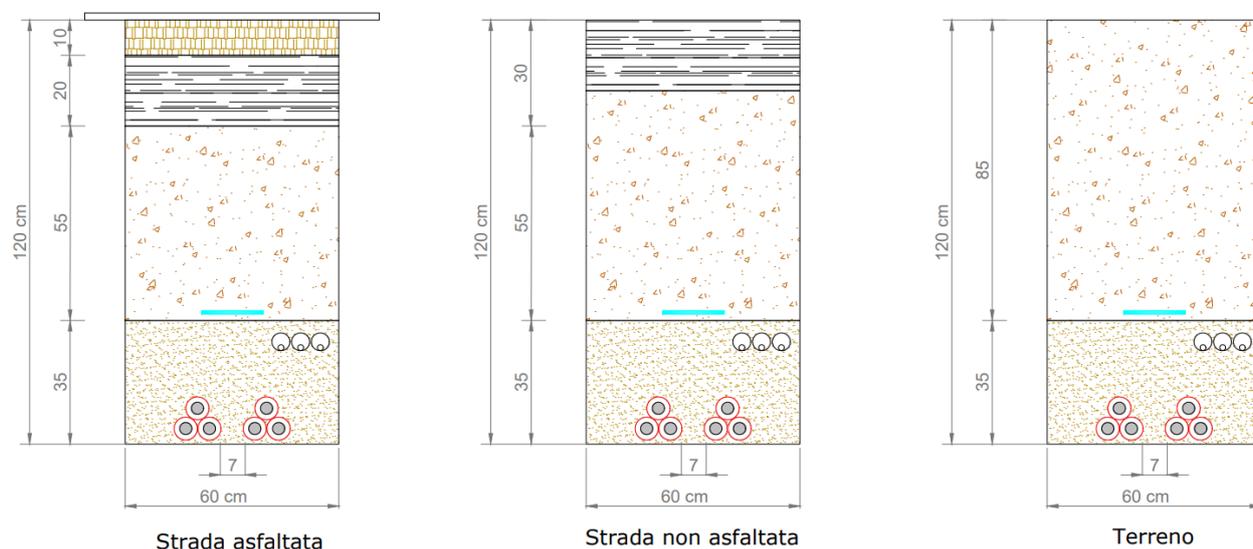


Figura 11 – Sezione di scavo per il cavidotto interrato in AT esterno all'area d'impianto

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



Figura 12 – Materiali di riempimento per scavo cavi esterni

9.2.3 PERCORSO DEL CAVIDOTTO E RICETTORI

Dal quadro elettrico in AT a 36 kV in uscita dalla cabina di raccolta, il cavidotto interrato, composto da una terna di cavi unipolari della sezione di 800 mmq ciascuno, trasporterà l'energia complessiva prodotta dall'impianto agrivoltaico, pari a circa 13,5 MWp, fino al quadro AT d'ingresso della stazione elettrica utente ubicata nei pressi della nuova sottostazione della RTN. Il cavidotto sarà interrato principalmente su strada.

La **Figura 13** mostra in dettaglio il percorso del cavidotto che collegherà la cabina di raccolta alla SE della RTN. Inoltre la stessa figura mostra i ricettori più rilevanti, cioè quelli potenzialmente sensibili perché più vicini al percorso del cavidotto, per i quali verrà riportata un'analisi approfondita sui possibili effetti dovuti al campo magnetico.

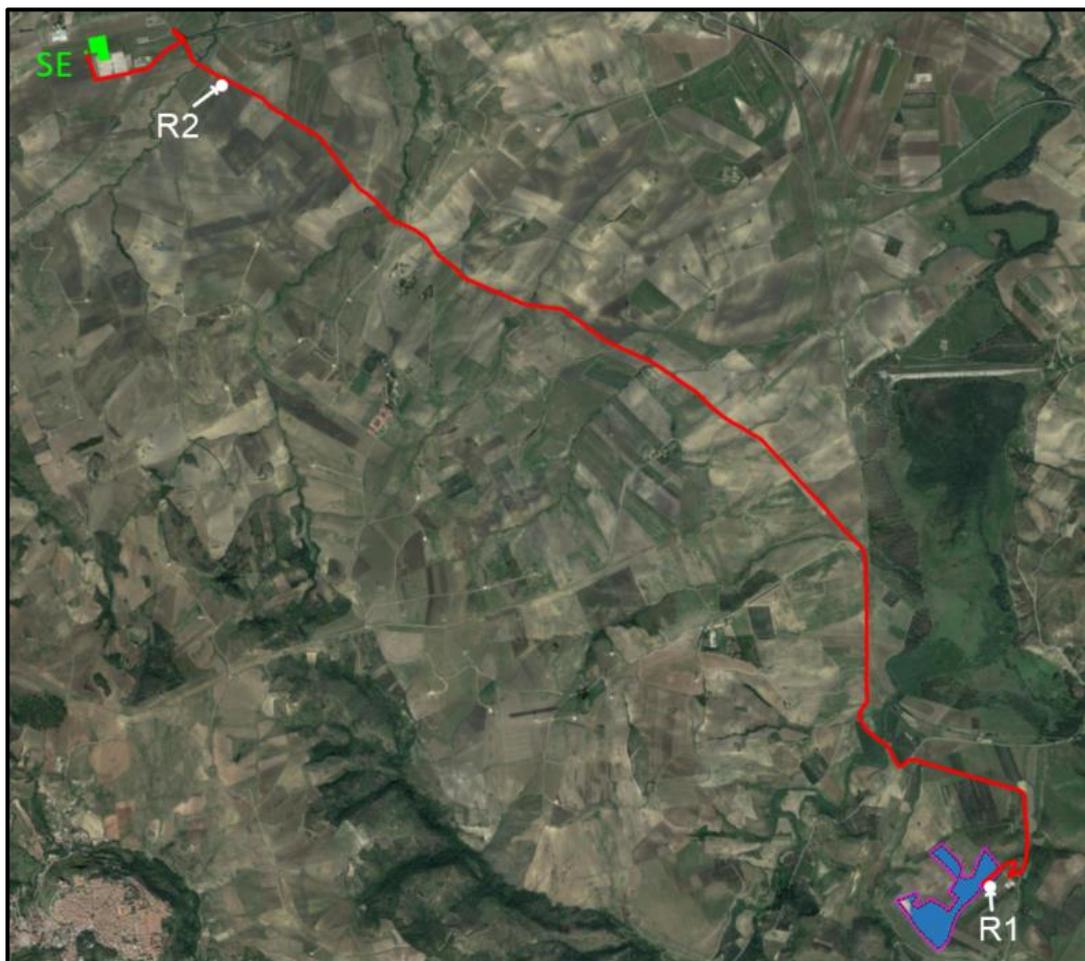


Figura 13 – Inquadramento su ortofoto del percorso del cavidotto e dei relativi recettori

Il recettore R1 è posizionato lungo la sezione del percorso con un solo cavidotto, mentre il recettore R2 è collocato nella porzione con due cavidotti. Nelle figure successive sono riportati in dettaglio sia i ricettori individuati lungo il percorso dello scavo, che lo scavo stesso.



Figura 14 – Inquadramento su ortofoto-posizione del recettore R1

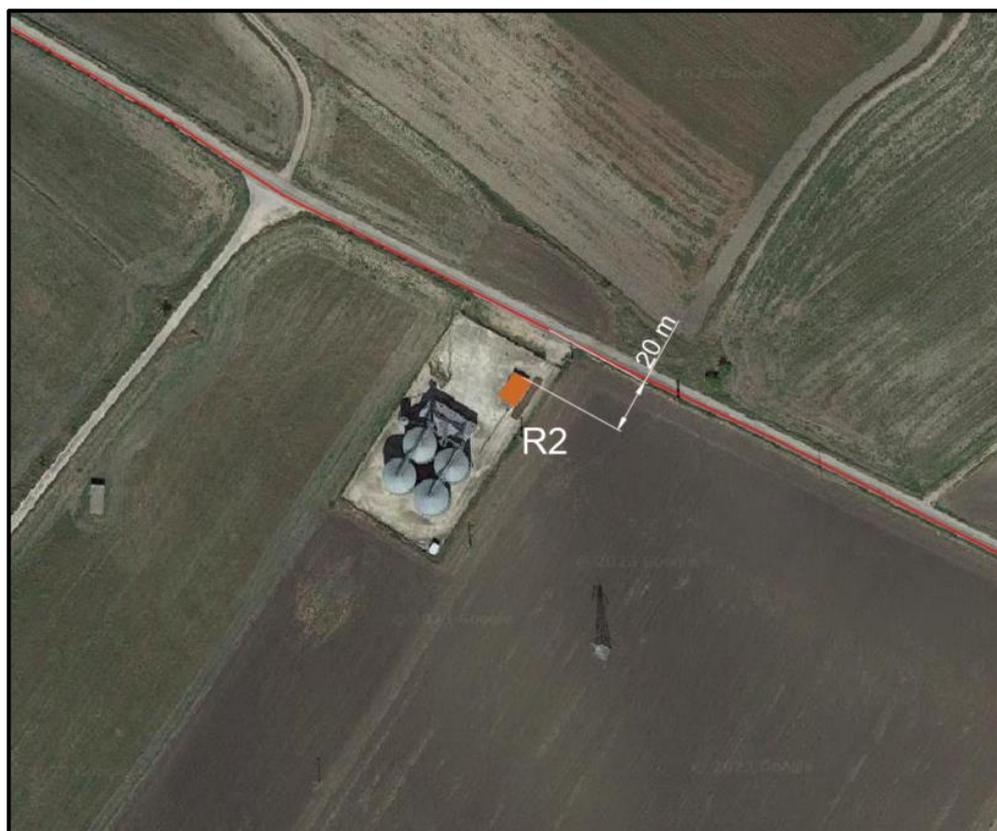


Figura 15 – Inquadramento su ortofoto-posizione del recettore R2

La **Tabella 6** seguente, elenca le distanze minime tra i ricettori ed il tracciato del cavidotto che collegherà la cabina di raccolta con la stazione elettrica utente e poi fino alla sottostazione della RTN, nel caso in cui lo scavo venga realizzato nel lato della strada prossimo al ricettore, come riportato nelle figure precedenti.

Ricettore	Distanza [m]
R1	32
R2	20

Tabella 6 - Distanze tra i ricettori dislocati lungo il percorso del cavidotto di evacuazione

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 le curve riportate in **Figura 16** e **Figura 17**, rispettivamente per una e due terne di cavi. In queste figure sono in aggiunta indicati il limite di esposizione, la soglia SAE e l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

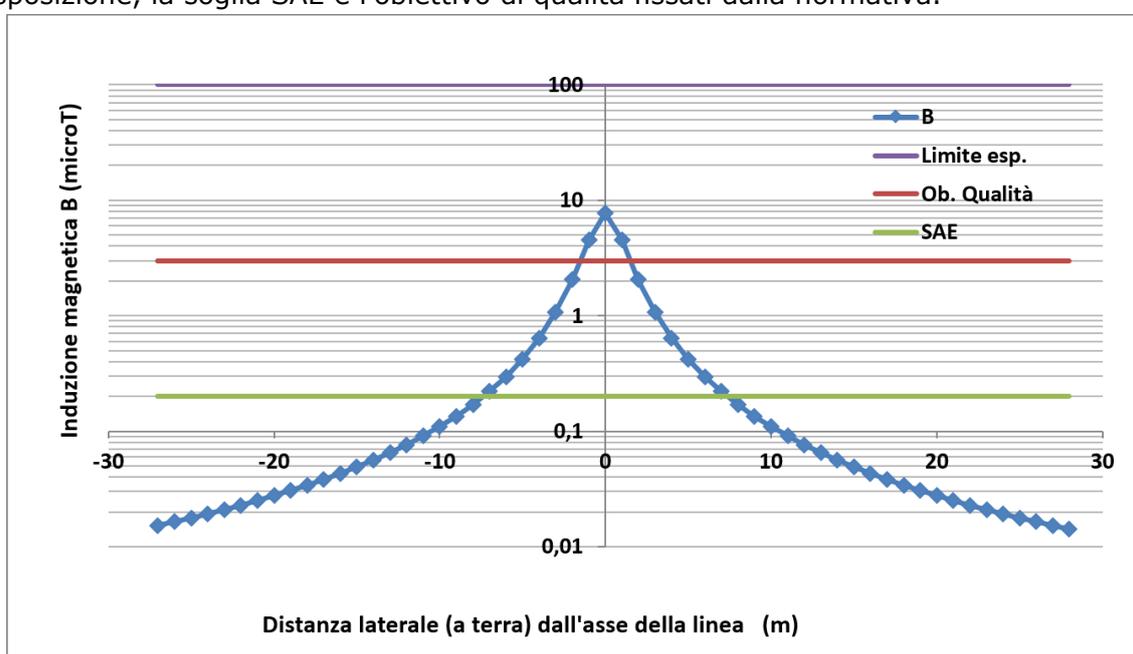


Figura 16 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto singolo di evacuazione AT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.

Nella **Tabella 7** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 16**. Nel punto 0, si ha un valore di B pari a 7.72 μT .

Distanza [m]	B(μT)
0,0	7,72
1,0	4,55
2,0	2,04
3,0	1,06
4,0	0,64
5,0	0,42
6,0	0,30
7,0	0,22
8,0	0,17
9,0	0,13
10,0	0,11

Tabella 7 - Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori lungo il percorso del cavidotto di evacuazione singolo

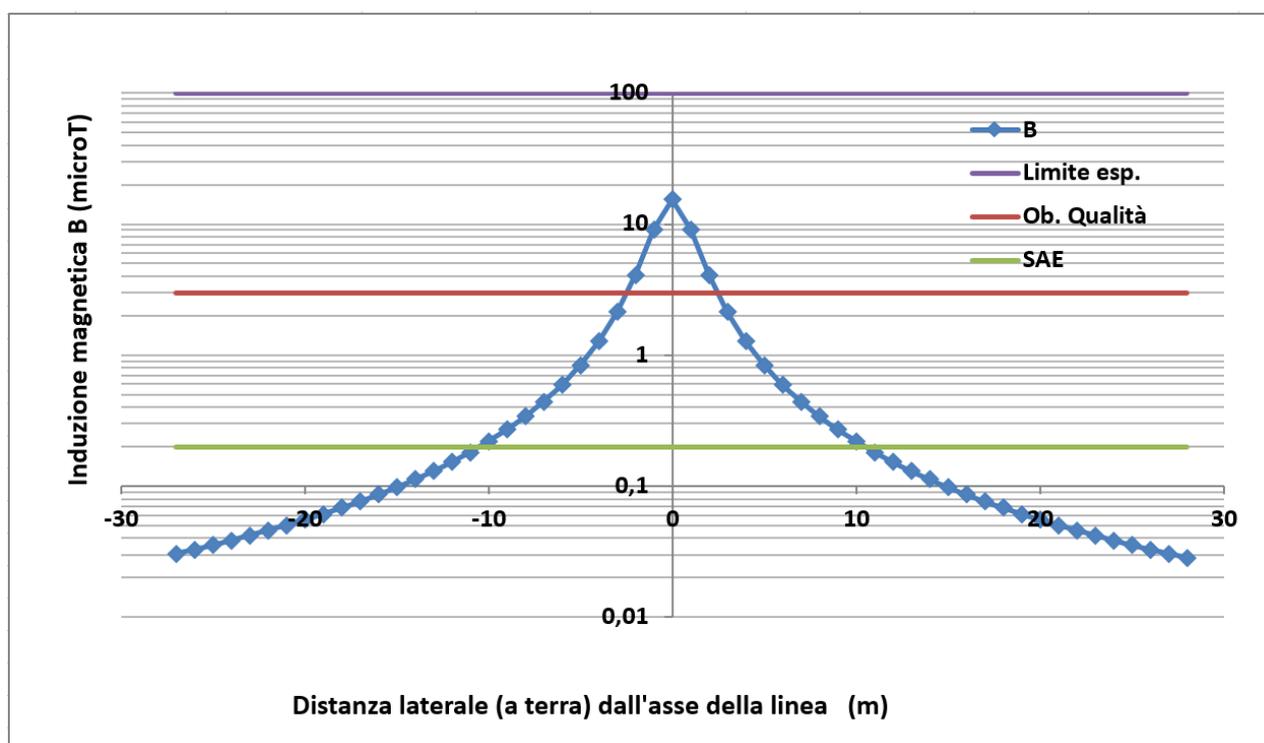


Figura 17 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione AT del progetto agrivoltaico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.

Nella **Tabella 8** sono riportati i valori puntuali del campo B che si sviluppa sul piano stradale, in riferimento alla **Figura 17**. Nel punto 0, si ha un valore di B pari a 15,38 μT.

Distanza [m]	B(μ T)
0,0	15,38
1,0	9,13
2,0	4,10
3,0	2,13
4,0	1,28
5,0	0,84
6,0	0,59
7,0	0,44
8,0	0,24
9,0	0,27
10,0	0,22

Tabella 8 - Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori lungo il percorso del cavidotto di evacuazione

Dalla **Tabella 7**, si nota che l'obiettivo di qualità viene raggiunto ad una distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sulla strada, di circa 1,65 m, ossia, le condizioni di sicurezza si raggiungono quando il ricettore si trova ad una distanza superiore ad essa. D'altro canto, dalla **Tabella 8**, l'obiettivo di qualità viene raggiunto ad una distanza di circa 2,57 m. Risulta quindi che tutti i ricettori si trovano ad una distanza sufficiente per garantire le condizioni di sicurezza.

9.3 CAVIDOTTO ESTERNO DI CONNESSIONE TRA LA STAZIONE ELETTRICA UTENTE E L' AMPLIAMENTO DELLA STAZIONE DI "MELFI"

Il tratto finale del cavidotto ad alta tensione (AT) per il collegamento comprende la connessione tra la Stazione Elettrica Utente e la stazione elettrica della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) a 380/150 kV, denominata "Melfi". La lunghezza prevista per lo scavo è di circa 100 m.

Anche in questo caso la scelta della sezione del conduttore dipende dalla corrente operativa e dalla capacità effettiva del cavo in relazione al suo regime di funzionamento e alle condizioni di installazione, come specificato nelle norme CEI 11-17. Il collegamento ad alta tensione tra la SEU e la SE della RTN a Melfi sarà realizzato secondo lo schema elettrico unifilare incluso nel progetto. Saranno impiegati cavi in corda di alluminio, con tensione d'isolamento 36 KV e interrati ad una profondità di circa 1,2 m dal livello del suolo e larghezza minima di circa 60 cm.

La connessione sarà realizzata mediante n.1 terna di cavi trifase, disposti a trifoglio nello scavo, aventi una sezione nominale di 800 mmq, del tipo ARE4H5EE, aventi protezione meccanica "air-bag". Le caratteristiche tecniche del cavo in questione sono riportate nella **Figura 10**.

L'analisi del campo magnetico è stata eseguita in conformità con le metodologie illustrate nel paragrafo **9.2.4**, con i risultati corrispondenti a quelli presentati nella **Figura 16** e nella **Tabella 7**. Dai risultati emerge chiaramente l'assenza di qualsiasi ricevitore a una distanza inferiore a quella richiesta per assicurare le condizioni di sicurezza necessarie.

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 AT.

Quindi, sotto opportune ipotesi cautelative, si è effettuato il calcolo post-operam dell'esposizione elettromagnetica, individuando in particolare per i cavidotti di progetto le distanze di rispetto per il soddisfacimento dei limiti di esposizione e degli obiettivi di qualità previsti dalla normativa vigente. I risultati hanno indicato che per i principali componenti elettrici costituenti l'impianto FV e per il cavidotto interno all'impianto, il valore dell'induzione magnetica prodotta, non influenza alcun ricettore sensibile, essendo questi distanti dall'area d'impianto.

Anche l'impatto elettromagnetico generato del cavidotto interrato in AT esterno all'impianto a 36 kV, che collega la cabina di raccolta alla stazione elettrica utente e poi alla SE della RTN territorio comunale di Melfi è risultato trascurabile. Possiamo ritenere dunque che tutte le opere elettriche connesse al progetto agrivoltaico 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.