



Regione Puglia
Città Metropolitana di Bari
Comune di Gravina in Puglia



Progetto per la realizzazione di un **impianto agrivoltaico** della potenza massima installata pari a 39,195 MWp, potenza di immissione pari a 33,5 MW denominato "Macinale" con relative opere di connessione alla RTN nel Comune di Gravina in Puglia (BA)

Titolo:

OK6NK25_DocumentazioneSpecialistica_02
Relazione sull'elettromagnetismo (D.P.C.M. 08/07/03 e D.M. 29/05/08)

Numero documento:

Commessa						Fase	Tipo doc.	Prog. doc.				Rev.	
2	3	4	3	0	3	D	R	0	1	1	6	0	0

Proponente:

ALERIONSERVIZITECNICIE SVILUPPO

Alerion Servizi Tecnici e Sviluppo S.r.l.

Via Renato Fucini 4
20122 – Milano (MI)

PROGETTO DEFINITIVO

Progettazione:



PROGETTO ENERGIA S.R.L.

Via Cardito, 202 | 83031 | Ariano Irpino (AV)
Tel. +39 0825 891313
www.progettoenergia.biz | info@progettoenergia.biz



SERVIZI DI INGEGNERIA INTEGRATI
INTEGRATED ENGINEERING SERVICES

Progettista:

Ing. Massimo Lo Russo



Sul presente documento sussiste il DIRITTO di PROPRIETA'. Qualsiasi utilizzo non preventivamente autorizzato sarà perseguito ai sensi della normativa vigente

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato
		00	18.05.2023	EMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE	C.ELIA	D. LO RUSSO

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	INTRODUZIONE.....	3
2.1.	I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI.....	4
2.2.	EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE	5
3.	INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	6
4.	CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DALLE COMPONENTI DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO....	8
4.1.	IDENTIFICAZIONE DELLE COMPONENTI	8
4.1.1.	MODULI, INVERTER E CABINE DI TRASFORMAZIONE E DI IMPIANTO	8
4.1.2.	CAVIDOTTO MT.....	9
4.1.3.	STAZIONE ELETTRICA DI UTENZA	12
4.1.4.	IMPIANTO DI UTENZA PER LA CONNESSIONE (CAVIDOTTO AT 150 kV).....	13
5.	CONCLUSIONI	15

1. PREMESSA

Scopo del presente documento è la redazione della relazione sull'elettromagnetismo finalizzato all'ottenimento dei permessi necessari alla costruzione e all'esercizio dell'impianto agrivoltaico da realizzarsi nel comune di Gravina in Puglia (BA) collegato alla Rete Elettrica Nazionale mediante connessione su uno stallo a 150 kV in antenna alla nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN 380/150 kV ubicata a Gravina in Puglia (BA).

La società proponente è Alerion Servizi Tecnici e Sviluppo S.r.l. del gruppo Alerion Clean Power, con sede legale a Milano (MI), in Via Renato Fucini 4.

Il presente documento rappresenta lo studio di impatto elettromagnetico delle seguenti opere relative all'impianto fotovoltaico in oggetto:

- Moduli, cabine di trasformazione e di impianto;
- Cavidotto MT;
- Stazione elettrica di utenza;
- Impianto di utenza per la connessione (elettrdotto AT).

Si rimanda alla relazione "OK6NK25_RelazioneTecnica" per una descrizione dettagliata delle caratteristiche tecniche e alla relazione "OK6NK25_StudioFattibilitàAmbientale_01" per una descrizione dettagliata dell'inserimento ambientale dell'impianto in oggetto. Nella presente relazione si calcolano i campi elettromagnetici generati dall'impianto fotovoltaico e dalle relative opere di connessione, con particolare riferimento al campo di induzione magnetica.

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.

Il 23 gennaio 2008 la Commissione europea ha presentato il "Pacchetto cambiamenti climatici ed energia", già definito 20-20-20, che prevede il raggiungimento di una quota del 20% di energie rinnovabili nel totale dei consumi energetici entro il 2020.

Il principale ostacolo alla diffusione di queste nuove energie è la loro non-competitività sul piano economico, imputabile anche al fatto che l'attuale mercato dell'energia non tiene conto dei costi sociali ed ambientali legati all'impiego dei combustibili fossili, non traducendoli in costi monetari.

L'unica tecnologia a tutt'oggi matura e quindi competitiva in questo senso è la produzione di energia elettrica da fonte eolica, con costi di produzione confrontabili con quelli degli impianti turbogas.

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 bioelettromagnetismo, 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.

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

Il primo parametro di interesse è la frequenza, in quanto campi a bassa frequenza agiscono su un sistema biologico secondo meccanismi sostanzialmente diversi da quelli ad alta frequenza.

Nel caso della bassa frequenza, come quello di elettrodotti a 50 Hz qui 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. Per il 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, come si vedrà in seguito, al paragrafo 3.

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: 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 e 5) suddivisione delle sorgenti (terne multiple). I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee interrate. Campi a bassa frequenza sono emessi anche da alcuni strumenti elettromedicali e dalle apparecchiature domestiche o industriali alimentate da energia elettrica.

Ogni apparecchiatura che produce o che viene attraversata da una corrente elettrica (dinamo, cavi elettrici, elettrodomestici, etc.) è caratterizzata da un campo elettromagnetico. Il campo elettromagnetico presente in un dato punto dello spazio è definito da due vettori: il campo elettrico e l'induzione magnetica. Il primo, misurato in V/m, dipende dall'intensità e voltaggio della corrente, mentre l'induzione magnetica, che si misura in μT , dipende dalla permeabilità magnetica del mezzo. Il rapporto tra l'induzione magnetica e la permeabilità del mezzo individua il campo magnetico. Le grandezze caratterizzanti il campo elettrico ed il campo magnetico sono in generale intercorrelate, fatta eccezione per i campi a frequenze molto basse, per le quali il campo elettrico ed il campo magnetico possono essere considerati indipendenti. In generale le correlazioni tra campo elettrico e campo magnetico sono assai complesse, dipendono dalle caratteristiche della sorgente, dal mezzo di propagazione, dalla presenza di ostacoli nella propagazione, dalle

caratteristiche del suolo e dalle frequenze in gioco. La diffusione del campo elettromagnetico nello spazio avviene nello stesso modo in tutte le direzioni; la diffusione può essere comunque alterata dalla presenza di ostacoli che, a seconda della loro natura, inducono sul campo elettromagnetico riflessioni, rifrazioni, diffusioni, assorbimento, ecc. La diffusione del campo elettromagnetico può comunque essere alterata anche dalla presenza di un altro campo elettromagnetico. Nel presente documento si esaminano le apparecchiature e le infrastrutture necessarie alla realizzazione del progetto proposto, con particolare riguardo alla generazione di campi elettromagnetici a bassa frequenza.

Tutte le componenti del progetto operano, infatti, alla frequenza di 50 Hz, coincidente con la frequenza di esercizio della rete di distribuzione elettrica nazionale.

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, etc.), 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 seguente:

- **Specific Absorption Rate (SAR) [W/Kg]:** 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 nel modo seguente:

$$J \approx \pi \frac{L}{2} \sigma f B$$

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 degli effetti biologici dannosi. Questi ultimi partono dalla stimolazione nervosa, alla 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 ancora è possibile trarre conclusioni definitive.

Per quanto riguarda 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 μT .

La IARC ha invece deciso di classificare la 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.

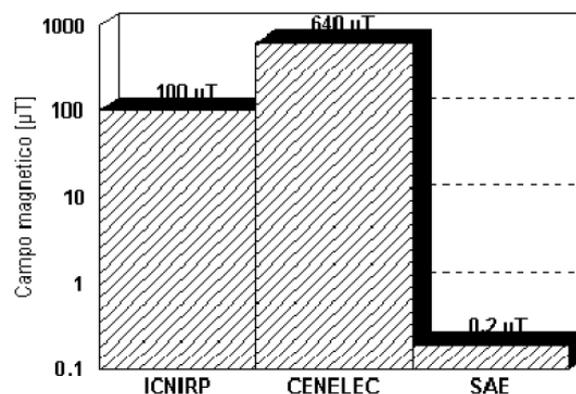


Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC e indicazione della SAE.

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. INQUADRAMENTO NORMATIVO

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 n.36 del 22 febbraio 2001, che stabilisce il quadro normativo per gli impianti esistenti e per quelli costruendi. Tale legge 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 di legge da rispettare.

Dall'articolo 3 della "Legge quadro 22/02/2001, n. 36", "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", "G.U. 7 marzo 2001, n.55", 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 decreti del Presidente del Consiglio 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).

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.

Frequenza 50 Hz	Intensità di campo elettrico E (kV/m)	Induzione Magnetica B (μ T)
Limite di esposizione * (da non superare mai)	5	100
Valore di attenzione ** (da non superare in ambienti abitativi già esistenti e comunque nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore)	-	10
Obiettivo di qualità ** (da non superare per i nuovi elettrodotti o le nuove abitazioni in prossimità di elettrodotti esistenti)	-	3

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

A titolo esemplificativo si riportano in tabella 2 i livelli di induzione magnetica generati da comuni elettrodomestici alimentati dalla rete elettrica a 50 Hz.

Si noti che in prossimità degli stessi si raggiungono valori ben superiori ai limiti di legge, anche se l'uso di tali strumenti non comporta tipicamente esposizione di tipo prolungato.

Fonte	Induzione magnetica μ T	
	vicino	30 cm
Apriscatole	2000	16
Asciugacapelli	2500	7
Aspirapolvere	800	20
Coperta elettrica	30	-
Ferro da stiro	30	0.4
Forno elettrico	1000	20
Frullatore	700	10
HiFi	5	5
Lampada 325 W	2500	-
Lampada alogena	12	12
Lampada a incandescenza	400	4
Macchinetta elettrica	2.5	0.15
Monitor computer	0.25	0.25
Radio sveglia	5	5
Rasoio elettrico	1500	9
Saldatore	800	20
Sega elettrica	1000	25
Trepano	800	16
TV color	500	4
Ventilatore	130	40

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

4. CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DALLE COMPONENTI DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

4.1. IDENTIFICAZIONE DELLE COMPONENTI

Il progetto proposto consta nella realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica tramite lo sfruttamento del sole; l'impianto è costituito dai seguenti elementi principali che, avendo parti in tensione, possono dar luogo all'emissione di onde elettromagnetiche:

- Moduli, inverter, cabine di trasformazione e di impianto,
- Cavidotto MT,
- Stazione elettrica di utenza
- Impianto di utenza per la connessione (elettrودotto interrato AT)

Gli impianti fotovoltaici, essendo costituiti fondamentalmente da elementi per la produzione ed il trasporto di energia elettrica, sono interessati dalla presenza di campi elettromagnetici.

4.1.1. MODULI, INVERTER E CABINE DI TRASFORMAZIONE E DI IMPIANTO

Per quanto riguarda i **moduli, inverter e le cabine di trasformazione e di impianto**, i livelli di induzione magnetica decadono a pochi metri di distanza dalla sorgente. Considerato che altre motivazioni di tipo tecnico-ambientale fanno sì che tali strutture siano poste a decine o centinaia di metri da eventuali ricettori, questi ultimi non saranno oggetto di esposizione elettromagnetica rilevante dovuta alle correnti dei moduli o delle cabine elettriche.

I valori del campo magnetico sono inferiori al valore obiettivo ad una distanza massima dell'ordine di 1,5 m dalla parete esterna.

In considerazione del livello di tensione di esercizio del sistema a 30 kV, il valore del campo elettrico diventa inferiore al valore limite di 3 kV/m già a pochi centimetri dalle parti in tensione.

Per avere un'idea delle distanze di decadimento del campo si consideri quanto di seguito riportato a proposito dei cavidotti e rappresentato in figura 3.

Spesso nelle cabine MT/BT i conduttori non sono rettilinei, ma sono costretti a formare delle curve che alterano il valore del campo magnetico circostante. Rispetto alla situazione di un conduttore rettilineo, ad ogni curvatura del conduttore (o di un fascio di conduttori) corrisponde un aumento del campo magnetico nell'area concava (parte interna alla curvatura, e quindi alla cabina)

delimitata dal conduttore stesso, ed una diminuzione del campo magnetico nell'area convessa (parte esterna alla curvatura). Pertanto all'esterno delle cabine (parte convessa della curvatura) il campo è ulteriormente ridotto rispetto al caso di conduttori rettilinei, cui si riferisce la figura 3.

È possibile concludere, quindi, che nelle immediate vicinanze dei moduli, inverter e delle cabine di trasformazione e di impianto, l'esposizione dovuta all'induzione di campi elettromagnetici sia da considerarsi trascurabile.

4.1.2. CAVIDOTTO MT

Per la realizzazione dei cavidotti MT di utenza sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettromagnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee in MT interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno. Le linee MT a 30 kV come da previsioni progettuali, sono tutte interrate conformi alle Norme CEI 23-46 (CEI EN 50086-2-4).

Determinazione della portata in regime permanente

Il cavidotto in media tensione è costituito da terne di cavi unipolari con conduttori in alluminio aventi isolamento estruso (XLPE) con schermo in rame avvolto a nastro sulle singole fasi. La sezione utilizzata sono da 630.

Ai fini della verifica sono stati utilizzati cavi aventi le seguenti caratteristiche:

Sezione conduttore [mm ²]	Diametro conduttore [mm]	Diametro est. cavo [mm]	Tipologia	Portata [A]
3x1x630	30,0	58,6	Unipolare	644

Tabella 3: Caratteristiche elettriche cavi

Simulazione di calcolo della linea MT:

Sebbene il D.M. 29 maggio 2008 non preveda il calcolo della distanza di prima approssimazione per linee interrate in MT, si procederà ugualmente alla sua determinazione a favore di una maggiore sicurezza.

Ai fini della simulazione sono state fatte le seguenti considerazioni:

- Il tratto considerato è quello più gravoso, costituito da due terne così come disposte nella figura seguente. Tutti gli altri tratti, costituiti da un numero di terne inferiori, avranno sicuramente una DPA più piccola.

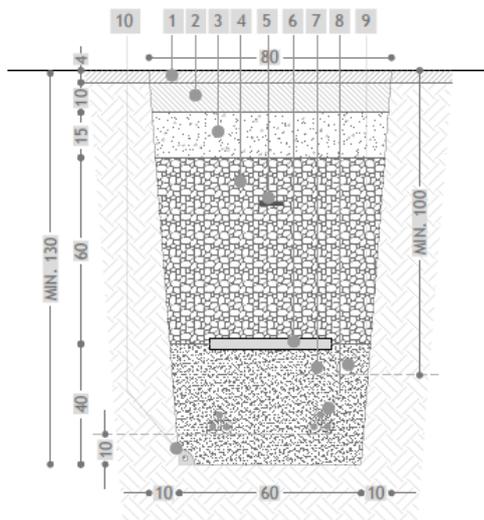


Figura 2: Sezione tipo cavidotto MT composta due terne da 630 mm²

I valori del campo magnetico sono stati simulati al suolo, a 0,5 m dal suolo, a 1,0 m dal suolo e a 1,5 m dal suolo. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori e

l'andamento del campo magnetico su di un asse ortogonale all'asse dei conduttori.

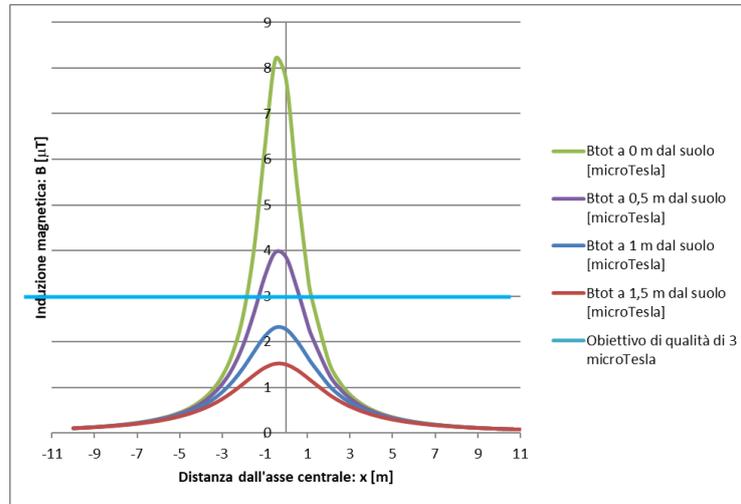


Figura 3: Andamento del campo magnetico generato dal cavidotto MT, composta da due terne da 630 mm²

Distanza dall'asse centrale [m]	B _{tot} a 0 m dal suolo [mT]	B _{tot} a 0,5 m dal suolo [mT]	B _{tot} a 1 m dal suolo [mT]	B _{tot} a 1,5 m dal suolo [mT]
-10,00	0,11	0,11	0,11	0,10
-9,50	0,12	0,12	0,12	0,11
-9,00	0,14	0,13	0,13	0,13
-8,50	0,15	0,15	0,15	0,14
-8,00	0,17	0,17	0,16	0,16
-7,50	0,20	0,19	0,19	0,18
-7,00	0,23	0,22	0,21	0,20
-6,50	0,26	0,26	0,24	0,23
-6,00	0,31	0,30	0,28	0,27
-5,50	0,37	0,35	0,33	0,31
-5,00	0,45	0,43	0,40	0,36
-4,50	0,56	0,52	0,48	0,43
-4,00	0,71	0,65	0,58	0,51
-3,50	0,93	0,83	0,72	0,62
-3,00	1,25	1,08	0,90	0,75
-2,50	1,77	1,43	1,14	0,90
-2,00	2,62	1,95	1,44	1,09
-1,50	4,07	2,64	1,79	1,27
-1,00	6,25	3,43	2,13	1,43
-0,50	8,20	3,96	2,32	1,52
0,00	7,75	3,85	2,28	1,50
0,50	5,49	3,19	2,03	1,39
1,00	3,52	2,40	1,68	1,21

Distanza dall'asse centrale [m]	B _{tot} a 0 m dal suolo [mT]	B _{tot} a 0,5 m dal suolo [mT]	B _{tot} a 1 m dal suolo [mT]	B _{tot} a 1,5 m dal suolo [mT]
1,18	3,00	2,15	1,55	1,15
2,00	1,58	1,30	1,06	0,85
2,50	1,13	0,99	0,84	0,70
3,00	0,85	0,76	0,67	0,58
3,50	0,66	0,60	0,54	0,48
4,00	0,52	0,49	0,45	0,41
4,50	0,42	0,40	0,37	0,35
5,00	0,35	0,34	0,32	0,30
5,50	0,30	0,28	0,27	0,25
6,00	0,25	0,24	0,23	0,22
6,50	0,22	0,21	0,20	0,19
7,00	0,19	0,18	0,18	0,17
7,50	0,17	0,16	0,16	0,15
8,00	0,15	0,14	0,14	0,14
8,50	0,13	0,13	0,13	0,12
9,00	0,12	0,12	0,11	0,11
9,50	0,11	0,10	0,10	0,10
10,00	0,10	0,09	0,09	0,09
10,50	0,09	0,09	0,09	0,08
11,00	0,08	0,08	0,08	0,08

Tabella 4: Andamento del campo magnetico generato dal cavidotto MT, composta da due terne da 630 mm²**Determinazione della DPA e della fascia di rispetto:**

La DPA calcolata è rappresentata dalla distanza tra l'asse del cavidotto e un punto individuato al suolo il cui valore del campo magnetico risulta essere uguale o inferiore ai 3 μ T.

Come si evince dal grafico e dalla tabella di cui sopra, **la DPA risulta pari a 1,18 m e approssimandola al metro superiore risulta pari a 2,00 m.**

Tenuto conto che la fascia di rispetto, da tenere in considerazione per la valutazione della presenza di recettori sensibili è di 4,00 m, centrata sull'asse del cavidotto, vista l'allocazione dello stesso sulla sede stradale, si può affermare che l'impatto elettromagnetico su persone prodotto dai cavidotti MT di utenza è trascurabile.

4.1.3. STAZIONE ELETTRICA DI UTENZA

La **Stazione Elettrica di Utenza** avrà una superficie di circa 6.400 m². Al suo interno sarà presente un edificio adibito a locali tecnici, in cui saranno allocati gli scomparti MT, i quadri BT, il locale comando controllo ed il gruppo elettrogeno.

È prevista altresì la realizzazione di uno stallo di trasformazione.

Il trasformatore 30/150 kV avrà potenza nominale di 40 MVA raffreddamento in olio ONAN/ONAF, con vasca di raccolta sottostante, in caso di perdite accidentali.

Oltre al trasformatore MT/AT saranno installate apparecchiature AT per protezione, sezionamento e misura.

L'area della sottostazione sarà delimitata da una recinzione con elementi prefabbricati "a pettine", che saranno installati su apposito cordolo in calcestruzzo (interrato). La finitura del piazzale interno sarà in asfalto. In corrispondenza delle apparecchiature AT sarà realizzata una finitura in ghiaietto.

Per quanto concerne la determinazione della fascia di rispetto, la S.E. di utenza è del tutto assimilabile ad una Cabina Primaria, per la quale la fascia di rispetto rientra, come verificheremo nel paragrafo successivo per il caso in esame, nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto (area recintata). Ciò in conformità a quanto riportato al paragrafo 5.2.2 dell'Allegato al Decreto 29 maggio 2008 che afferma che: *per questa tipologia di impianti la Dpa e, quindi, la fascia di rispetto, rientrano generalmente nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso.*

L'impatto elettromagnetico nella S.E. di utenza è essenzialmente prodotto:

- dall'utilizzo dei trasformatori BT/MT;
- dalla realizzazione delle linee/sbarre aeree di connessione tra il trafo e le apparecchiature elettromeccaniche.

L'impatto generato dalle sbarre AT è di gran lunga quello più significativo e pertanto si propone il calcolo della fascia di rispetto dalle sbarre AT.

Determinazione della fascia di rispetto

Le sbarre AT sono assimilabili ad una linea aerea trifase 150 kV, con conduttori posti in piano ad una distanza reciproca di 2,2 m, ad un'altezza di circa 4,5 m dal suolo, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate.

Nel caso in esame abbiamo:

- S (distanza tra i conduttori) = 2,2 m
- P_n = Potenza massima dell'impianto (39,195 MW)
- V_n = Tensione nominale delle sbarre AT (150 kV)

Pertanto si avrà:

$$I = \frac{P_n}{(V_n \times 1,73 \times \cos\phi)} = 151,04 \text{ A}$$

ed utilizzando la formula di approssimazione proposta al paragrafo 6.2.1 della norma CEI 106-11, si avrà:

$$R' = 0,34 \times \sqrt{(2,2 \times 151,04)} = 6,20 \text{ m}$$

Valore al di sotto della distanza delle sbarre stesse dal perimetro della S.E. di Utenza.

In conclusione:

- in conformità a quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 *la Distanza di Prima Approssimazione (Dpa) e, quindi, la fascia di rispetto rientra nei confini dell'area di pertinenza della Stazione Elettrica di Utenza;*
- *la Stazione elettrica di utenza è comunque realizzata in un'area agricola, con totale assenza di edifici abitati per un raggio di almeno 400m;*
- *all'interno dell'area della Stazione Elettrica di Utenza non è prevista la permanenza di persone per periodi continuativi superiori a 4 ore con l'impianto in tensione.*

Pertanto, si può quindi affermare che l'impatto elettromagnetico su persone prodotto dalla realizzazione della Stazione Elettrica di Utenza è trascurabile.

4.1.4. IMPIANTO DI UTENZA PER LA CONNESSIONE (CAVIDOTTO AT 150 kV)

Il cavidotto AT sarà costituito da una terna composta da tre cavi unipolari realizzati con conduttore in alluminio o rame, isolante in XLPE, schermatura in alluminio e guaina esterna in polietilene.

Dal punto di vista elettromagnetico le caratteristiche del campo B generato dal cavidotto AT e il suo decadimento con la distanza sono analoghi a quanto già descritto per i cavidotti 30kV interni al parco; occorre tuttavia precisare che linee AT presentano una maggiore distanza tra i conduttori, ciò che determina un decadimento del campo magnetico con la distanza inferiore a quanto visto per i cavidotti a 30kV, a parità di corrente. Ciò è vero per terne interrato (distanza tipica tra conduttori di 9-20 cm), ma soprattutto per linee aeree, ove la distanza tra conduttori può anche essere dell'ordine dei m.

D'altra parte però un eventuale tratto AT, data l'elevazione della tensione, sarà percorso da una corrente notevolmente inferiore ad un corrispondente cavidotto a 30kV, con conseguente diminuzione del campo magnetico generato. Ciò è vero nell'ipotesi che il cavidotto AT sia percorso dalla sola corrente dell'impianto considerato.

Si considera un'intensità di corrente pari alla portata nominale del conduttore pari a 1.000 A.

Determinazione della portata in regime permanente

I valori del campo magnetico sono stati simulati al suolo, a 0,5 m dal suolo, a 1,0 m dal suolo e a 1,5 m dal suolo. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori e l'andamento del campo magnetico su di un asse ortogonale all'asse dei conduttori.

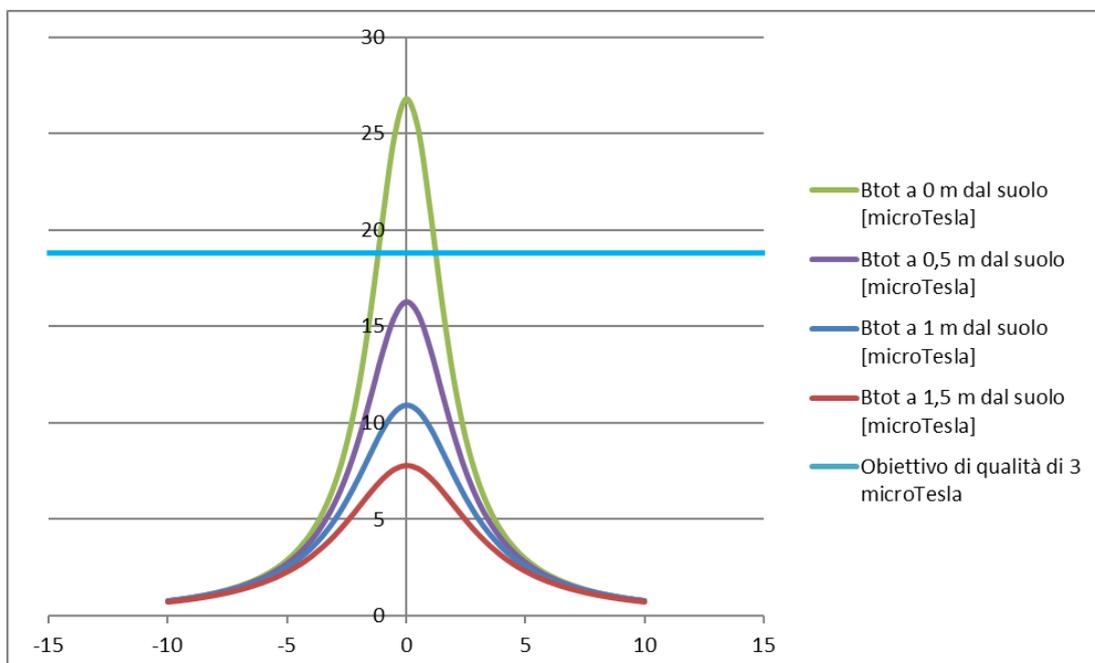


Figura 4: Andamento del campo magnetico generato dal cavidotto

Distanza dall'asse centrale [m]	B _{tot} a 0 m dal suolo [mT]	B _{tot} a 0,5 m dal suolo [mT]	B _{tot} a 1 m dal suolo [mT]	B _{tot} a 1,5 m dal suolo [mT]
-10,00	0,78	0,77	0,75	0,73
-9,50	0,87	0,85	0,83	0,80
-9,00	0,96	0,94	0,91	0,88
-8,50	1,07	1,05	1,01	0,98
-8,00	1,21	1,17	1,13	1,09
-7,50	1,37	1,32	1,27	1,21
-7,00	1,56	1,50	1,43	1,36
-6,50	1,79	1,72	1,63	1,54
-6,00	2,08	1,98	1,87	1,75
-5,50	2,44	2,30	2,15	1,99
-5,00	2,90	2,71	2,50	2,29
-4,50	3,50	3,23	2,93	2,65
-4,00	4,30	3,89	3,47	3,08
-3,50	5,37	4,74	4,14	3,59
-3,00	6,85	5,86	4,96	4,19
-2,50	8,92	7,30	5,95	4,88
-2,00	11,82	9,13	7,12	5,64
-1,50	15,75	11,31	8,39	6,41
-1,00	20,47	13,61	9,60	7,10
-0,50	24,81	15,48	10,52	7,60
0,00	26,78	16,27	10,89	7,79
0,50	25,23	15,64	10,60	7,64
1,00	21,05	13,86	9,73	7,17
1,50	16,26	11,58	8,54	6,49
2,00	12,22	9,37	7,26	5,73
2,50	9,20	7,49	6,08	4,96
3,00	7,05	6,00	5,06	4,26
3,50	5,51	4,85	4,22	3,65
4,00	4,40	3,97	3,54	3,13
4,50	3,58	3,29	2,99	2,69
4,97	3,00	2,79	2,57	2,35
5,50	2,49	2,35	2,19	2,02
6,00	2,12	2,01	1,89	1,77
6,50	1,82	1,74	1,65	1,56
7,00	1,58	1,52	1,45	1,38
7,50	1,39	1,34	1,29	1,23
8,00	1,22	1,19	1,15	1,10
8,50	1,09	1,06	1,03	0,99
9,00	0,97	0,95	0,92	0,89
9,50	0,88	0,86	0,84	0,81
10,00	0,79	0,78	0,76	0,74

Tabella 5: Andamento del campo magnetico generato

Determinazione della DPA e della fascia di rispetto:

La DPA calcolata è rappresentata dalla distanza tra l'asse del cavidotto e un punto individuato al suolo il cui valore del campo magnetico risulta essere uguale o inferiore ai 3 μ T.

Come si evince dal grafico e dalla tabella di cui sopra, **la DPA risulta pari a 4,97 m e approssimandola al metro superiore risulta pari a 5,00 m.**

Tenuto conto che la fascia di rispetto, da tenere in considerazione per la valutazione della presenza di recettori sensibili, è di 10 m, si può affermare che l'impatto elettromagnetico su persone prodotto dai cavidotti AT è trascurabile.

5. CONCLUSIONI

Dallo studio del campo elettromagnetico prodotto dalle opere dell'Impianto agrivoltaico di Gravina in Puglia (BA) è emerso che:

- nelle immediate vicinanze dei moduli, inverter e delle cabine di trasformazione e di impianto, l'esposizione dovuta all'induzione di campi elettromagnetici è da considerarsi trascurabile;
- l'obiettivo di qualità di 3 μ T del campo di induzione magnetica è soddisfatto già a 2,00 m di distanza dall'asse del cavidotto MT di utenza;
- l'impatto elettromagnetico su persone, prodotto dalla Stazione elettrica di utenza, è trascurabile;
- il campo di induzione magnetica prodotto dall'Impianto di utenza per la connessione (cavidotto AT 150 kV) presenta:
 - DPA pari a 5,00 m se si considera i cavi percorsi dalla corrente nominale (1.000 A);considerando a vantaggio di sicurezza i cavi percorsi dalla corrente nominale si può affermare che all'interno della DPA non ricadono recettori sensibili.

Pertanto, le opere elettriche relative all'Impianto fotovoltaico in oggetto sono conformi a tutti i parametri normativi di impatto elettromagnetico.

