



Regione Abruzzo  
Provincia di Teramo  
Comune di Corropoli



PROGETTO DEFINITIVO

Nome progetto

"Corropoli"

Oggetto

Progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico e relative opere di connessione, con potenza nominale di 21,759 MW e una potenza in immissione di 19,80 MW, da ubicarsi nei Comuni di Corropoli (TE) e Alba Adriatica (TE).

Titolo

Relazione tecnica sull'impatto elettromagnetico

Progettazione



SYNERGY S.R.L.  
Via Clodoveo Bonazzi, 2  
40013 - Castel Maggiore (BO)

PROGETTAZIONE:



STUDIO EKO S.R.L.  
Via Giulio Pastore, 1/a  
86039 - Termoli (CB)

Richiedente



CORROPOLI SOLAR S.R.L.  
Via Caravaggio 125,  
65125 - Pescara (PE)

FIRMA PER BENESTARE

5					
4					
3					
2					
1					
0	08/03/24	Emissione	AC	GM	LC
Rev.	Data	Motivo Revisione	Eseguito	Verificato	Approvato
Livello Progetto:		Codice di rintracciabilità:		Codice elaborato:	
PD				SYN069.PD.RE.001	
Scala:		File:		Foglio: PDF	

## Sommario

1.	INTRODUZIONE.....	1
2.	IDONEITÀ' DELLE RETI ESTERNE DEI SERVIZI .....	2
3.	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	3
4.	DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO .....	3
5.	SOLUZIONE DI CONNESSIONE .....	4
5.1.	ELETTRODOTTI.....	5
5.2.	ESPOSIZIONE AI CAMPI A FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE .....	6
5.3.	Campo elettrico .....	6
5.4.	Campo magnetico .....	7
5.5.	Sorgenti di CEM (Campi Elettrici e Magnetici) nei sistemi elettrici .....	8
5.6.	RISCHI DA ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI A BASSA FREQUENZA .....	9
5.7.	LIMITI DI RIFERIMENTO PER ELETTRODOTTI .....	10
5.8.	DIFFERENZE TRA CAMPI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE AEREE E CAVI INTERRATI .....	10
5.9.	ANALISI DELL'IMPATTO DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO IN PROGETTO .....	11
5.10.	Campo elettrico e campo magnetico indotto dagli elettrodotti interrati .....	14
6.	PROBABILITÀ DELL'IMPATTO.....	16
6.1.	LIMITI SPAZIALI DELL'IMPATTO .....	16
6.2.	CONCLUSIONI .....	19

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica è stata redatta al fine di valutare l'impatto elettromagnetico a bassa frequenza generato da un impianto fotovoltaico con una potenza di picco pari a 21,75 MWp, ottenuta dall'impiego di n°35672 moduli fotovoltaici da 610 Wp da installare rispettivamente su strutture fisse nelle aree individuate dai seguenti estremi catastali:

Comune di CORROPOLI (TE):

Foglio 13

Part. 168,169,170,172,71,16,87,88,29,165,167,66,19,89,34,30,90,164,20 per una superficie complessiva di circa 29 ha.



Figura 1 Individuazione area

I moduli Jinko Solar da 610Wp avranno dimensione di (2382x1134x30)mm.

Le coordinate del sito sono:

- Coordinate Lat. 42.83225669, Long. 13.87603056.
- con una altitudine media sul livello del mare di m 200.

L'impianto da realizzare sarà connesso alla rete di distribuzione Alta Tensione in antenna alla futura SE "Alba Adriatica".

Al termine del ciclo di vita dell'impianto, si provvederà al ripristino dei luoghi allo stato pre-impianto.

Gli impianti fotovoltaici non sono fonte di emissioni inquinanti, sono esenti da vibrazioni e, data la loro modularità, possono assecondare l'architettura dei siti di installazione. L'impatto ambientale di un impianto alimentato a fonte solare è nullo in particolare per quanto riguarda il rilascio di inquinanti nell'aria e nell'acqua. Con la produzione di energia da fonte solare si contribuisce alla riduzione dei gas responsabili dell'effetto serra e delle piogge acide.

In relazione alle caratteristiche di irraggiamento caratterizzanti la latitudine del sito, al numero e alla tipologia di moduli fotovoltaici in progetto, si stima per il generatore fotovoltaico una produzione di energia elettrica pulita di circa 1750 kWh annui per kWp di potenza installata, che consentono di evitare così l'emissione di circa 0.6 milioni di kg di CO<sub>2</sub> ogni anno per MWp di potenza installata.

## **2. IDONEITÀ' DELLE RETI ESTERNE DEI SERVIZI**

La cantierizzazione dell'opera, non comporta rilevanti problemi a riguardo dell'idoneità delle reti esterne di servizi, atti a soddisfare le esigenze connesse.

In situ sono presenti sia reti elettriche in che quelle idriche in grado di garantire e soddisfare le necessità provenienti dallo svolgimento delle opere. In merito ai servizi igienici, necessari per il personale addetto ai lavori, saranno predisposti bagni chimici il cui numero di unità sarà scelto in modo tale da soddisfare le esigenze come prescritto ai sensi delle vigenti norme in materia.

Date le specifiche delle apparecchiature utilizzate nonché la tipologia d'installazione prevista per le stesse è possibile fin d'ora affermare che le alterazioni del clima elettromagnetico degli insediamenti abitativi nell'area circostante saranno limitati quanto più possibile, fino all'annullamento entro le distanze che interessano i ricettori sensibili.

### 3. RIFERIMENTI NORMATIVI

- Legge 22 Febbraio 2001, n°36 – “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” – *G.U. n.55 del 07/03/2001* e relativo regolamento attuativo;
- DPCM 8 Luglio 2003
- – “Fissazione dei limiti di esposizione , dei valori di attenzione e degli obbiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti” . *G.U. n. 200 del 29/08/03*;
- D.M. 29/05/08;
- CEI 211– 4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”.

### 4. DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO

Tutti i componenti del sistema saranno cablati con idonei conduttori per tipologia e sezione, i conduttori in esterno (cablaggio stringhe) saranno in cavo per applicazioni fotovoltaiche di opportuna sezione, mentre i cavi di collegamento fra gli inverter ed i gruppi di trasformazione saranno interrati ed avranno sezione adeguata in base alla portata, ed alla distanza. Il cablaggio all'interno dei locali di alloggiamento convertitori e della cabina MT sarà eseguito concordemente alle normative vigenti in materia. L'impianto fotovoltaico verrà progettato con riferimento a materiali e componenti di fornitori primari, dotati di marchio di qualità, di marchiatura o di autocertificazione del costruttore, attestanti la loro costruzione a regola d'arte secondo la normativa tecnica e la legislazione vigente.

Le strade di accesso esistenti permettono un facile accesso al sito mentre le stradine interne di servizio saranno realizzate come piste in ghiaia e pietrisco o in terra battuta.

In sede di progettazione esecutiva potrà verificarsi, in seguito ad eventuali aggiustamenti tecnici, una diminuzione del numero di stringhe e/o, a seguito di eventuale diversa disponibilità commerciale dei moduli fotovoltaici attualmente scelti, una variazione della potenza elettrica di impianto; quanto sopra non comporterà tuttavia incrementi di volumetria o nuove costruzioni.

Gli elettrodotti in media tensione avranno le caratteristiche indicate nella tabella di seguito riportata:

Il cavidotto in progetto a 20 kV (Classe 2° ai sensi della CEI 11-4) sarà costituito da un cavo in doppia terna in posa interrata ARE4H ad elica visibile 185 mmq di lunghezza pari a 2525 metri.

## 5.1. ELETTRODOTTI

Con il termine elettrodotto si intende "l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione" (Legge Quadro, n. 36/2001, sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici).

Gli elettrodotti costituiscono gli elementi fondamentali del sistema elettrico realizzato per il trasporto e la distribuzione dell'energia elettrica dalle centrali di produzione agli apparati utilizzatori, che possono essere i comuni elettrodomestici così come anche gli impianti di grandi complessi industriali.

Esiste una grande varietà di tipologie di elettrodotti, differenti per funzione (trasporto, distribuzione, trasformazione della tensione), per tecnica costruttiva (elettrodotti aerei o interrati, a semplice o a doppia trave, etc.) e per tensione di esercizio;

sulla base di quest'ultima è possibile individuare impianti a:

1. altissima tensione (AAT): 220 - 380 kV;
2. alta tensione (AT): 40 - 150 kV;
3. media tensione (MT): 10 - 30 kV;
4. bassa tensione (BT): 0,22 - 0,38 kV.

La distribuzione sul territorio degli elettrodotti è diversa a seconda della tensione di esercizio: il criterio di localizzazione è di definire per le altissime/alte tensioni tracciati che interessano prettamente zone disabitate, mentre per le medie e soprattutto per le basse tensioni le linee elettriche devono necessariamente svilupparsi in zone urbanizzate al fine di poter raggiungere gli utilizzatori domestici. Gli elettrodotti generano nell'ambiente campi elettrici e magnetici variabili nel tempo con una frequenza pari a 50 Hz, detta anche frequenza industriale, e costituiscono la principale sorgente esterna di campi a frequenze *Extremely Low Frequency* (ELF).

L'intensità del **campo elettrico** generato da un elettrodotto aumenta al crescere della tensione di esercizio. Questa ultima è costante nel tempo e tale sarà anche il campo elettrico prodotto ad una certa distanza a parità di altre condizioni (struttura dell'impianto ed eventuale presenza di oggetti in grado di perturbare il campo stesso). L'intensità del **campo magnetico** dipende dalla corrente che circola nei conduttori, aumentando al crescere della corrente trasportata; tale grandezza è variabile nell'arco della giornata, perché strettamente correlata alla richiesta di energia elettrica da parte degli utenti, e pertanto anche l'intensità del campo magnetico ha una notevole variabilità temporale. Ad esempio l'intensità dei campi magnetici generati dalle linee elettriche raggiunge valori minimi nelle ore notturne quando la richiesta di energia diminuisce.

---

Il campo elettrico e il campo magnetico diminuiscono all'aumentare della distanza dall'elettrodotto e dipendono anche dal numero e dalla disposizione dei conduttori.

## 5.2. ESPOSIZIONE AI CAMPI A FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE

Una delle problematiche più studiate è certamente quella concernente l'esposizione a campi elettrici e magnetici dispersi nell'ambiente sia dall'impianto fotovoltaico e sia dalle linee di trasporto e di distribuzione dell'energia elettrica (elettrodotti interrati o aerei), la cui frequenza (50 Hz in Europa, 60 Hz negli Stati Uniti) rientra nella cosiddetta banda ELF (30-300 Hz).

I campi ELF, contraddistinti da frequenze estremamente basse, sono caratterizzabili mediante la semplificazione delle equazioni di Maxwell dei "campi elettromagnetici quasi statici" e quindi da due entità distinte:

- *il campo elettrico*, generato dalla presenza di cariche elettriche o tensioni e quindi direttamente proporzionale al valore della tensione di linea,
- *il campo magnetico*, generato invece dalle correnti elettriche.

Dagli elettrodotti si genera sia un campo elettrico che un campo magnetico.

## 5.3. Campo elettrico

Il campo elettrico  $E$  creato in vicinanza di un conduttore in tensione è un vettore la cui intensità rappresenta la forza esercitata dal campo stesso su una carica unitaria e si misura in volt al metro [**V/m**]. Nel caso di campi alternati sinusoidali, il vettore oscilla lungo un asse fisso (sorgente monofase) oppure ruota su un piano descrivendo un'ellisse (sorgenti polifase o sorgenti multiple sincronizzate). Il campo elettrico in ciascun punto dello spazio è dunque un vettore dipendente dal tempo e descritto mediante le sue componenti spaziali lungo tre assi ortogonali:

$$E(t) = E_x(t) \cdot u_x + E_y(t) \cdot u_y + E_z(t) \cdot u_z$$

Nel caso particolare di campi alternati sinusoidali le singole componenti spaziali possono essere rappresentate ciascuna mediante un numero complesso o fasore.

Tenendo conto che il campo elettrico in vicinanza di oggetti conduttori (persone incluse) viene generalmente perturbato dagli oggetti stessi, per caratterizzare le condizioni di esposizione si usa il valore del "campo elettrico imperturbato" (cioè il valore del campo che esisterebbe in assenza di oggetti e persone). 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.



I valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano, pertanto l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante.

La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce quindi 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.

#### 5.4. Campo magnetico

Il campo magnetico è una grandezza vettoriale. Come nel caso del campo elettrico, in presenza di grandezze sinusoidali, questo vettore oscilla lungo un asse fisso (sorgente monofase) oppure ruota su un piano descrivendo un'ellisse (sorgenti) polifase o multiple sincronizzate. L'intensità del campo magnetico,  $H$ , si esprime in ampere al metro [A/m].

Spesso il campo magnetico viene espresso in termini di densità di flusso magnetico  $B$ , grandezza anche nota come induzione magnetica. La densità di flusso magnetico è definita in termini di forza esercitata su una carica in movimento nel campo e ha come unità di misura il tesla [T]: un tesla equivale a 1 weber al metro quadrato [Wb/m<sup>2</sup>], cioè un volt secondo al metro quadrato [V s/m<sup>2</sup>]. L'induzione magnetica è legata all'intensità del campo magnetico dalla relazione:

$$B = \mu \cdot H$$

dove:

$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$  è la permeabilità del mezzo;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ , H/m è il valore della permeabilità assoluta del vuoto, e  $\mu_r$  è la permeabilità relativa, che nel caso dell'aria vale  $\mu_r = 1$ .

Come il campo elettrico anche il vettore induzione magnetica può essere descritto mediante le sue componenti spaziali lungo tre assi mutuamente ortogonali nel modo seguente:

$$B(t) = B_x(t) \cdot u_x + B_y(t) \cdot u_y + B_z(t) \cdot u_z$$

e, nel caso di campi alternati sinusoidali, ciascuna componente spaziale può essere rappresentata mediante un fasore.

L'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende dall'intensità della corrente circolante nel conduttore; tale flusso risulta estremamente variabile sia nell'arco di una giornata sia su scala temporale maggiore quale quella stagionale.

Non c'è alcun effetto schermante nei confronti dei campi magnetici da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea: quindi all'interno di eventuali edifici circostanti si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno.

Quindi, sia campo elettrico che campo magnetico decadono all’aumentare della distanza dalla linea elettrica, ma mentre il campo elettrico, è facilmente schermabile da oggetti quali legno, metallo, ma anche alberi ed edifici, il campo magnetico non è schermabile dalla maggior parte dei materiali di uso comune.

**5.5. Sorgenti di CEM (Campi Elettrici e Magnetici) nei sistemi elettrici**

Attualmente, il sistema elettrico nazionale è gestito per la maggioranza dall’ENEL e, per una porzione inferiore, da altre aziende.

Quasi la totalità della distribuzione di energia in Italia è ottenuta con linee aeree.

Nelle tabelle 1.1 e 1.2 vengono riportati i valori indicativi dei campi elettrico e magnetico esistenti al di sotto degli elettrodotti aerei.

Tensione della linea elettrica (kv)	Campo elettrico al suolo in (V/m) (valori massimi)
380	5000 - 6000
220	2000 - 2500
130 - 150	1000 - 1500
15	100 - 300

Tabella 2.1 Campo elettrico sotto le linee aeree AT e MT (ad 1 m dal suolo a metà tracciato)

Tensione della linea elettrica (kv)	Induzione Magnetica (µT) (valori massimi)
380 (1500 A)	16 - 21
220 (550 A)	7
130 (300 A)	5
15 (150 A)	0,3

Tabella 2.2 Campo magnetico sotto le linee aeree AT e MT (ad 1 m dal suolo a metà tracciato)

Numerose rilevazioni strumentali, eseguite da vari Enti all'interno di abitazioni costruite in prossimità di linee elettriche ad alta e media tensione ed al centro di ogni stanza, hanno messo in evidenza dei livelli di campo elettrico compresi tra 1 e 5 V/m.

Il campo magnetico di una linea elettrica varia durante il giorno a seconda della richiesta di energia; i valori minimi vengono raggiunti durante le ore notturne. Il suo livello è massimo al disotto della linea e decresce allontanandosi dalla stessa. Il campo magnetico dipende inoltre dall'altezza e dalla disposizione dei conduttori.

Contrariamente al campo elettrico, il campo magnetico non viene schermato da oggetti ed edifici presenti nelle vicinanze.

## **5.6. RISCHI DA ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI A BASSA FREQUENZA**

In questi ultimi anni, a seguito di indagini epidemiologiche sempre più diffuse, la collettività nazionale ha preso coscienza del fatto che la popolazione residente in prossimità di linee o installazioni elettriche può essere soggetta a rischi per la propria salute.

Comitati di cittadini per la tutela dai campi elettromagnetici si sono formati in molte parti d'Italia per protestare, sollecitando le istituzioni a rivedere i tracciati, quando sono venuti a conoscenza che un elettrodotto a 150, 220 o 380 kv doveva essere costruito passando in prossimità delle loro case. Inoltre, un certo allarme hanno destato le notizie, diffuse da molti organi di stampa, che l'esposizione ai campi elettromagnetici a bassa frequenza esistenti, a causa delle apparecchiature elettriche, in ogni ambiente abitativo, potesse avere effetti nocivi sulle persone.

E' una realtà che l'industria chieda di avere a disposizione sempre più energia per far fronte a sistemi produttivi diffusi in tutto il territorio. E questo determina, da parte dell'ENEL, la costruzione continua di linee a media e alta tensione, con trasmissione e distribuzione di energia elettrica sotto forma di corrente alternata alla frequenza di 50 Hz, e quindi un continuo aumento dei livelli di campo elettromagnetico a cui la popolazione può essere esposta. Naturalmente, le linee elettriche e le cabine di trasformazione non costituiscono le sole fonti di esposizione a campi elettromagnetici a bassa frequenza; qualunque apparecchio elettrico funzionante alla frequenza di rete (50 Hz in Europa, 60 Hz negli Stati Uniti e in Canada) emette campi ELF e di questi dispositivi elettrici ne abbiamo parecchi nelle nostre case, di fissi e di mobili. Gli apparecchi fissi, quali frigoriferi, lavastoviglie ecc. funzionano indipendentemente dall'utilizzatore e, in generale, basta stare a poche decine di centimetri di distanza per non risentire del campo elettromagnetico. Gli apparecchi mobile, invece, quali il rasoio elettrico, l'asciugacapelli, il ferro da stiro ecc, per funzionare necessitano della presenza dell'utilizzatore che è particolarmente esposto a tali sorgenti con la parte del corpo più vicina all'apparecchio.

## 5.7. LIMITI DI RIFERIMENTO PER ELETTRODOTTI

L'art. 3 del DPCM del 8 luglio 2003, decreto attuativo della legge quadro 36/2001, stabilisce i limiti di esposizione e i valori di attenzione per i campi elettrici e magnetici generati da elettrodotti per la trasmissione di energia elettrica a 50Hz. L'articolo dispone che, nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50Hz, generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 $\mu$ T per l'induzione magnetica e di 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

Tipo di campo	Limiti di esposizione	Valore di attenzione	Obiettivi di qualità
Elettrico	5kV/m	Non previsto	Non previsto
Magnetico	100 $\mu$ T	10 $\mu$ T	3 $\mu$ T

**Limiti di esposizione:** sono valori che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori.

**Valori di attenzione:** non devono mai essere superati nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza di persone non inferiore a quattro ore giornaliere.

**Obiettivi di qualità:** da rispettare nella progettazione di nuovi elettrodotti e nella progettazione di nuovi insediamenti abitativi, di nuove aree gioco per l'infanzia, di nuovi ambienti scolastici e in generale di luoghi adibiti a permanenza di persone non inferiore a quattro ore giornaliere in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti sul territorio.

I limiti di esposizione sono stati introdotti a tutela della salute umana contro l'insorgenza degli effetti acuti, immediatamente conseguenti all'esposizione, mentre i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità hanno l'intento di tutelare la popolazione da eventuali effetti sulla salute a lungo termine.

## 5.8. DIFFERENZE TRA CAMPI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE AEREE E CAVI INTERRATI

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 in cavo. I valori di campo magnetico, risultano essere notevolmente abbattuti mediante interrimento degli elettrodotti. Questi vengono posti a circa 1,00 - 1,40 metri di

profondità e sono composti da un conduttore cilindrico, una guaina isolante, una guaina conduttrice (la quale funge da schermante per i disturbi esterni, essendo quest'ultimi, più acuti nel sottosuolo in quanto il terreno è molto più conduttore dell'aria) e un rivestimento produttivo.

I cavi interrati generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei (circa il doppio), tuttavia l'intensità di campo magnetico si riduce molto più rapidamente con la distanza e questo rende decisamente vantaggioso interrare i conduttori.

Tra gli svantaggi sono da considerare i problemi di perdita di energia legati alla potenza reattiva (produzione, oltre ad una certa lunghezza del cavo, di una corrente capacitiva, dovuta all'interazione tra il cavo ed il terreno stesso, che si contrappone a quella di trasmissione).

Altri metodi con i quali ridurre i valori di intensità di campo elettrico e magnetico possono essere quelli di usare "linee compatte", dove i cavi vengono avvicinati tra di loro in quanto questi sono isolati con delle membrane isolanti.

Confrontando il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si rileva che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata.

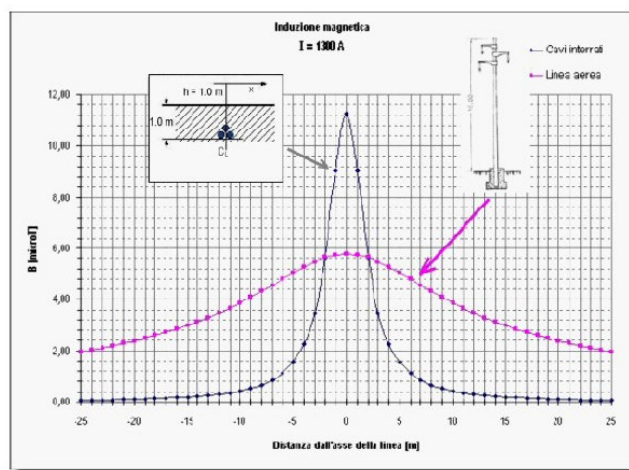


Figura 1: Attenuazione dell'induzione magnetica dovuta all'interramento dei cavi

## 5.9. ANALISI DELL'IMPATTO DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO IN PROGETTO

L'impatto elettromagnetico relativo all'impianto fotovoltaico in progetto per la produzione di energia elettrica da fonte solare a conversione fotovoltaica, è legato:

- all'utilizzo dei trasformatori BT/MT;
- alla realizzazione di un elettrodotto BT interrato per il collegamento delle stringhe con la cabina di campo;
- alla realizzazione di elettrodotto MT interrato per il collegamento degli Skid di campo con la cabina di parallelo MT;

- alla realizzazione di elettrodotto MT, in cavo in alluminio interrato, per il collegamento della cabina di MT al punto di connessione sulla SE “Alba Adriatica” .

### **Campi magnetici all'interno delle cabine di trasformazione BT/MT**

L'impianto sarà composto come di seguito

- N. 6 Cabine trafo jupiter da 3000 kVA
- N. 66 inverter di stringa Huawei sun 2000-330 ktl
- N. 35672 moduli da 610 Wp
- Potenza di 21,759 MWp

Il campo sarà connesso alla rete tramite la SE “Alba Adriatica” tramite cabina di consegna.

Data la distanza assicurata in fase di progetto fra i trasformatori posizionati nelle cabine e le abitazioni circostanti più prossime si può ritenere trascurabile il contributo di tali apparati elettrici in riferimento a campi elettrici e magnetici.

Saranno presi in considerazione due metodi di mitigazione dei campi magnetici generati dalle cabine, indicando nel primo sicuramente la scelta più efficace e preferibile:

#### **- Primo metodo**

Si agirà sulla configurazione e componentistica della cabina eseguendo una o più delle seguenti azioni durante la messa in opera delle cabine:

- allontanamento delle sorgenti di campo più pericolose (quadri e relativi collegamenti al trasformatore) dai muri della cabina confinanti con l'ambiente esterno ove si vuole ridurre il campo.

Infatti i collegamenti BT trasformatore quadro sono in genere quelli interessati dalle correnti e quindi dai campi magnetici più elevati;

- avvicinamento delle fasi dei collegamenti utilizzando preferibilmente cavi cordati;
- disposizione in modo ottimale delle fasi, nel caso in cui si utilizzino per esse più cavi unipolari in parallelo;
- utilizzo di unità modulari compatte;
- realizzazione del collegamento trasformatore-quadro BT mediante cavi posati possibilmente al centro della cabina;
- utilizzazione di cavi tripolari cordati, piuttosto che cavi unipolari, per gli eventuali collegamenti entra- esci in Media Tensione. Infatti, in particolare i circuiti che collegano le linee MT ai relativi scomparti di cabina (nel caso appunto di collegamento in “entra-esci” della cabina alla rete) sono percorsi da una corrente che può essere dello stesso ordine di grandezza di quelle dei circuiti di bassa tensione. Meno importanti, dal punto di vista della produzione di campi elettromagnetici, sono invece i collegamenti tra il trasformatore ed il relativo scomparto del quadro MT; in questo caso infatti la corrente è solamente di qualche decina di ampere e, generalmente, il percorso dei cavi interessa la parte più interna della cabina;
- posizionamento dei trasformatori in modo che i passanti di media tensione (correnti basse) siano rivolti verso la

parete della cabina ed i passanti di bassa tensione (correnti alte) siano invece rivolti verso il centro della cabina (questo ovviamente se i problemi sono oltre le pareti e non sopra il soffitto o sotto il pavimento).

#### - **Secondo metodo**

Qualora non risultasse possibile mettere in atto le modalità installative viste sopra, o ancora peggio, se queste fossero insufficienti nell'ottenere valori di campo magnetico nei limiti di legge, si ricorrerà alla tecnica della schermatura che viaggia su due binari: gli schermi magnetici e gli schermi conduttivi. Nel primo caso l'obiettivo della schermatura sarà di distogliere il flusso magnetico dal suo percorso verso luoghi dove non dovrebbe andare, per convogliarlo in zone non presidiate da persone, mentre nel secondo si contrasterà il flusso esistente con un altro contrario.

La schermatura può essere limitata alle sorgenti (soprattutto cavi e quadri BT) od estesa all'intero locale cabina. Di seguito alcune precisazioni relative alla schermatura, individuate dalla guida CEI 11-35 e riprese dal nuovo progetto di guida:

- gli interventi di schermatura, che sono facili da effettuare in fase progettuale, sono talvolta difficili (o addirittura impossibili) da realizzare su cabine esistenti e possono essere anche particolarmente costosi;
- la schermatura può essere parziale, limitata cioè alle principali sorgenti di campo magnetico (cavi, quadri, trasformatore) o al limite ad alcune pareti, oppure totale, ovvero estesa all'intera cabina;
- In definitiva, la scelta del tipo di schermo (sagoma, dimensioni, materiale) dipende molto dalle caratteristiche delle sorgenti e dal livello di mitigazione di campo magnetico che si vuole raggiungere. Perciò saranno individuati i livelli di campo magnetico più significativi, ne sarà descritta la distribuzione spaziale in termini sia di intensità che di orientamento e saranno associati i componenti di cabina che verosimilmente ne rappresentano le sorgenti primarie;
- la schermatura parziale consiste nell'avvolgere le principali sorgenti di campo con schermi ferromagnetici se si vuole ridurre il campo nelle immediate vicinanze dello schermo, oppure conduttori se si vogliono ottenere migliori risultati anche a distanze maggiori.

L'accoppiamento dei due tipi di schermo rappresenta la soluzione tecnica per risolvere i casi più difficili. Infatti, la geometria complessa dei circuiti di cabina, e quindi la presenza contemporanea di campi con componenti significative sia verticali che orizzontali, impone talvolta di dover ricorrere a schermature combinate (con materiali conduttori e ferromagnetici);

- nel caso di fasci di cavi, la schermatura può essere effettuata con profilati sagomati ad U di adeguato spessore. In questo caso lo schermo per essere efficace deve avere uno spessore di qualche millimetro; ciò conferisce per altro allo schermo buone proprietà meccaniche che lo rendono anche utilizzabile, se opportunamente sagomato, come struttura portante dei cavi da schermare;
- la schermatura totale di una parete può essere effettuata mettendo in opera lastre di materiale conduttore o

ferromagnetico o di entrambi i tipi ; o in alcuni casi pratici sono stati ottenuti dei buoni risultati impiegando lamiera di acciaio commerciale di spessore 3 mm ÷ 5 mm. A questo riguardo si evidenzia che gli acciai normalmente in commercio non sono caratterizzati da valori di permeabilità e conducibilità definiti, per cui la loro efficacia schermante può essere anche molto diversa da caso a caso.

Per ovviare a questo inconveniente si possono utilizzare materiali ferromagnetici a permeabilità controllata, oppure materiali conduttori che hanno un comportamento ben definito ed una buona efficienza schermante.

### 5.10. Campo elettrico e campo magnetico indotto dagli elettrodotti interrati

Il campo elettrico risulta ridotto in maniera significativa per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata. Per le linee elettriche di MT a 50 Hz, i campi elettrici misurati attraverso prove sperimentali sono risultati praticamente nulli, per l'effetto schermante delle guaine metalliche e del terreno sovrastante i cavi interrati. Considerando:

- la tipologia di posa dei cavi previsti in progetto;
- la tipologia di cavidotto definito in progetto: trifase unipolare
- la corrente massima complessiva prodotta dall'impianto;

si è stimato il valore del campo elettromagnetico, o meglio le distanze dal cavidotto, che garantiscono il rispetto dei limiti normativi, mediante le formule matematiche per il calcolo del campo magnetico.

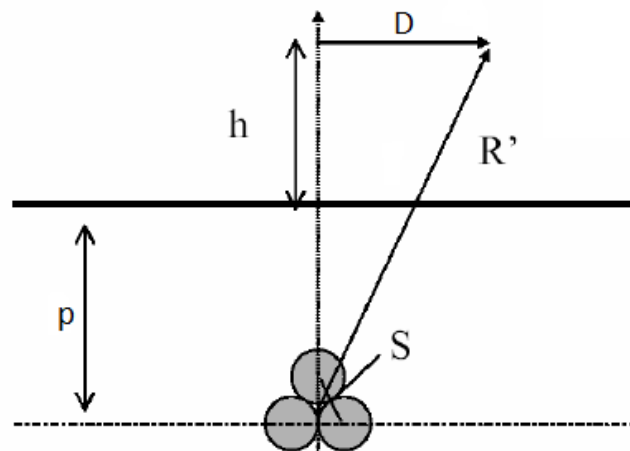
Il valore del campo magnetico indotto dipende dal valore di corrente elettrica che attraversa il conduttore, pertanto per il calcolo del valore del campo magnetico si è preso in considerazione la linea elettrica interrata destinata al trasporto dell'energia elettrica prodotta dell'intero impianto, ossia si è considerato il cavidotto che raccoglie tutta la energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico (caso peggiore dal punto di vista dell'induzione di campi elettromagnetici). Disposizione dei conduttori ai vertici di un triangolo equilatero a triangolo. Come suggerito dalla Norma CEI 106- al capitolo 6.2.3., per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R^2}$$

Dove B[μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R[m] dall'asse centrale di riferimento (0 del riferimento cartesiano), S[m] è il diametro dei conduttori, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I[A], p[m] è la profondità di posa del cavo, h[m] è la distanza verticale punto dello spazio in cui



interessa la misura del campo  $B, \ln[m]$  è la distanza interna tra i cavi.



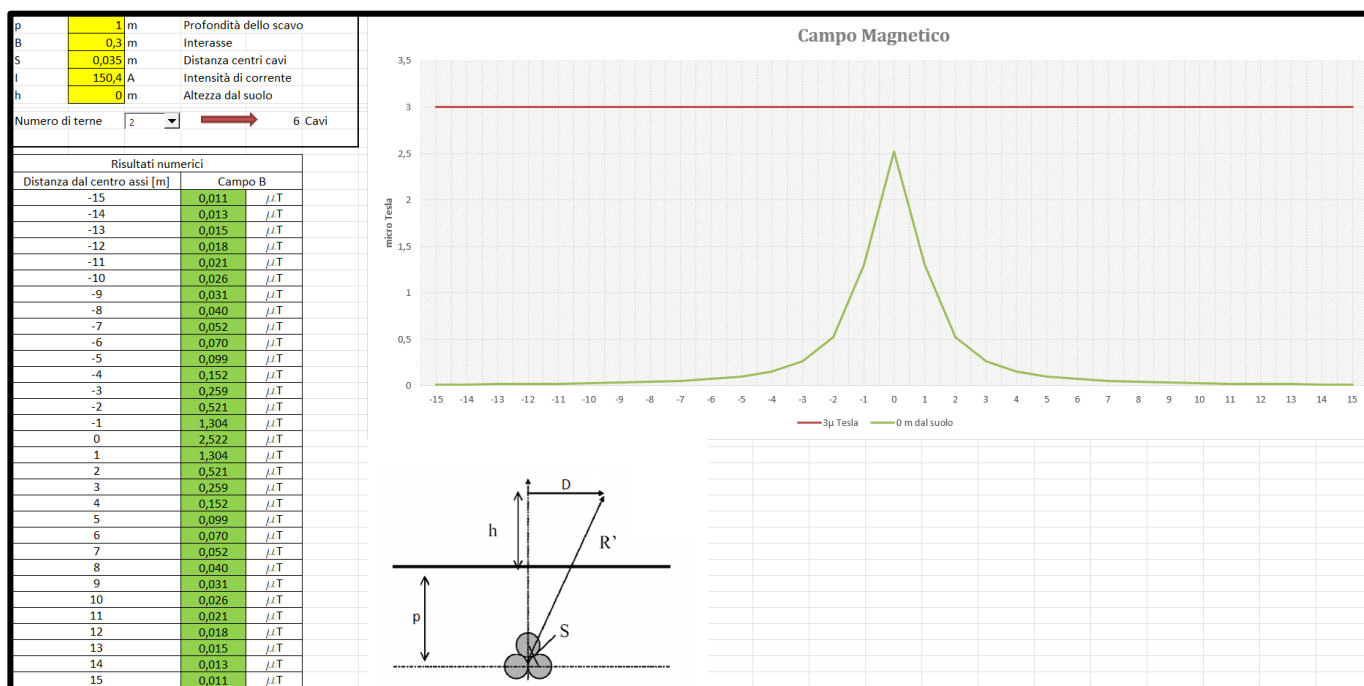
Tenendo conto dei limiti di legge sopradescritto di  $3 \mu T$ , da simulazione eseguita mediante software si ricavano le DPA relative alle linee riportate di seguito in funzione della distanza  $D[m]$  (distanza orizzontale del punto in analisi rispetto all'origine del Sistema di riferimento).

I valori di  $D[m]$  per ragioni logiche fanno parte di un intervallo di misura che va da  $-15 \text{ m}$  a  $15 \text{ m}$ . con un passo di calcolo pari a  $1 \text{ m}$ .

Per l'analisi dei dati si è considerato il caso più sfavorevole.

Caso 1: linea MT di collegamento tra Cabina e tratto di strada dove è presente la terne che andrà verso la SE per una lunghezza pari a  $2525 \text{ mt}$ .

$V=20\text{kV}$   $2 \times 3 \times (1 \times 185)\text{mm}^2$  interrato ad elica visibile, corrente massima  $I=150,4 \text{ A}$  per terna di cavi,  $S=0.035\text{m}$ .  $p=1.0 \text{ m}$ .  $h=0\text{m}$ .



## 6. PROBABILITÀ DELL'IMPATTO

Da quanto riportato nei precedenti paragrafi, nonché nei calcoli sopra eseguiti, risulta evidente che i campi generati sono tali da rientrare nei limiti di legge e che la probabilità dell'impatto è da considerarsi praticamente del tutto trascurabile in quanto, in base alla locazione del cavidotto è corretto ritenere che non ci sia presenza di persone.

Le frequenze in gioco sono estremamente basse (30-300 Hz) e quindi, di per sé, assolutamente innocue. Inoltre la tipologia di installazione garantisce la presenza di un minore campo magnetico ed un decadimento dello stesso nello spazio con il quadrato della distanza dalla sorgente.

### 6.1. LIMITI SPAZIALI DELL'IMPATTO

Gli eventuali limiti spaziali dell'impatto sono confinati ad un'area molto ristretta intorno alla cabina MT di connessione.

## **6.2. CONCLUSIONI**

In considerazione dei calcoli eseguiti, non si riscontrano problematiche particolari relative all'impatto elettromagnetico dei componenti dell'Impianto fotovoltaico in oggetto ed in particolare alla SE, in merito all'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici.

Inoltre, a lavori ultimati si potranno eseguire prove sul campo che dimostrino l'esattezza dei calcoli e delle assunzioni fatte. Lo studio condotto conferma che l'impianto è conforme dal punto di vista degli effetti del campo elettromagnetico sulla salute umana.

F.to I Progettisti

---