

PROGETTO AGRIVOLTAICO " FRAGAGNANO "



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA DI BRINDISI



COMUNE DI MESAGNE



COMUNE DI S. DONACI



COMUNE DI CELLINO S. MARCO

PROGETTO:

COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE OPERE ED INFRASTRUTTURE CONNESSE DENOMINATO "FRAGAGNANO", SITO NEI COMUNI DI MESAGNE (BR), SAN DONACI (BR) E CELLINO SAN MARCO (BR), CON POTENZA NOMINALE COMPLESSIVA PARI A 60.000,00 KWN E POTENZA DI PICCO (POTENZA MODULI) PARI A 66.000,52 KWP.

PROGETTISTI:



NGVEPROGETTI s.r.l.

IMMAGINIAMO IL FUTURO

Via Federico II Svevo n.64

72023, Mesagne (BR)

PEC: ingveprogetti@pec.it

Coordinatore Tecnico del Progetto:

Ing. Giorgio Vece



COMMITTENTE:



AMBRA SOLARE 21 S.R.L.

AMBRA SOLARE 21 S.r.l.

Sede legale e Amministrativa:

Via Tevere 41,

00198 Roma (RM)

PEC: ambrasolare21@legalmail.it

Titolo elaborato: Relazione impatto elettromagnetico

Tav:

1 / 1

Codice Elaborato: 5ISA3S2_DocumentazioneSpecialistica_03

Scala:

N°	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	SETTEMBRE 2022	PRIMA EMISSIONE	ING. GIORGIO VECE	ING. GIORGIO VECE	

Sommario

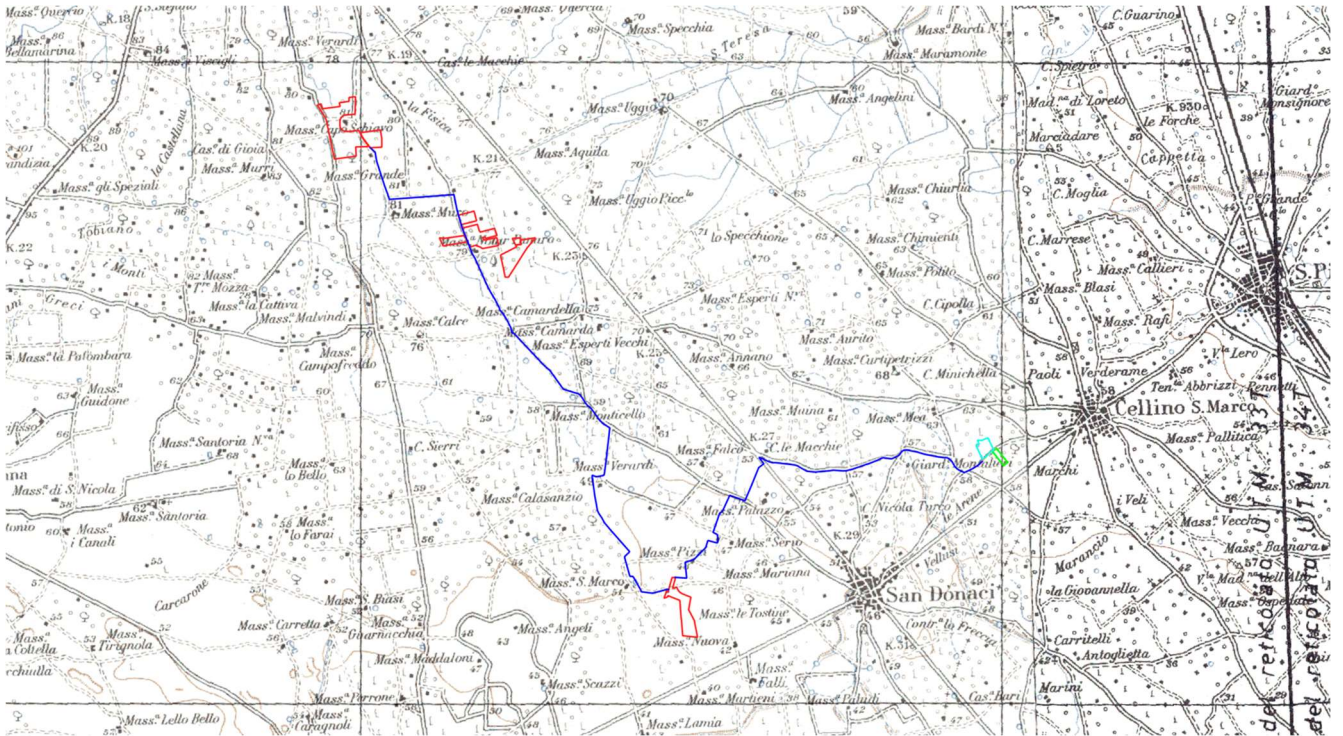
1. Premessa	2
1.1 Normativa di riferimento.....	3
1.2 Compatibilità elettrica	3
1.3 Compatibilità magnetica.....	3
1.4 Teoria sui campi elettromagnetici.....	4
1.4.1 Legge di Biot-Savart.....	5
2. Calcolo dei Campi elettromagnetici	7
2.1 Campi elettromagnetici Impianto Fotovoltaico	7
2.1.1 Moduli fotovoltaici	7
2.1.2 Moduli fotovoltaici	7
2.1.3 Linee elettriche in corrente alternata	8
2.1.4 Cabine elettriche di campo.....	10
2.1.5 Cabine elettriche di impianto.	10
3. CONCLUSIONI	15

1. Premessa

La società **AMBRA SOLARE 21 S.r.l.**, con sede legale in Roma (TN), in Via Tevere, al civico 41, nell'ambito dei suoi piani di sviluppo di impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, ha previsto la realizzazione di un impianto fotovoltaico, denominato "Fragagnano", della potenza di 50 MW composto da un raggruppamento omogeneo "*Cluster*" di 3 aree produttive distribuite nel Comune di Mesagne e San Donaci nei limiti territoriali della provincia di Brindisi, integrato con un sistema di accumulo da 10 MW.

L'unità produttiva è composta da poco meno di 114.000 moduli fotovoltaici, quali elementi optoelettronici costituiti da celle fotovoltaiche in grado di convertire, sfruttando l'effetto fotovoltaico, l'energia solare intercettata in energia elettrica, di potenza pari a 580Wp. Al fine di ottimizzare gli spazi a disposizione ed efficientare l'energia intercettata i moduli sono alloggiati su inseguitori monoassiale. L'energia prodotta sarà convogliata su convertitori statici di potenza che provvedono al condizionamento (conversione c.c./c.a.), controllandone i parametri di esercizio (potenza, frequenza, ecc...), dell'energia così prodotta per la conseguente immissione in Rete. Per il vettoriamento verso il punto di immissione sarà necessario elevare la tensione in uscita dai convertitori statici attraverso macchine elettriche statiche (trasformatori di potenza) in grado di elevare la tensione di ingresso, generalmente di 1^{cat} (inferiore a 1.000 V in a.c.), ad un livello superiore; nel progetto in studio la tensione di vettoriamento è pari a 36 kV.

Lo studio di compatibilità sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, obiettivo della presente relazione, ha lo scopo di effettuare la valutazione del campo elettrico e dell'induzione magnetica generati dalle condutture e apparecchiature elettriche che compongono l'impianto elettrico in progetto con riferimento alle prescrizioni di cui al DPCM del 08.07.03 in materia di "*fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati dagli elettrodotti*".



Inquadramento IGM delle aree di intervento

1.1 Normativa di riferimento

Legge quadro n° 36 del 22 febbraio 2001. - Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.

D.P.C.M. del 08 luglio 2003. - Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti.

Decreto Min Ambiente 29-05-08 - Metodologia calcolo fasce di rispetto elettrodotti.

Decreto Min Ambiente 29-05-08 - Approvazione procedure di misura e valutazione induzione magnetica.

1.2 Compatibilità elettrica

I livelli di campo elettrico non necessitano di alcuna valutazione in quanto gli schermi metallici dei cavi e gli involucri metallici di tutte le apparecchiature sono collegati francamente a terra e assumono pertanto il potenziale zero di riferimento. Il valore del campo elettrico è inferiore al limite di 5 kV/m fissato dall'art. 3 del D.P.C.M. 08/07/03.

1.3 Compatibilità magnetica

Per il nuovo elettrodotto si applicano le prescrizioni di cui all'art. 4 del D.P.C.M. 08/07/03 che fissa per il valore dell'induzione magnetica l'obiettivo di qualità di 3 μ T in corrispondenza di aree di gioco per l'infanzia, ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere.

L'utilizzo dei cavi ad elica visibile, come descritto negli elaborati progettuali, fa sì che detta tipologia di linea è esclusa dalla valutazione, in base a quanto prescritto dal D.M.29/05/2008 al punto 3.2 ed a quanto indicato nella norma CEI 106-11 ai punti 7.1.1 e 7.1.2 in quanto il rispetto della normativa tecnica in vigore, DM 16.01.1991 e DM 21.3.1988 n.449 e s.m.i., garantisce anche il conseguimento dell'obiettivo di qualità prescritto dal DPCM 08/07/2003.

1.4 Teoria sui campi elettromagnetici

La linea elettrica durante il suo normale funzionamento genera un campo elettrico e un campo magnetico. Il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, mentre il secondo è proporzionale alla corrente che vi circola ed entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza. Tuttavia, sia nel caso di cavi interrati che cavi isolati elicordati aerei, la presenza dello schermo e la relativa vicinanza dei conduttori delle tre fasi elettriche rende di fatto il **campo elettrico** nullo ovunque; pertanto il rispetto della normativa vigente in corrispondenza dei recettori sensibili è sempre garantito indipendentemente dalla distanza degli stessi dall'elettrodotto.

Per quanto riguarda invece il **campo magnetico** si rileva che la maggiore vicinanza dei conduttori delle tre fasi tra di loro rispetto alla soluzione aerea rende il campo trascurabile già a pochi metri dall'asse dell'elettrodotto. Di seguito è esposto l'andamento del campo magnetico massimo lungo il tracciato della linea interrata a 36 kV.

La linea di connessione quindi, genera, con andamento radiale rispetto ai cavi, dei campi elettromagnetici dovuti al passaggio della corrente e ad essa proporzionali. In aria, l'andamento di tale campo in funzione della distanza dal cavo è proporzionale all'inverso del quadrato della distanza, ossia esso diminuisce fortemente la sua intensità con l'allontanarsi dalla sorgente. La presenza di rivestimenti di isolamento e schermature metalliche ne limitano ulteriormente l'intensità.

Non appena la linea viene esercitata e posta in tensione, indipendentemente dal fatto che essa trasporti o meno potenza, il sistema polifase, caratterizzato da cariche in gioco, produce il suo campo elettrico. Il campo magnetico **B** è invece associato alla corrente (e quindi alla potenza) trasportata dalla linea: esso scompare quando la linea è solo "in tensione" ma non trasporta energia.

I campi elettromagnetici, in base alla loro frequenza, possono essere suddivisi in:

- onde ionizzanti (IR): onde ad alta frequenza così chiamate in quanto capaci di modificare la struttura molecolare rompendone i legami atomici (l'esempio più ricorrente è quello dei raggi X) e perciò cancerogene;
- onde non ionizzanti (NIR): su cui sono tuttora in corso numerosi studi tesi a verificare gli effetti sull'uomo. Questo tipo di onde comprende, tra le varie frequenze, le microonde, le radiofrequenze ed i campi a frequenza estremamente bassa (ELF - Extremely Low Frequency da 0 a 10 kHz).

Fra questi campi a bassa frequenza (ELF) è compresa anche l'energia elettrica che è trasmessa a frequenza di 50 Hz. Le grandezze che determinano l'intensità e la distribuzione del campo magnetico nello spazio circostante una linea interrata sono fondamentalmente:

1. intensità delle correnti di linea;
2. distanza dai conduttori;
3. isolanti, schermature e profondità di interramento del cavo;
4. disposizione e distanza tra conduttori.

Per mitigare il campo magnetico generato da una linea elettrica, dal momento che la schermatura mediante materiali ad alta permeabilità e/o conducibilità non è strada praticabile, è dunque necessario agire su una o più delle grandezze sopra elencate. L'influenza dei vari fattori si evince immediatamente dalla legge di Biot-Savart, secondo cui: *“il campo magnetico è direttamente proporzionale all'intensità di corrente e inversamente proporzionale alla distanza dalla sorgente”*.

1.4.1 Legge di Biot-Savart

Il quarto fattore entra in gioco per il fatto che il sistema di trasmissione polifase, nella fattispecie trifase, risulta composto da una terna di correnti di uguale intensità seppure sfasate nel tempo e, poiché il campo magnetico in ogni punto dello spazio circostante è dato dalla composizione vettoriale dei contributi delle singole correnti alternate, ne deriva un effetto di mutua compensazione di tali contributi tanto maggiore quanto più vicine tra loro sono le sorgenti, fino ad avere una compensazione totale se le tre correnti fossero concentriche. Per le linee aeree, la distanza minima tra i conduttori è limitata dalla necessaria distanza che deve essere posta tra le fasi, in subordinazione della tensione di esercizio, mentre per le linee in cavo tale distanza può essere dell'ordine di 20-30 cm con un abbattimento sostanziale del campo magnetico già a poca distanza. Come avviene ormai sempre più di frequente, le linee di Media Tensione non vengono più costruite mediante linea aerea a conduttori nudi, ma (se non in conduttore isolato aereo) interrate, consentendo di ridurre drasticamente l'effetto dovuto ai campi elettromagnetici attenuati dal terreno che agisce da “schermatura naturale”; si riesce ad abbassare l'intensità di tali emissioni a valori addirittura inferiori ai più comuni elettrodomestici di uso quotidiano. Il calcolo è stato effettuato in aderenza alla Norma CEI 211-4.

$$B = \mu_0 \times I / 2\pi R$$

Le linee guida per la limitazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici variabili nel tempo ed ai campi elettromagnetici sono state indicate nel 1998 dalla ICNIRP. Il 12-7-99 il Consiglio dell'Unione Europea ha emesso una Raccomandazione agli Stati Membri volta alla creazione di un quadro di protezione della popolazione dai campi elettromagnetici, che si basa sui migliori dati scientifici esistenti; a tale proposito, il Consiglio ha avallato proprio le linee guida dell'ICNIRP. Successivamente nel 2001, a seguito di una ultima analisi condotta sulla letteratura scientifica, un Comitato di esperti della

Commissione Europea ha raccomandato alla CE di continuare ad adottare tali linee guida. Successivamente è intervenuta, con finalità di riordino e miglioramento della normativa allora vigente in materia, la Legge 36/2001, che ha individuato ben tre livelli di esposizione ed ha affidato allo Stato il compito di determinare e di aggiornare periodicamente i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità, in relazione agli impianti suscettibili di provocare inquinamento elettromagnetico. L'art. 3 della Legge 36/2001 ha definito:

- **limite di esposizione:** *il valore di campo elettromagnetico da osservare ai fini della tutela della salute da effetti acuti;*
- **valore di attenzione:** *quel valore del campo elettromagnetico da osservare quale misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine;*
- **obiettivo di qualità:** *criterio localizzativo e standard urbanistico, oltre che come valore di campo elettromagnetico, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione.*

Tale legge quadro italiana (36/2001), come ricordato sempre dal citato Comitato, è stata emanata nonostante che le raccomandazioni del Consiglio della Comunità Europea del 12-7-99 sollecitassero gli Stati membri ad utilizzare le linee guida internazionali stabilite dall'ICNIRP; tutti i paesi dell'Unione Europea, hanno accettato il parere del Consiglio della CE, mentre l'Italia ha adottato misure più restrittive di quelle indicate dagli Organismi internazionali. In esecuzione della predetta Legge, è stato infatti emanato il D.P.C.M. dell' 8.7.2003, che ha fissato il limite di esposizione in 100 microtesla per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico; ha stabilito il valore di attenzione di 10 microtesla, a titolo di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere; ha fissato, quale obiettivo di qualità, da osservare nella progettazione di nuovi elettrodotti, il valore di 3 microtesla. È stato altresì esplicitamente chiarito che tali valori sono da intendersi come mediana di valori nell'arco delle 24 ore, in condizioni normali di esercizio (non si deve dunque fare riferimento al valore massimo di corrente eventualmente sopportabile da parte della linea). Si segnala come i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità stabiliti dal Legislatore italiano siano rispettivamente 10 e 33 volte più bassi di quelli internazionali. Al riguardo è opportuno anche ricordare che, in relazione ai campi elettromagnetici, la tutela della salute viene attuata – nell'intero territorio nazionale – esclusivamente attraverso il rispetto dei limiti prescritti dal D.P.C.M. dell'08.7.2003, al quale soltanto può farsi utile riferimento. Infatti il DM del MATTM del 29.05.2008, che definisce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto degli elettrodotti, riprende l'art. 6 di tale D.P.C.M.

2. Calcolo dei Campi elettromagnetici

2.1 Campi elettromagnetici Impianto Fotovoltaico

2.1.1 Moduli fotovoltaici

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente continua, per cui la generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori di corrente (durante la ricerca del MPP da parte dell'inverter, e durante l'accensione o lo spegnimento), peraltro di brevissima durata. Nella certificazione dei moduli fotovoltaici secondo la Norma CEI 82-8 (IEC 61215) non sono pertanto menzionate prove di compatibilità elettromagnetica poiché assolutamente irrilevanti.

2.1.2 Moduli fotovoltaici

Gli inverter sono apparecchiature che al loro interno utilizzano un trasformatore ad alta frequenza per ridurre le perdite di conversione. Essi pertanto sono costituiti 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) (CEI EN 50273 (CEI 95-9), CEI EN 61000-6-3 (CEI 210-65), CEI EN 61000-2-2 (CEI 110-10), CEI EN 61000-3-2 (CEI 110-31), CEI EN 61000-3-3 (CEI 110-28), CEI EN 55022 (CEI 110-5), CEI EN 55011 (CEI 110-6)).

Tra gli altri aspetti queste norme riguardano:

- i livelli armonici: le direttive del gestore di rete prevedono un THD globale (non riferito al massimo della singola armonica) inferiore al 5% (inferiore all'8% citato nella norma CEI 110-10). Gli inverter presentano un THD globale contenuto entro il 3%;
- i disturbi alle trasmissioni di segnale operate dal gestore di rete in sovrapposizione alla trasmissione di energia sulle proprie linee;
- le variazioni di tensione e frequenza. Gli effetti sulla rete di tali variazioni sono limitati dai relè di controllo della protezione di interfaccia asservita al dispositivo di interfaccia. Tuttavia, le fluttuazioni di tensione e frequenza hanno per lo più origine dalla rete stessa; si rendono quindi necessarie finestre di taratura abbastanza ampie per evitare una continua inserzione e disinserzione dell'impianto fotovoltaico;
- la componente continua immessa in rete. La presenza del trasformatore elevatore permette di bloccare tale componente. Ad ogni modo, anche il dispositivo di interfaccia di ogni inverter interviene in presenza di componenti continue maggiori dello 0,5% della corrente nominale. Le questioni di compatibilità elettromagnetica concernenti i buchi di tensione (fino ai 3 s in genere) sono in genere dovute al coordinamento delle protezioni effettuato dal gestore di rete locale.

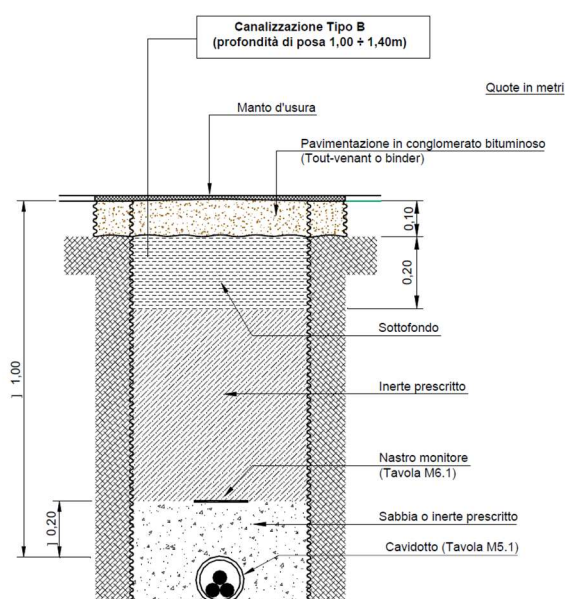
2.1.3 Linee elettriche in corrente alternata

Per quanto riguarda il rispetto delle distanze da ambienti presidiati ai fini dei campi elettrici e magnetici, si è tenuto conto del limite di qualità dei campi magnetici, fissato dalla suddetta legislazione a **3 μ T**, anche se per la particolarità dell'impianto le aree al suo interno sono da classificare ai sensi della normativa come luoghi di lavoro, e quindi con livelli di riferimento maggiori rispetto a questi ultimi, in quanto frequentate da persone professionalmente esposte; a tal proposito si precisa, peraltro, che il tracciato dei cavi BT ed MT si sviluppa completamente all'interno dell'area dell'impianto fotovoltaico.

Per quanto riguarda i cavi BT i relativi cavidotti si sviluppano totalmente all'interno dell'area di impianto e l'ampiezza delle DPA, come di seguito riportato, è tale da non invadere zone esterne all'unità produttiva, la cui recinzione si pone a \gg 5 metri dal campo fotovoltaico.

In merito alla distribuzione in campo di linee elettriche in MT, si è previsto, in sede progettuale, di ricorrere all'utilizzo di condutture ad isolamento HEPR di qualità G7, del tipo ARG7H1RNRX tripolare precordato ad elica visibile, posati in canalizzazioni interrato, per i quali vale quanto riportato nella norma CEI 106-11 e nella norma CEI 11-17. Come illustrato nella suddetta norma CEI 106-11 la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione, dovuta alla cordatura, fa sì che l'obiettivo di qualità di 3μ T, anche in condizioni limite con conduttori di sezione elevata, venga raggiunto già a brevissima distanza (50÷80 cm) dall'asse del cavo stesso.

Si fa notare peraltro che anche il recente decreto del 29.05.2008, sulla determinazione delle fasce di rispetto, ha esentato dalla procedura di calcolo le linee MT in cavo interrato e/o aereo con cavi elicordati, pertanto a tali fini si ritiene valido quanto riportato nella norma richiamata. Ne consegue che in tutti i tratti realizzati mediante l'uso di cavi elicordati si può considerare che l'ampiezza della semi-fascia di rispetto sia pari a 1 m, a cavallo dell'asse del cavidotto, pertanto all'interno della fascia di asservimento della linea, tuttavia, considerando che la fascia di asservimento di linee interrate è pari a $2m+2m$, possiamo assumere di pari valore anche le DPA.



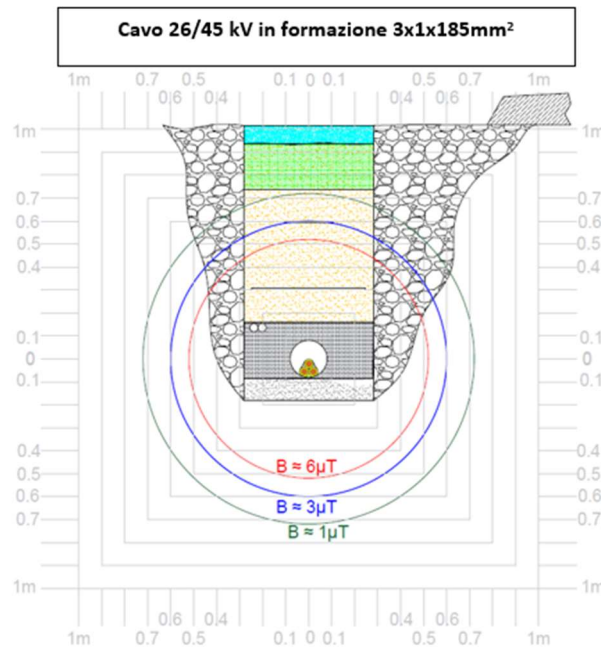


Fig. 1a Curve di equilivello per il campo magnetico di una linea interrata in MT con cavo elicordato (rif. Norma CEI 106-11)

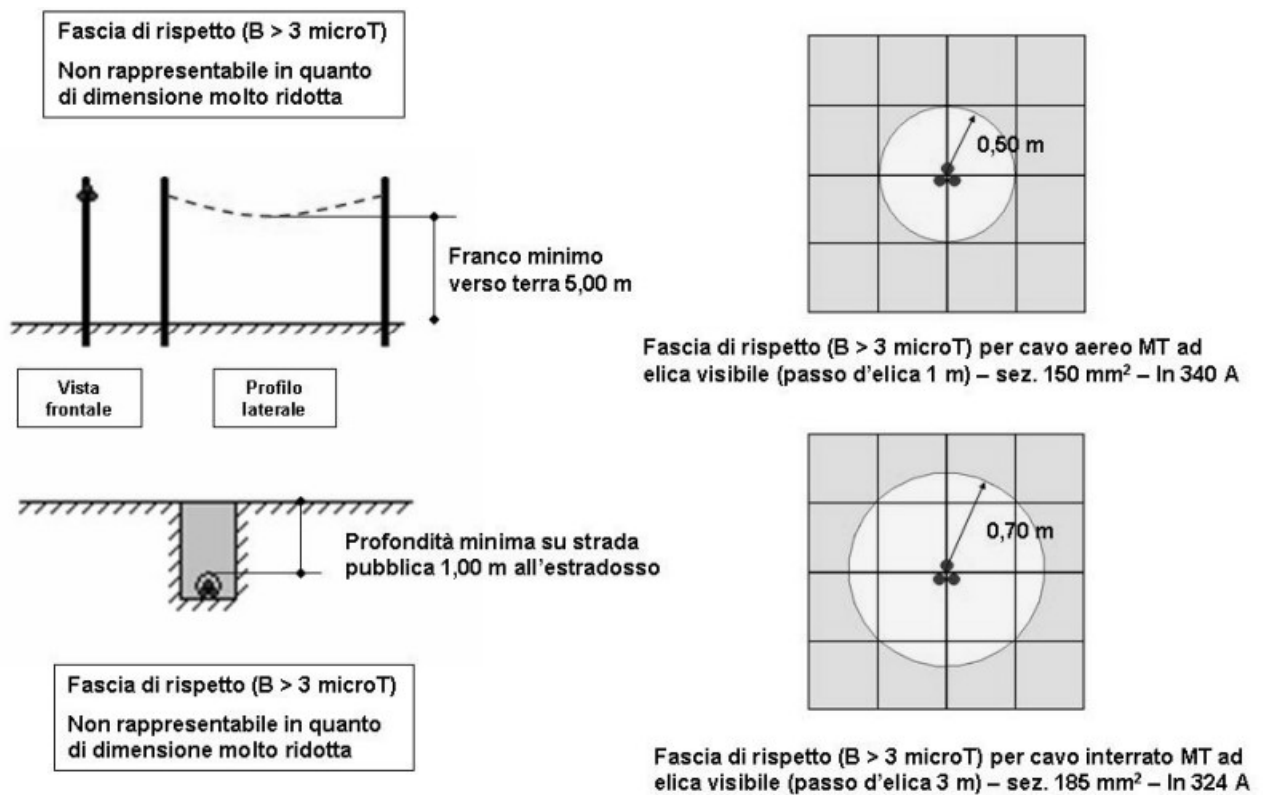


Fig. 1b Curve di livello dell'induzione magnetica generata da cavi cordati ad elica – calcoli effettuati con il modello tridimensionale “Elico” della piattaforma “EMF Tools”, che tiene conto del passo d'elica.

2.1.4 Cabine elettriche di campo.

Per le cabine elettriche di campo, insistenti nei sottocampi di ciascuna area produttiva del "Cluster", la principale sorgente di emissione è il trasformatore elevatore di tensione BT/MT, della potenza di 2.700 kVA. Facendo riferimento a quanto riportato nel *DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2.1*, si determina l'ampiezza delle DPA in base alla corrente di bassa tensione del trasformatore e considerando una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dalla sorgente di trasformazione. Per determinare le DPA si applica la formula di cui al citato cap.5.2.1 e cioè:

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

dove:

DPA	distanza di prima approssimazione	m
I	corrente nominale	A
x	diametro dei cavi	m

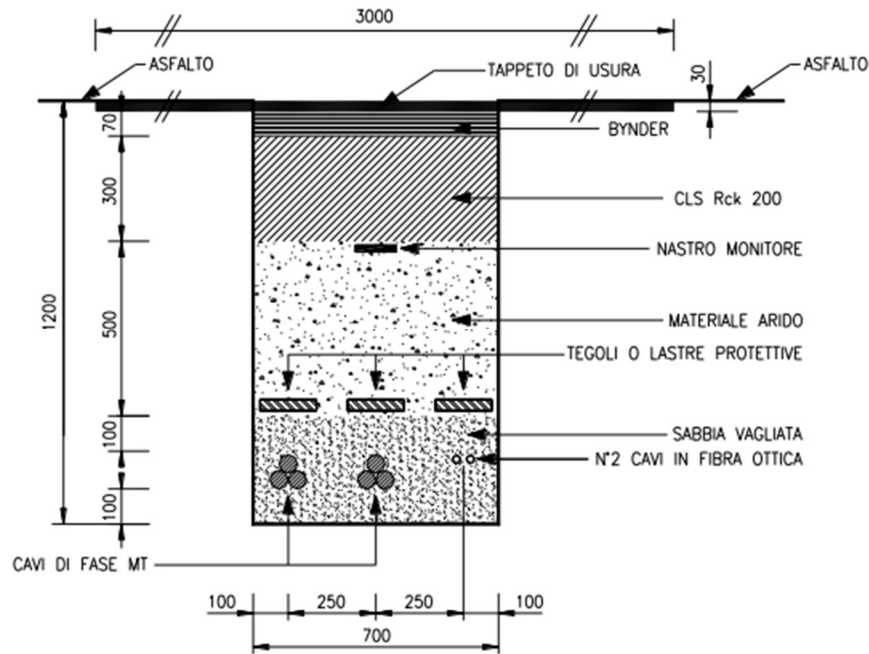
Considerando che una corrente nominale di BT pari a 2.566 A e che il cavo scelto sul lato BT del trasformatore, in classe II di isolamento, del tipo FG16R16 0.6/1 kV in formazione di 3//((6x1x400mm²), con diametro esterno pari a circa 37,7 mm, si ottiene un valore di circa 3,7 m, che arrotondato per eccesso all'intero superiore dà luogo ad una **DPA** pari a **4 m**. Le cabine di campo sono posizionate all'aperto, lontane dal confine della centrale fotovoltaica, pertanto le Distanze di Prima Approssimazione ricadono interamente all'interno di quest'ultima senza interessare luoghi con permanenza di persone pubbliche superiori a 4 ore.

2.1.5 Cabine elettriche di impianto.

Stabilito il contributo dell'induzione magnetica generato dai componenti costituenti i sottocampi dell'unità produttiva di ciascuna area, si passa all'analisi della cabina di raccolta, nella quale confluiscono segnali elettrici provenienti dalle cabine di sottocampo in esercizio alla tensione di 36 kV. Appare evidente che per tali manufatti, in blocco monolitico di c.a.v., la principale sorgente di emissione viene rappresentata dalla presenza degli scomparti elettromeccanici, con massima tensione di isolamento $U_{max} = 45kV$, preposti al convogliamento dell'energia proveniente dai trasformatori dei sottocampi ed al controllo e protezione dell'energia da vettoriare verso il punto di immissione nella Rete di Trasmissione Nazionale. Operando nella logica di massima restrittività si analizza il contributo di induzione magnetica in uscita dall'"Area 3" del Cluster, dalla quale si deriva la conduttura interessata dalla massima corrente nominale; la potenza massima di produzione energetica da fonte solare (50

MW) nonché quella attribuita allo storage di (10 MW) determina una corrente di regime, alla tensione di esercizio di 36 kV, pari a circa 964 A.

La condotta in posa interrata sarà costituita da cavi unipolari isolati in gomma HEPR di qualità G7 con tensione nominale di esercizio U_0/U : 26/45 kV U_{max} : 52 kV in formazione di doppia terna $2/(3 \times 1 \times 630 \text{ mm}^2)$ [$I_z = 835 \text{ A}$].

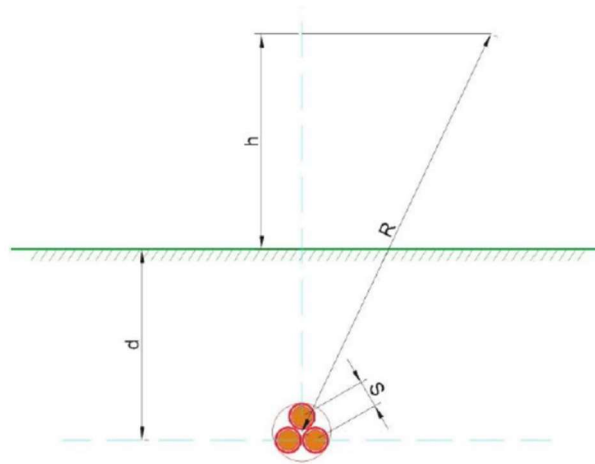


Sezione tipica di posa della linea in cavo su sede stradale

Per tener conto della presenza di due o più terne nella stessa sezione di scavo si è fatto ricorso ad un modello matematico che tenesse conto del campo magnetico generato da ogni singola terna. Il modello costituito, secondo quanto previsto e suggerito dalla norma CEI 211-4 cap. 4.3, tiene conto delle componenti spaziali dell'induzione magnetica, calcolate come somma del contributo delle correnti nei diversi conduttori.

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right] \quad B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{x_i - x}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

È possibile a questo punto effettuare una semplificazione del modello, che consideri il contributo non del singolo conduttore ma dell'intera terna, della quale sono note le caratteristiche geometriche. Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati: in questo modo viene introdotto un grado di protezione maggiore nel sistema.



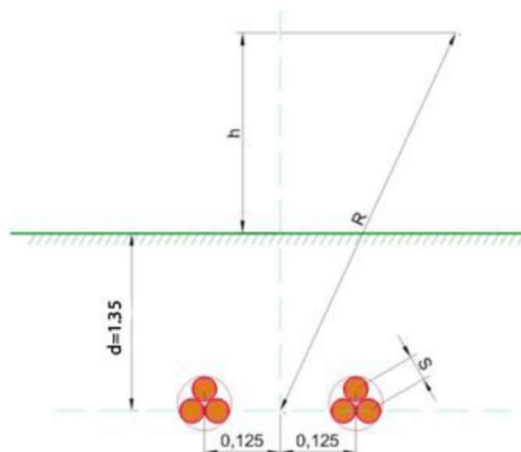
Come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3, per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato

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

Dove **B** [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante **R** [m] dal conduttore centrale, **S** [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a **I** [A]. Considerata la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato di cui prima, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto.

Considerata quindi la disposizione spaziale delle due terne, e fissando l'asse centrale del sistema come riportato in figura, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2}$$



dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle due terne di cavi), S_i [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti della terna i -esima, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I_i [A] (specifica della terna i -esima). Per quanto riguarda la corrente "I", il DPCM 8/07/2003 all'art.6 indica di fare riferimento alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, così come definita dalla norma CEI 11-60, la quale regola la portata al limite termico delle linee aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV. Trattandosi nel caso specifico invece di linea interrata in media tensione (36 kV), e non potendosi fare riferimento a quanto previsto dal decreto, si è fatto riferimento alla portata in corrente in regime permanente, così come definita dalla norma CEI 11-17.

Tornando al caso specifico in progetto, ai fini del calcolo relativo a due terne di cavi, è stato preso in esame il caso di due terne di cavi della sezione di 630 mm².

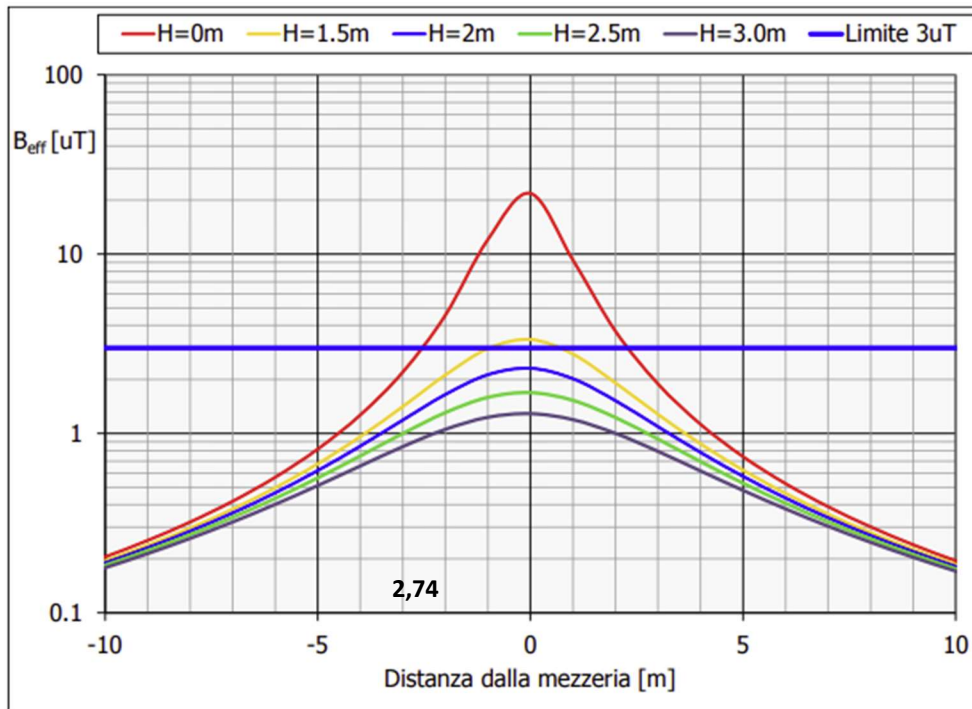
Per semplicità di calcolo si assumerà la medesima fascia di rispetto anche per la parte a monte del percorso di vettoriamento energia.

Le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli sono le seguenti:

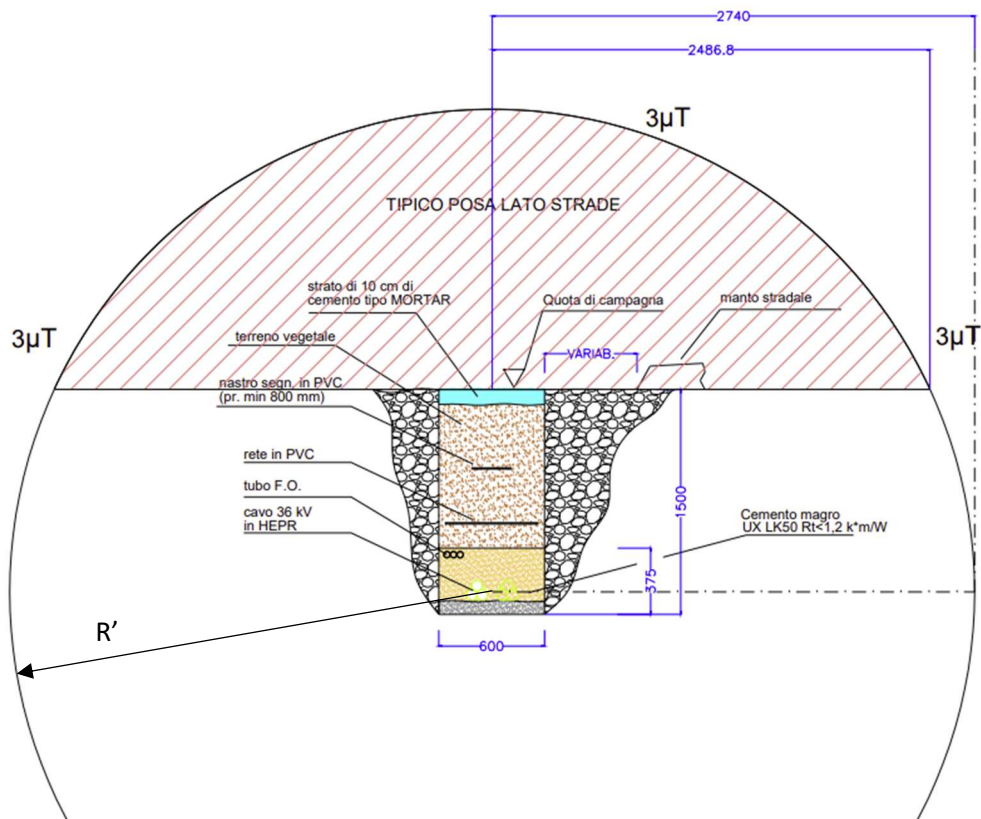
Profondità di posa cavi	1,200 m
Distanza terna 1 dall'asse y	0,125 m
Distanza terna 2 dall'asse y	0,125 m
Sezione terne	3x1x630 mm ²
Portata cavo nominale	835 A
Portata cavo corretta	710 A
Corrente nominale su ciascuna terna	482 A

[In considerazioni delle condizioni di esercizio e della compresenza di più cavi nello stesso scavo si è determinato un fattore di correzione della portata del cavo in uso pari a 0.85]

Considerando che la terna alloggiata nella conduttura in posa interrata, atta al collegamento delle unità produttive alla S.E. di Terna di Cellino San Marco, è costituita da cavi unipolari con diametro esterno massimo \varnothing pari a 62.7 mm, si ottiene una DPA pari a 2.74 che, arrotondata per eccesso, si assume pari a **3,00 m**.



Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo per la massima corrente del cavo



Rappresentazione dell'induzione magnetica calcolata [$R' = 2,74 m$ - DPA al suolo $\sim 2,50 m$]

3. CONCLUSIONI

Alla luce di quanto sopra esposto, in considerazione di quanto segue:

- ✓ che le condutture di bassa tensione in distribuzione all'interno dei sottocampi, realizzati con cavi in classe II di isolamento del tipo FG16R16, generano una DPA pari a 4 m ed interessano esclusivamente l'area delle unità produttive
- ✓ che le recinzioni di delimitazione dei cluster della centrale fotovoltaica si distanziano di oltre 5 m dagli inseguitori monoassiale (strutture ospitanti i pannelli fotovoltaici) e cabine di trasformazione, pertanto non interferendo con alcun recettore sensibile,
- ✓ che il percorso delle condutture elettriche di vettoriamento energia elettrica dalle cabine di trasformazione alla cabina di raccolta, esclusivamente all'interno dei campi fotovoltaici, è realizzato con cavi MT del tipo cordato ad elica visibile a tensione $U_0/U=26/45$ kV, isolamento ridotto e schermo in tubo di alluminio, di formazione $3 \times 1 \times 185 \text{mm}^2$ con conduttori in Al ARG7H1RNRX,
- ✓ che il percorso della condotta di vettoriamento dell'energia elettrica prodotta da fonte solare all'edificio sala Quadri 36 kV della Stazione Elettrica di Terna "SE Cellino San Marco", quindi con interrimento in banchina di strade a percorrenza pubblica, è realizzato con cavi MT del tipo RG7H1R a tensione $U_0/U=26/45$ kV, isolamento in gomma HEPR di qualità G7 e schermo in rame in controspirale, di formazione varia fino alla massima di $2 \times (3 \times 1 \times 630 \text{mm}^2)$,
- ✓ che l'interrimento della condotta di vettoriamento principale dell'energia alla profondità superiore a 1,20 m produce effetti del campo magnetico sicuramente irrilevanti già alla distanza di circa 3,00 m dall'asse di posa dei cavi stessi,
- ✓ che le aree in cui avviene la posa dei cavi sono a destinazione agricola ed avviene al di sotto di strade esistenti (interpoderali, comunali e provinciali, con attraversamento delle stesse),
- ✓ che, per quanto afferisce alle cabine di raccolta e di sezionamento esercite in MT, la fascia di rispetto rientra nei confini dell'area di pertinenza delle medesime cabine,
- ✓ che nelle aree in oggetto di intervento non è prevista la permanenza stabile di persone per oltre 4 ore e/o la costruzione di edifici, pertanto si è nelle condizioni di assenza di **recettori sensibili**,

si può asserire che per quanto afferente alle opere di utenza, sia di bassa tensione che a 36 kV, **l'impatto elettromagnetico indotto dai cavi e componenti eserciti a 36 kV è praticamente non significativo;**

Appare utile ribadire che le opere elettriche in progetto e relative DPA non interferiscono con alcun **recettore sensibile**, non interessando aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici o luoghi adibiti a permanenze di persone superiori a quattro ore, rispondendo pienamente agli obiettivi di qualità dettati dall'art.4 del D.P.C.M 8 luglio 2003. Inoltre, sono rispettate ampiamente le distanze da fabbricati adibiti ad abitazione o ad altra attività che comporti tempi di permanenza prolungati, previste

dal D.P.C.M. 23 aprile 1992 "*Limiti massimi di esposizione al campo elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale di 50 Hz negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno*".

Si può asserire, inoltre, che all'interno della Stazione Elettrica di Terna, **l'impatto elettromagnetico indotto dai componenti elettrici ed elettromeccanici della sezione di pertinenza della Powertis srl, eserciti alla tensione di 36 kV, è praticamente non significativo.**

Il progettista