



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R11_02

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGE
1 di/of 23

TITLE. Relazione sui Campi Elettromagnetici

AVAILABLE LANGUAGE: IT

RELAZIONE SU CAMPI ELETTROMAGNETICI

Impianto agrivoltaico avanzato denominato “Voghiera PV 001” di potenza pari a 24,54 MW_p e relative opere di connessione alla RTN nel Comune di Voghiera (FE) e Ferrara (FE)
“VOGHIERA PV 001”

Comune di Voghiera (FE) e Ferrara (FE)



File: VOG-PV001-R11_02_Relazione sui Campi Elettromagnetici

02	11/05/2026	Rev.02	A.Rachiele L.Intermoia	R.Hernandez	L.Spaccino
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

CLIENT CODE

VOG-PV001-R11

PROJECT	TYPE	PROGR.	REV
VOG-PV001	R	11	02
CLASSIFICATION Company	UTILIZATION SCOPE Emissione per procedura di PAUR ai sensi dell'art. 27bis D.Lgs. 152/2006		

Questo documento è di proprietà di iCube Development 16. È severamente vietato riprodurre questo documento, in tutto o in parte, e fornire ad altri qualsiasi informazione correlata senza il previo consenso scritto di iCube Development 16.



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: **VOG-PV001-R11_02**

PROJECT: **VOGHIERA PV 001**

PAGINA - PAGE
2 di/of 23

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. QUADRO NORMATIVO.....	4
3. CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI A BASSE FREQUENZE	7
4. CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE	8
4.1. Campo Elettrico	8
4.2. Campo Magnetico.....	8
5. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAI CAVI E DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA)9	
5.1. Campi elettromagnetici interni all'impianto	9
5.2. Campi elettromagnetici esterni all'impianto.....	16
6. TRANSFORMATION UNIT	22
7. CONCLUSIONI.....	22



1. PREMESSA

La presente costituisce la relazione sui campi elettromagnetici prodotti dall'impianto agrivoltaico avanzato denominato "Voghiera PV-001", proposto da iCube Development I6.

Complessivamente, la potenza in immissione dell'impianto sarà pari a 23,10 MW e sarà caratterizzato da una potenza nominale di 24,54 MWp.

Le opere in progetto saranno site nei Comuni di Voghiera e Ferrara in Provincia di Ferrara in Emilia-Romagna.

Coerentemente alla STMG ottenuta con codice di rintracciabilità n. 202400190 l'impianto verrà connesso in antenna a 36 kV su un ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale a 380/132 kV denominata "Ferrara Focomorto".

L'impianto agrivoltaico in questa prima fase è stato suddiviso in n.4 sottocampi, ognuno dei quali sarà collegato, a mezzo cavidotto a 36 kV, ad una cabina di raccolta e sezionamento; ogni sottocampo è composto da due (TU) tale che la potenza di ogni sottocampo sia circa 6 MW.

Il cavidotto AT a 36 kV, in uscita dalla cabina di raccolta e sezionamento, si collegherà sul futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale a 380/132 kV denominata "Ferrara Focomorto"

Nel seguito della presente relazione si analizzeranno dapprima gli effetti dei campi elettrici e magnetici prodotti a frequenze di rete (50Hz) dovuti alla generazione, alla trasmissione, alla distribuzione e all'uso dell'energia elettrica e in secondo momento si valuteranno tali effetti per il progetto in esame con il calcolo delle Distanze di Prima Approssimazione (nel seguito DPA) da tenersi.



2. QUADRO NORMATIVO

Di seguito si riportano i principali riferimenti normativi pertinenti:

- D.M. 21 marzo 1988, n.449 - Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee aeree esterne.
- Norma CEI 106-11 - Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo.
- Norma CEI 211-4 - Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e stazioni elettriche.
- Norma CEI 11-17 "Norme per gli impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica, linee in cavo"
- Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'allegato al DM 29.5.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche.
- Raccomandazione Consiglio Ue 1999/519/CE - Limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz.
- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 - Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. Legge contenente le indicazioni generali circa funzioni e competenze, piani di risanamento, catasto delle sorgenti, controlli e sanzioni, ai fini della tutela della popolazione e dei lavoratori dall'esposizione a campi elettromagnetici.
- D.P.C.M. 08.07.2003 - 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 attuativo della legge quadro, fissa i limiti per le emissioni degli elettrodotti, definisce tecniche di misurazione e valutazione e dà indicazioni circa la determinazione delle fasce di rispetto.
- D.M. 29.05.2008 - Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti. Contiene, in allegato, la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, definita da ISPRA e dal sistema delle Agenzie ambientali secondo quanto previsto dal DPCM 08/07/2003.
- "Linee guida in materia di impianti agrivoltaici", Ministero della Transizione Ecologica -Dipartimento per l'energia.
- LEGGE 29 luglio 2021, n. 108 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77, recante governance del Piano nazionale di ripresa e resilienza e prime misure di rafforzamento delle strutture amministrative e di accelerazione e snellimento delle procedure".
- "Consultazione pubblica Misura PNRR Sviluppo Agrivoltaico: Piano di Ripresa e Resilienza, Missione 2 (Rivoluzione verde e Transizione ecologica), Componente 2 (Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile), Investimento 1.1 (Sviluppo Agrovoltico)".
- "Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030 (PNIEC)", Ministero dello Sviluppo Economico (PNIEC_finale_17012020.pdf (mise.gov.it)).



- D.Lgs. 8 novembre 2021, n. 199, di recepimento della direttiva UE 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, (Direttiva RED II).

In particolare, ai fini della protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50Hz) generati da linee e cabine elettriche, il D.P.C.M. 8 luglio 2003 (artt. 3 e 4) stabilisce, in conformità alla Legge 36/2001 (art. 4, c. 2), quanto segue:

Art.3, comma 1

Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

Art.3, comma 2

A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Art.4, comma 1

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.

Art. 6, comma 1

Per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità di cui all'articolo 4 ed alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla norma CEI 11-60, che deve essere dichiarata dal gestore al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV, e alle Regioni, per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV. I gestori provvedono a comunicare i dati per il calcolo e l'ampiezza delle fasce di rispetto ai fini delle verifiche delle autorità competenti.

Nel seguito si riportano alcune definizioni tratte dalla legge 36/2001, dal D.P.C.M. 8 luglio 2003, e dal D.M. 29 maggio 2008, utili ai fini dell'inquadramento della materia trattata.

Campata: elemento minimo di una linea elettrica sotteso tra due sostegni.

Distanza di Prima Approssimazione (DPA): per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le cabine secondarie è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

Elettrodotto: è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.



Fascia di rispetto: è lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità ($3 \mu\text{T}$). Come prescritto dall'articolo 4, c.1 lettera h) della Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001, all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario e ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.

Impianto: officina elettrica destinata, simultaneamente o separatamente, alla produzione, allo smistamento, alla regolazione e alla modifica (trasformazione e/o conversione) dell'energia elettrica transitante in modo da renderla adatta a soddisfare le richieste della successiva destinazione. Gli impianti possono essere: Centrali di produzione, Stazioni elettriche, Cabine di Primarie e Secondarie e Cabine Utente.

Limiti di esposizione: nel caso di esposizione, della popolazione, a campi elettrici e magnetici, alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di $100 \mu\text{T}$ per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

Linea: collegamento con conduttori elettrici, delimitato da organi di manovra, che permettono di unire due o più impianti.

Luoghi tutelati: aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere.

Obiettivo 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 giornaliere 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 della popolazione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Portata in corrente in servizio normale: è la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento. Essa è definita nella norma CEI 11-60.

Sostegno: elemento di supporto meccanico della linea aerea.

Tratta: porzione di tronco (campate contigue) avente caratteristiche omogenee di tipo elettrico, di tipo meccanico (tipologia del conduttore, configurazione spaziale dei conduttori sui tralicci, ecc.) e relative alla proprietà.

Valore di attenzione: a titolo di misura di cautela per la protezione della popolazione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di $10 \mu\text{T}$, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.



3. CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI A BASSE FREQUENZE

I valori limite fissati nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici per le basse frequenze sono imposti dal D.P.C.M. 08/07/2003, pubblicato sulla G.U. n.200 del 29 Agosto 2003, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti", sono riportati nella seguente tabella:

	CAMPO ELETTRICO [kV/m]	INDUZIONE MAGNETICA [μ T]
Limite di esposizione	5	100
Valore di attenzione	-	10
Obiettivo di qualità	-	3

Il decreto prevede, nel caso del limite di esposizione, che i valori di campo elettrico e campo magnetico siano espressi come valori efficaci mentre, per il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità, l'induzione magnetica è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio, in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere.

Si fa notare che i suddetti limiti non si applicano ai lavoratori professionalmente esposti che operano nel settore della costruzione, manutenzione, etc. poiché quest'ultimi sono sottoposti ad una differente normativa.

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.



4. CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE

4.1. Campo Elettrico

Il campo elettrico risulta ridotto in maniera significativa per l'effetto combinato della speciale guaina metallica schermante del cavo e 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.

4.2. Campo Magnetico

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono principalmente:

- distanza dalle sorgenti (conduttori);
- intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- presenza di sorgenti compensatrici;
- 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 in cavo. I valori di campo magnetico risultano notevolmente abbattuti mediante interrimento degli elettrodotti. Questi saranno posti a circa 0,8 - 1,7 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, che sono 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), però l'intensità di campo magnetico decresce molto più rapidamente con la distanza. 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).

Un altro metodo che consente di ridurre i valori d'intensità di campo elettrico e magnetico è rappresentato dall'adozione di "linee compatte", una soluzione che prevede il posizionamento dei cavi vicini tra di loro, ottenendo in questo modo una riduzione del campo magnetico in virtù della presenza delle membrane isolanti che rivestono i cavi. 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 l'attenuazione è maggiore.



5. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAI CAVI E DISTANZA di PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA)

5.1. Campi elettromagnetici interni all'impianto

Come già anticipato in premessa l'impianto agrivoltaico denominato "Voghiera PV-001" è stato suddiviso in n.4 sottocampi, ognuno dei quali sarà collegato, a mezzo cavidotto a 36 kV, ad una cabina di raccolta e sezionamento; ogni sottocampo è composto da due Transformation Unit (TU) tale che la potenza di ogni sottocampo sia circa 6 MW.

Il cavidotto AT a 36 kV, in uscita dalla cabina di raccolta e sezionamento, si collegherà sul futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale a 380/132 kV denominata "Ferrara Focomorto".

Sono previsti in progetto i seguenti cavidotti interni all'impianto:

CAB RAC->TU1	Alta	3F	5895	1	5895	1	4,97	3x(1x95)	445	36000	-1,23	94,5<=100<=195,3 A
CAB RAC->TU3	Alta	3F	6187	1	6187	1	4,96	3x(1x95)	445	36000	-1,24	99,2<=100<=195,3 A
CAB RAC->TU5	Alta	3F	4718	1	4718	1	4,98	3x(1x95)	609	36000	-1,24	75,7<=84,4<=195,3 A
CAB RAC->TU7	Alta	3F	5895	1	5895	1	4,97	3x(1x95)	380	36000	-1,22	94,5<=100<=195,3 A
TU1->TU2	Alta	3F	2947	1	2947	1	4,9	3x(1x95)	10	36000	-1,23	47,3<=50<=134,8 A
TU3->TU4	Alta	3F	2947	1	2947	1	4,9	3x(1x95)	10	36000	-1,24	47,3<=50<=134,8 A
TU5->TU6	Alta	3F	2359	1	2359	1	4,87	3x(1x95)	10	36000	-1,24	37,8<=40<=134,8 A
TU7->TU8	Alta	3F	2948	1	2948	1	4,91	3x(1x95)	10	36000	-1,22	47,3<=50<=134,8 A

il dettaglio del tracciato dei cavidotti è riportato nel documento: "VOG-PV001-T22_Planimetria dei Cavidotti di Impianto".

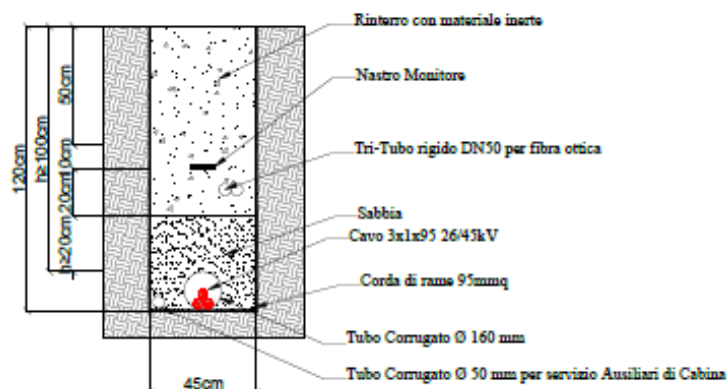
La norma CEI 106-11 definisce le formule per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta da un sistema trifase di conduttori rettilinei disposti tra loro parallelamente e percorsi da una terna di correnti equilibrate e simmetriche. Successivamente dimostra che il campo magnetico nell'intorno dei cavi cordati ad elica è inferiore tanto più quanto è piccolo il passo dell'elica.

La norma CEI 211-4 fornisce invece le metodologie per il calcolo dei campi elettromagnetici generati dalle linee elettriche aeree ed interrato, sviluppate limitatamente a geometrie bidimensionali e applicabili a casi di interesse pratico.

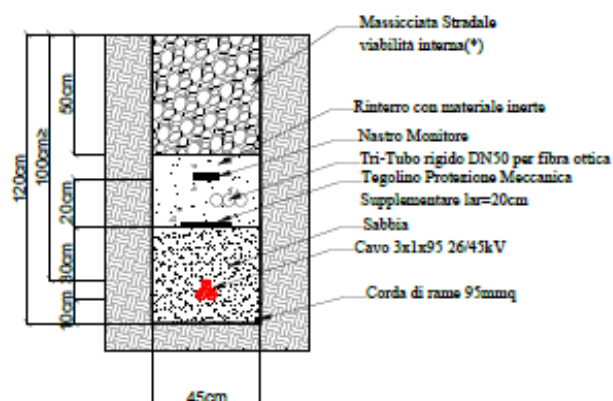
Il valore del campo magnetico indotto dipende dal valore di corrente elettrica che attraversa il conduttore e dal numero di terne di cavidotti presenti all'interno dello scavo, dal momento che la presenza contemporanea di più terne provoca un incremento del campo magnetico. Occorre quindi tenere in considerazione le diverse modalità di posa dei cavidotti, nel caso in esame saranno esaminate le seguenti tipologie:



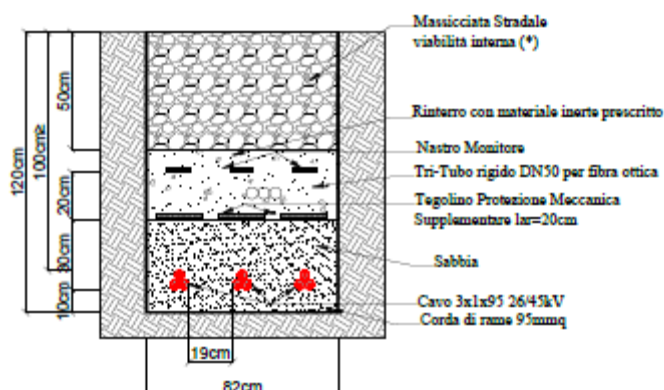
1. Scavo con una terna di cavi a 36kV del tipo A2XS(FL)2Y in tubazione interrata per il collegamento di TU adiacenti, profondità scavo 1.2m larghezza scavo 0.45m;



2. Scavo con una terna di cavi a 36kV del tipo A2 XS(FL)2Y per collegamento delle TU, profondità scavo 1.2m larghezza scavo 0.45m

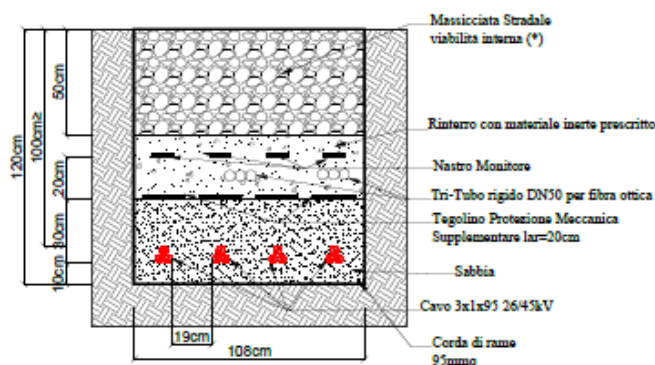


3. Scavo con tre terne di cavi adiacenti a 36kV del tipo A2 XS(FL)2Y per collegamento delle TU, profondità scavo 1.2m larghezza scavo 0.82m





4. Scavo con quattro terne di cavi adiacenti a 36kV del tipo A2 XS(FL)2Y per collegamento delle TU, profondità scavo 1.2m larghezza scavo 1.06m



Non sono stati presi però in considerazione gli effetti dovuti alla presenza di eventuali linee elettriche interrato o aeree già in esercizio non facenti parte dell'impianto di progetto.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni eseguite per determinare la DPA. Si ricorda che, secondo quanto riportato nella "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'allegato al DM 29.5.2008", la DPA ricavata viene approssimata per eccesso al metro successivo.

Tipologia 1 e 2

Nel caso degli scavi al cui interno è posata una sola terna di cavi, in accordo alla norma CEI 106-11 art. 6.2.3 b), la formula approssimata per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta da conduttori unipolari disposti a trifoglio (come da scelta progettuale) è la seguente:

$$B = 0.1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R'^2} [\mu T]$$

nella quale "S" rappresenta la distanza tra le generatrici delle terne dei conduttori, "I" è la corrente che percorre i cavi, "R' " è la distanza o raggio dal centro geometrico dei conduttori rispetto al quale corrisponde un valore di induzione magnetica "B" pari a 3μT.

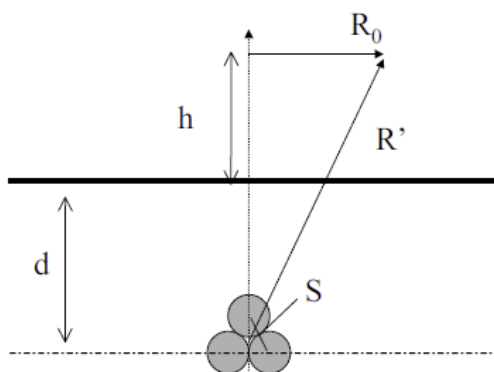


Fig.1 Rappresentazione geometrica delle grandezze di interesse per il calcolo della DPA



Dalla relazione di cui sopra si ricava dunque il valore di distanza "R' " che permette di definire il luogo geometrico dei punti che non rispettano l'obiettivo di qualità:

$$R' = 0.286 * \sqrt{S * I} [m]$$

Nel caso di posa di una terna di cavi A2 XS(FL)2Y 3x(1x95mm²), si ottiene:

CORRENTE MASSIMA DELLA PORTATA DEL CAVO	I	255	A
DISTANZA TRA LE GENERATRICI DELLA TERNA CAVI	S	0.041	m
PROFONDITA' INTERRAMENTO DEI CAVI	d	1	m
RAGGIO DI INDUZIONE MAGNETICA SINO A 3μT	R'	0.92	m
DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE	DPA	0	m

Poiché la profondità di posa della terna è 1 m, valore conservativo, il valore di induzione magnetica emesso da questa terna è minore di 3μT già al livello del suolo. Questo implica per questa tipologia di posa un valore di DPA=0.

Tipologia 3, 4 e 5

Per tener conto di due o più terne nella stessa sezione di scavo si è fatto ricorso ad un modello matematico che prende in considerazione il campo magnetico generato da ogni singola terna.

Il modello, costituito secondo quanto previsto e suggerito dalla norma CEI 211-4 cap 4.2.2.3, tiene conto delle componenti spaziali dell'induzione magnetica, calcolate come somma del contributo delle correnti nei diversi conduttori. È possibile effettuare una semplificazione del modello proposto che considera il contributo non del singolo conduttore ma della intera terna.

Riprendendo quanto già detto precedentemente per i cavi unipolari posati a trifoglio si può ricorrere al calcolo del campo magnetico utilizzando la seguente espressione:

$$B = 0.1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R'^2} [\mu T]$$

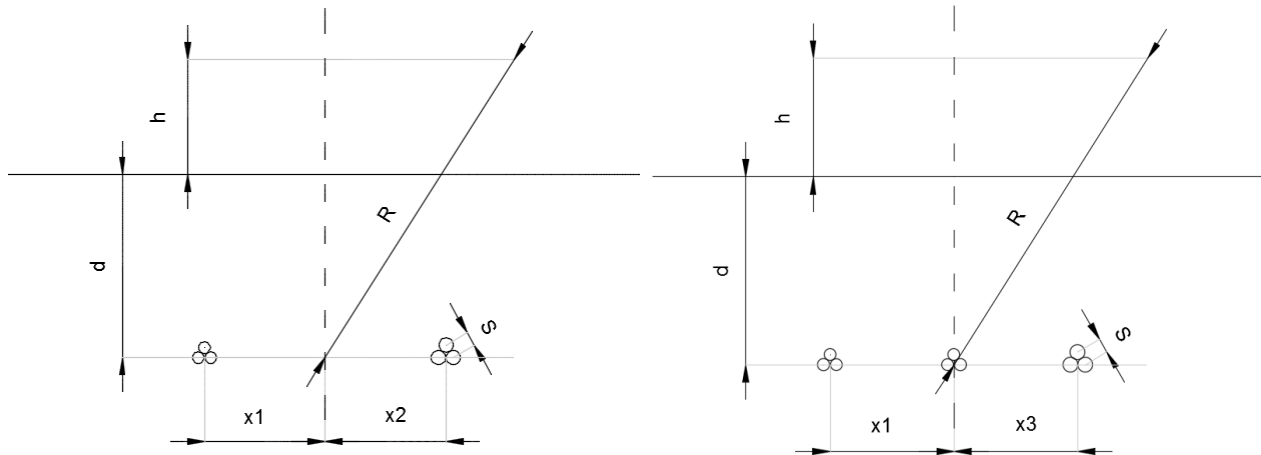
Considerata la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi generati dalle singole terne e calcolare, tramite il modello semplificato di cui prima, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto.

Fissando quindi l'asse centrale del sistema di terne, identiche, in posizione baricentrica rispetto alle stesse il campo magnetico generato dalle terne di elettrodotti può essere calcolato dalla più generica espressione:

$$B = 0.1 * \sqrt{6} * \sum_i \frac{S_i * I_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} [\mu T]$$

dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto di coordinate (x,y) rispetto al centro del sistema

(baricentro delle terne di cavi identici), 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). La terna i -esima è individuata dalle coordinate (x_i, y_i) ; la rappresentazione di due e tre terne di cavi posati nel medesimo scavo è rappresentata nelle figure seguenti:



Riprendendo i dati S , I e d per il caso di posa di due terne di cavi A2 XS(FL)2Y 3x(1x95mm²) la espressione per il calcolo del valore dell'induzione magnetica diventa:

$$B = 2.56 \left[\frac{1}{(x + 0.125)^2 + (y + 1)^2} + \frac{1}{(x - 0.125)^2 + (y + 1)^2} \right] [\mu T]$$

Nel caso di tre terne di cavi invece la espressione diventa:

$$B = 2.56 \left[\frac{1}{(x + 0.190)^2 + (y + 1)^2} + \frac{1}{x^2 + (y + 1)^2} + \frac{1}{(x - 0.190)^2 + (y + 1)^2} \right] [\mu T]$$

questo perché la distanza della seconda terna di cavi dal baricentro delle tre terne è pari a 0 (zero).

Nel caso di quattro terne di cavi nel medesimo scavo la espressione diventa:

$$B = 2.56 \left[\frac{1}{(x + 0.285)^2 + (y + 1)^2} + \frac{1}{(x + 0.095)^2 + (y + 1)^2} + \frac{1}{(x - 0.095)^2 + (y + 1)^2} + \frac{1}{(x - 0.285)^2 + (y + 1)^2} \right] [\mu T]$$

Nel seguito vengono rappresentate su grafico le curve di intensità dell'induzione magnetica al variare della distanza (ascisse del grafico) dal baricentro terne e per diverse distanze dal suolo ($h=0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3$ in metri), le distanze (ascisse) rispetto al baricentro terne sono state fatte variare da -10 metri a +10 metri.

Fig.3 Induzione magnetica totale nel caso di posa di due terne di cavi 1x3x640mmq e 1x3x800mmq nello stesso scavo

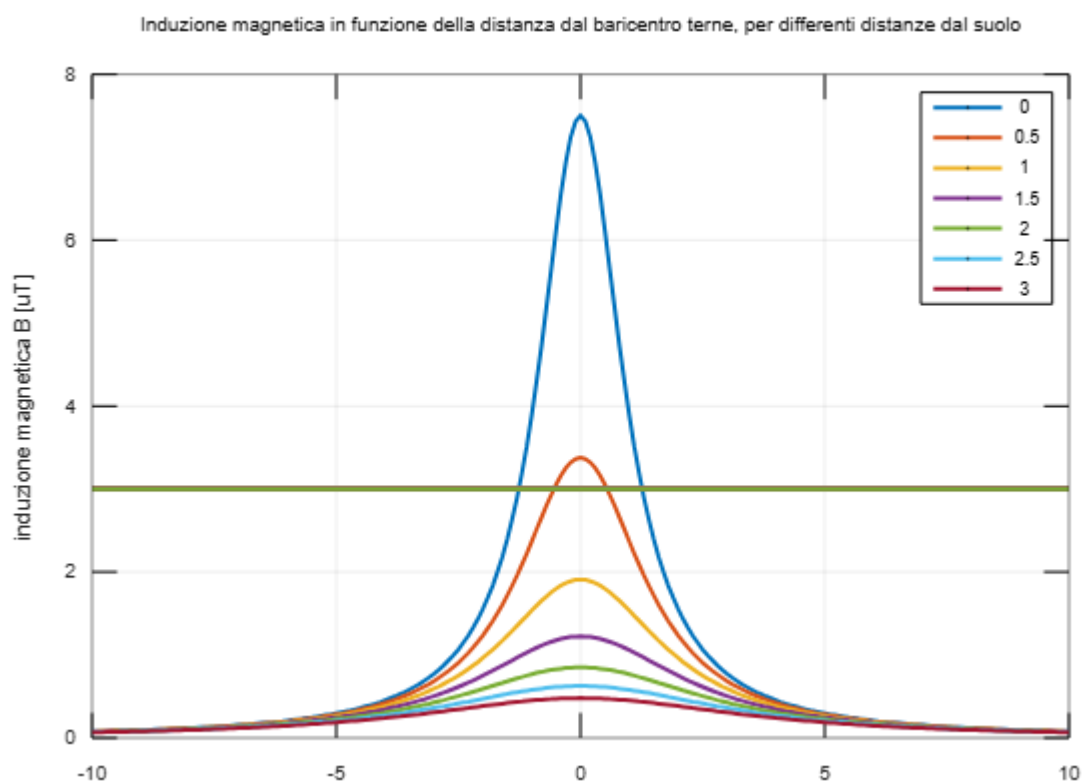


Fig.4 Andamento della induzione magnetica nel caso di posa di tre terne di cavi nello stesso scavo, l'obiettivo di qualità è fissato a $3\mu\text{T}$

Nel caso di posa di tre terne di cavi A2 XS(FL)2Y 3x(1x95mm²) nel medesimo scavo, si ottiene:

CORRENTE MASSIMA DELLA PORTATA DEL CAVO	I	255	A
DISTANZA TRA LE GENERATRICI DELLA TERNA CAVI	S	0.041	m
PROFONDITA' INTERRAMENTO DEI CAVI	d	1	m
VALORE DI x PER IL QUALE $B= 3\mu\text{T}$, al suolo ($y=0$)	x	1.25	m
VALORE DI h AL DISOPRA DEL TERRENO PER CUI $B= 3\mu\text{T}$, ALL'ASSE BARICENTRICO DELLE TERNE DI CAVI ($x=0$)	h	0,59	m
DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE AL SUOLO, approssimazione al metro successivo	DPA	2	m

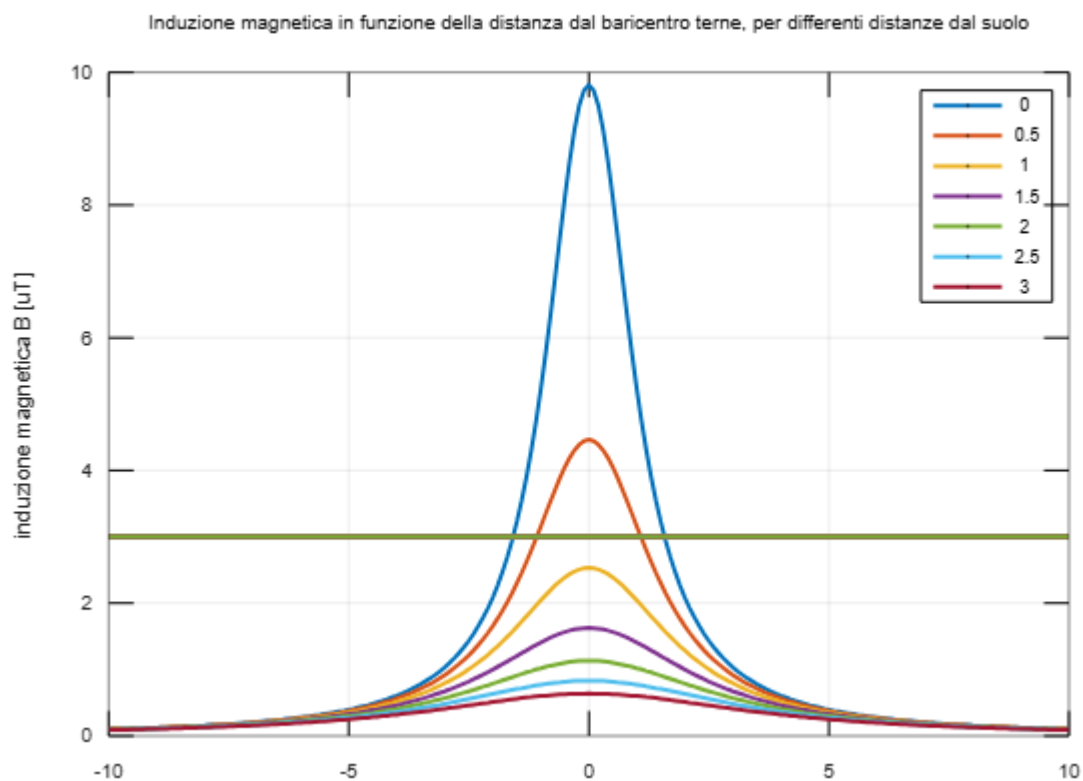


Fig.5 Andamento della induzione magnetica nel caso di posa di quattro terne di cavi nello stesso scavo, l'obiettivo di qualità è fissato a $3\mu T$

Nel caso di posa di quattro terne di cavi A2 XS(FL)2Y 3x(1x95mm²) nel medesimo scavo, si ottiene:

CORRENTE MASSIMA DELLA PORTATA DEL CAVO	I	255	A
DISTANZA TRA LE GENERATRICI DELLA TERNA CAVI	S	0.041	m
PROFONDITA' INTERRAMENTO DEI CAVI	d	1	m
VALORE DI x PER IL QUALE $B = 3\mu T$, al suolo ($y=0$)	x	1.55	m
VALORE DI h AL DISOPRA DEL TERRENO PER CUI $B = 3\mu T$, ALL'ASSE BARICENTRICO DELLE TERNE DI CAVI ($x=0$)	h	0,82	m
DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE AL SUOLO, approssimazione al metro successivo	DPA	2	m



5.2. Campi elettromagnetici esterni all'impianto

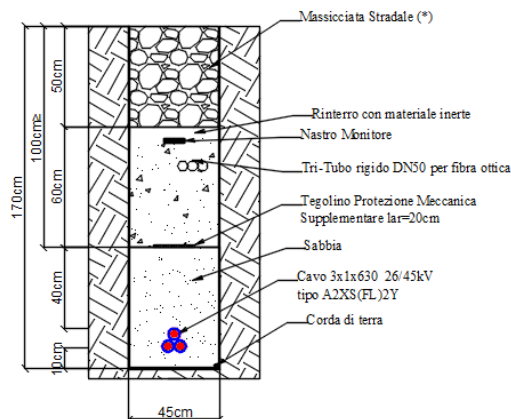
Sono previsti in progetto i seguenti cavidotti esterni all'impianto per il collegamento dello stesso alla cabina di smistamento ed alla SE Terna:

	Sistema	Circuito	Pn [kW]	Coef.	Pd [kW]	Cosfi	Ikm max [kA]	Formazione	Lc [m]	Vn [V]	CdtT (Ib) [%]	Ib<=In<=Iz
AREA SEZIONAMENTO - SE TERNA	Alta	3F	22684	1	22684	1	8,02	3x(1x800)	12217	36000	-1,21	404,25<=526<=695 A
CAB RAC - AREA SEZIONAMENTO	Alta	3F	22684	1	22684	1	4,67	3x(1x630)	63	36000	-1,21	363,8<=401<=553,3 A

il dettaglio del tracciato dei cavidotti è riportato nel documento: *"VOG-PV001-T23_Planimetria dei Cavidotti di Connessione alla Rete"*.

Il valore del campo magnetico indotto dipende dal valore di corrente elettrica che attraversa il conduttore e dal numero di terne di cavidotti presenti all'interno dello scavo, dal momento che la presenza contemporanea di più terne provoca un incremento del campo magnetico. Occorre quindi tenere in considerazione le diverse modalità di posa dei cavidotti, nel caso in esame saranno esaminate le seguenti tipologie:

1. Scavo con una terna di cavi adiacenti a 36kV del tipo A2 XS(FL)2Y 1x3x630mmq, profondità scavo 1.5m larghezza scavo 0.45m



(*) Spessore e ripristino in funzione del progetto delle strade di viabilità

per il calcolo della DPA per tale tipologia di posa si userà la espressione già vista precedentemente al fine di determinare la intensità dell'induzione magnetica generata dai cavi:

$$B = 0.1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R'^2} [\mu T]$$

e il valore di distanza "R' " che permette di definire il luogo geometrico dei punti che non rispettano l'obiettivo di qualità:

$$R' = 0.286 * \sqrt{S * I} [m]$$

Indicando con "d" la profondità di posa e dalla rappresentazione geometrica. Fig. 1, della terna di cavi interrati si può calcolare la fascia di rispetto a livello del suolo "R₀ ", ovvero la distanza in orizzontale



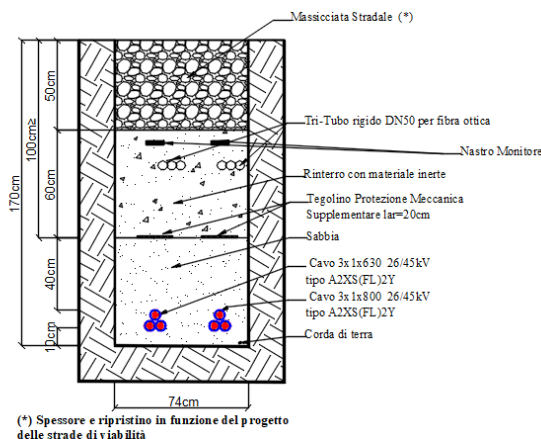
rispetto al baricentro della terna dopo la quale il valore dell'induzione magnetica a livello del suolo scende sotto i 3 μT :

$$R_0 = \sqrt{0.082 * S * I - d^2} [m]$$

nel caso di posa di una terna di cavi A2 XS(FL)2Y 3x(1x630mm²), si ottiene:

CORRENTE MASSIMA DELLA PORTATA DEL CAVO	I	715	A
DISTANZA TRA LE GENERATRICI DELLA TERNA CAVI	S	0.060	m
PROFONDITA' INTERRAMENTO DEI CAVI	d	1,4	m
RAGGIO DI INDUZIONE MAGNETICA SINO A 3 μT	R'	1.87	m
DISTANZA IN ORIZZONTALE A LIVELLO DEL SUOLO DOPO LA QUALE L'INDUZIONE MAGNETICA DIMINUISCE SOTTO I 3 μT	R ₀	1.25	m
DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE	DPA	2	m

2. Scavo con due terne di cavi adiacenti a 36kV del tipo A2 XS(FL)2Y 1x3x630mmq e 1x3x800mmq, profondità scavo 1.5m larghezza scavo 0.74m



per il calcolo della DPA per tale tipologia di posa si userà la espressione già vista precedentemente al fine di determinare la intensità dell'induzione magnetica generata dai cavi:

$$B = 0.1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R'^2} [\mu\text{T}]$$

e il valore di distanza "R'" che permette di definire il luogo geometrico dei punti che non rispettano l'obiettivo di qualità:

$$R' = 0.286 * \sqrt{S * I} [m]$$

Indicando con "d" la profondità di posa e dalla rappresentazione geometrica. Fig. 1, della terna di cavi interrati si può calcolare la fascia di rispetto a livello del suolo "R₀", ovvero la distanza in orizzontale rispetto



al baricentro della terna dopo la quale il valore dell'induzione magnetica a livello del suolo scende sotto i 3 μT :

$$R_0 = \sqrt{0.082 * S * I - d^2} [m]$$

nel caso di posa di una terna di cavi A2 XS(FL)2Y 3x(1x630mm²), si ottiene:

CORRENTE MASSIMA DELLA PORTATA DEL CAVO	I	715	A
DISTANZA TRA LE GENERATRICI DELLA TERNA CAVI	S	0.060	m
PROFONDITA' INTERRAMENTO DEI CAVI	d	1,4	m
RAGGIO DI INDUZIONE MAGNETICA SINO A 3 μT	R'	1.87	m
DISTANZA IN ORIZZONTALE A LIVELLO DEL SUOLO DOPO LA QUALE L'INDUZIONE MAGNETICA DIMINUISCE SOTTO I 3 μT	R ₀	1.25	m
DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE	DPA	2	m

Per tener conto di due o più terne nella stessa sezione di scavo si è fatto ricorso ad un modello matematico che prende in considerazione il campo magnetico generato da ogni singola terna.

Il modello, costituito secondo quanto previsto e suggerito dalla norma CEI 211-4 cap 4.2.2.3, tiene conto delle componenti spaziali dell'induzione magnetica, calcolate come somma del contributo delle correnti nei diversi conduttori. È possibile effettuare una semplificazione del modello proposto che considera il contributo non del singolo conduttore ma della intera terna.

Riprendendo quanto già detto precedentemente per i cavi unipolari posati a trifoglio si può ricorrere al calcolo del campo magnetico utilizzando la seguente espressione:

$$B = 0.1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R'^2} [\mu\text{T}]$$

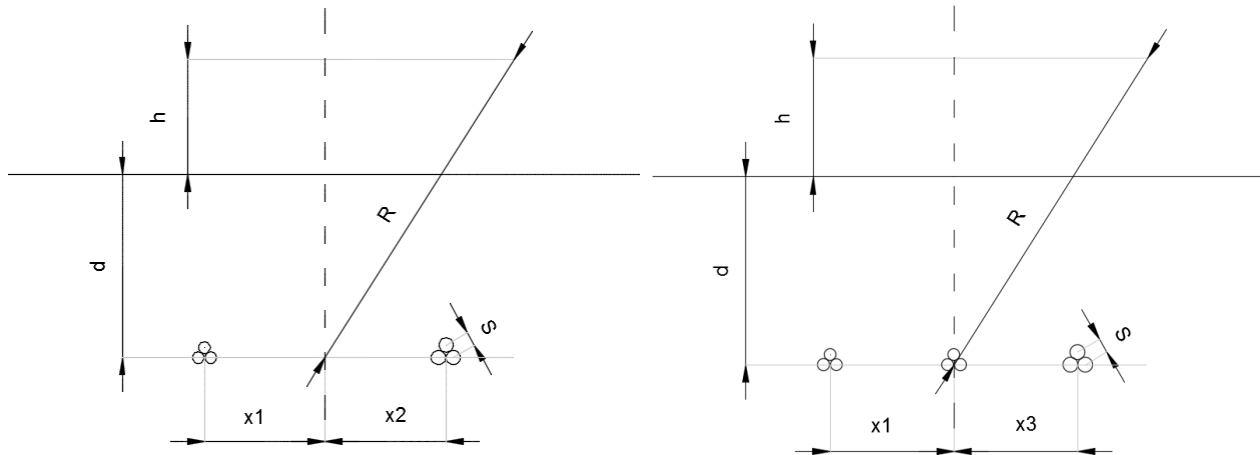
Considerata la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi generati dalle singole terne e calcolare, tramite il modello semplificato di cui prima, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto.

Fissando quindi l'asse centrale del sistema di terne, identiche, in posizione baricentrica rispetto alle stesse il campo magnetico generato dalle terne di elettrodotti può essere calcolato dalla più generica espressione:

$$B = 0.1 * \sqrt{6} * \sum_i \frac{S_i * I_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} [\mu\text{T}]$$

dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto di coordinate (x,y) rispetto al centro del sistema (baricentro delle terne di cavi identici), 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] (specificata della terna i-esima). La

terna i-esima è individuata dalle coordinate (x_i, y_i) ; la rappresentazione di due e tre terne di cavi posati nel medesimo scavo è rappresentata nelle figure seguenti:



Riprendendo i dati S, l e d per il caso di posa di due terne di cavi A2 XS(FL)2Y 3x(1x95mm²) la espressione per il calcolo del valore dell'induzione magnetica diventa:

$$B = 2.56 \left[\frac{1}{(x + 0.125)^2 + (y + 1)^2} + \frac{1}{(x - 0.125)^2 + (y + 1)^2} \right] [\mu T]$$

Nel caso di tre terne di cavi invece la espressione diventa:

$$B = 2.56 \left[\frac{1}{(x + 0.190)^2 + (y + 1)^2} + \frac{1}{(x)^2 + (y + 1)^2} + \frac{1}{(x - 0.190)^2 + (y + 1)^2} \right] [\mu T]$$

questo perché la distanza della seconda terna di cavi dal baricentro delle tre terne è pari a 0 (zero).

Nel caso di quattro terne di cavi nel medesimo scavo la espressione diventa:

$$B = 2.56 \left[\frac{1}{(x + 0.285)^2 + (y + 1)^2} + \frac{1}{(x + 0.095)^2 + (y + 1)^2} + \frac{1}{(x - 0.095)^2 + (y + 1)^2} + \frac{1}{(x - 0.285)^2 + (y + 1)^2} \right] [\mu T]$$

Nel seguito vengono rappresentate su grafico le curve di intensità dell'induzione magnetica al variare della distanza (ascisse del grafico) dal baricentro terne e per diverse distanze dal suolo ($h=0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3$ in metri), le distanze (ascisse) rispetto al baricentro terne sono state fatte variare da -10 metri a +10 metri.

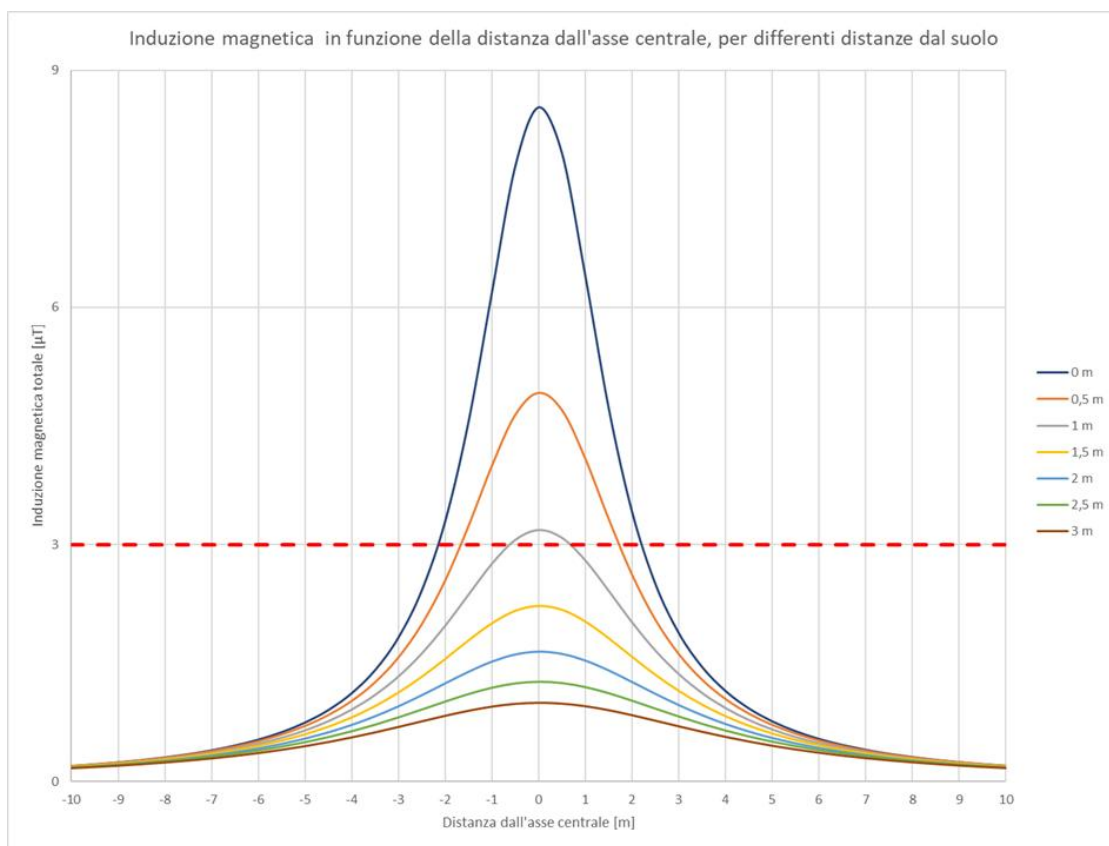


Fig.2 Andamento della induzione magnetica nel caso di posa di due terne di cavi nello stesso scavo, l'obiettivo di qualità è fissato a $3\mu T$

Nel caso di posa di due terne di cavi A2XS(FL)2Y HDPE $1 \times (3 \times 630 \text{ mm}^2)$ e $1 \times (3 \times 800 \text{ mm}^2)$ nel medesimo scavo, si ottiene:

CORRENTE MASSIMA DELLA PORTATA DEL CAVO $1 \times 3 \times 630 \text{ mm}^2$	I	640	A
CORRENTE MASSIMA DELLA PORTATA DEL CAVO $1 \times 3 \times 800 \text{ mm}^2$	I	695	A
DISTANZA TRA LE GENERATRICI DELLA TERNA CAVI	S	0.36	m
PROFONDITA' INTERRAMENTO DEI CAVI	d	1,5	m
VALORE DI x PER IL QUALE $B = 3\mu T$, al suolo ($y=0$)	x	0.76	m
VALORE DI h AL DISOPRA DEL TERRENO PER CUI $B = 3\mu T$, ALL'ASSE BARICENTRICO DELLE TERNE DI CAVI ($x=0$)	h	1.86	m
DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE AL SUOLO, approssimazione al metro successivo	DPA	2	m



INDUZIONE MAGNETICA TOTALE [μT]							
Distanza dall'asse centrale [m]	Distanza dal livello del suolo						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
-10	0,054	0,053	0,052	0,051	0,049	0,048	0,046
-9,5	0,059	0,058	0,057	0,056	0,054	0,052	0,050
-9	0,066	0,065	0,063	0,062	0,060	0,057	0,055
-8,5	0,074	0,072	0,071	0,068	0,066	0,063	0,060
-8	0,083	0,081	0,079	0,076	0,073	0,070	0,067
-7,5	0,094	0,092	0,089	0,086	0,082	0,078	0,074
-7	0,108	0,105	0,101	0,097	0,092	0,087	0,082
-6,5	0,125	0,121	0,116	0,110	0,104	0,097	0,091
-6	0,145	0,140	0,133	0,126	0,118	0,109	0,101
-5,5	0,172	0,164	0,155	0,145	0,134	0,124	0,114
-5	0,206	0,195	0,183	0,169	0,154	0,141	0,127
-4,5	0,252	0,236	0,217	0,198	0,178	0,160	0,143
-4	0,313	0,289	0,262	0,234	0,207	0,183	0,162
-3,5	0,400	0,361	0,319	0,279	0,242	0,210	0,182
-3	0,525	0,460	0,394	0,334	0,283	0,240	0,204
-2,5	0,714	0,598	0,492	0,402	0,330	0,272	0,227
-2	1,012	0,794	0,616	0,482	0,381	0,307	0,251
-1,5	1,494	1,062	0,767	0,569	0,434	0,340	0,273
-1	2,247	1,396	0,928	0,653	0,482	0,369	0,291
-0,5	3,181	1,714	1,060	0,717	0,516	0,388	0,303
0	3,668	1,853	1,112	0,741	0,528	0,395	0,307
0,5	3,181	1,714	1,060	0,717	0,516	0,388	0,303
1	2,247	1,396	0,928	0,653	0,482	0,369	0,291
1,5	1,494	1,062	0,767	0,569	0,434	0,340	0,273
2	1,012	0,794	0,616	0,482	0,381	0,307	0,251
2,5	0,714	0,598	0,492	0,402	0,330	0,272	0,227
3	0,525	0,460	0,394	0,334	0,283	0,240	0,204
3,5	0,400	0,361	0,319	0,279	0,242	0,210	0,182
4	0,313	0,289	0,262	0,234	0,207	0,183	0,162
4,5	0,252	0,236	0,217	0,198	0,178	0,160	0,143
5	0,206	0,195	0,183	0,169	0,154	0,141	0,127
5,5	0,172	0,164	0,155	0,145	0,134	0,124	0,114
6	0,145	0,140	0,133	0,126	0,118	0,109	0,101
6,5	0,125	0,121	0,116	0,110	0,104	0,097	0,091
7	0,108	0,105	0,101	0,097	0,092	0,087	0,082
7,5	0,094	0,092	0,089	0,086	0,082	0,078	0,074
8	0,083	0,081	0,079	0,076	0,073	0,070	0,067
8,5	0,074	0,072	0,071	0,068	0,066	0,063	0,060
9	0,066	0,065	0,063	0,062	0,060	0,057	0,055
9,5	0,059	0,058	0,057	0,056	0,054	0,052	0,050
10	0,054	0,053	0,052	0,051	0,049	0,048	0,046

Fig.3 Induzione magnetica totale nel caso di posa di due terne di cavi 1x3x630mmq e 1x3x800mmq nello stesso scavo



6. TRANSFORMATION UNIT

In base al DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2, nel caso di cabine di tipo box o similari, la DPA, intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali) della CS, va calcolata simulando una linea trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dal trasformatore (I) e con distanza tra le fasi pari al diametro reale (conduttore + isolante) del cavo (x) (§ 5.2.1) applicando la seguente relazione:

$$DPA = 0.40942 * x^{0.5421} * \sqrt{I}$$

dove:

- DPA = distanza di prima approssimazione [m];
- I = corrente nominale [A];
- x = diametro dei cavi.

La principale sorgente di emissione delle cabine elettriche di trasformazione è costituita dal trasformatore BT/36kV. Nel progetto proposto verranno impiegate cabine elettriche che vedranno installate al loro interno trasformatori essenzialmente con tali tipologie di taglie: 3.300kVA, 3.000kVA e 2.400kVA.

Dal momento che sono stati adottati i tipologici per cabinati da 3.300kVA, che presentano le stesse caratteristiche dimensionali, a vantaggio di sicurezza l'analisi verrà condotta considerando un cabinato al cui interno è presente un trasformatore da 3.300kVA, caso più sfavorevole sia in termini di correnti al secondario sia di diametro dei cavi, estendendo i risultati anche alle altre transformation unit.

Considerando quindi per il trasformatore da 3.300 kVA un valore di $I=2384,39$ A e ipotizzando che i cavi sul lato BT del trasformatore stesso abbiano una formazione $3 \times (6 \times 630)$ mm², con diametro esterno pari a circa 51.1 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 4m.

Si precisa tuttavia che nel caso in questione le cabine sono posizionate all'aperto e normalmente non sono permanentemente presidiate.

7. CONCLUSIONI

Nella presente relazione è stato condotto uno studio analitico volto a valutare l'impatto elettromagnetico delle opere da realizzare e sulla base di quanto emerso, individuare eventuali fasce di rispetto da apporre al fine di garantire il raggiungimento degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici, secondo il vigente quadro normativo. Una volta individuate le possibili sorgenti dei campi elettromagnetici, per ciascuna di esse è stata condotta una valutazione di tipo analitico, volta a determinare la consistenza dei campi generati dalle sorgenti e l'eventuale distanza di prima approssimazione (DPA).

Di seguito i principali risultati:

- Posa di una terna di cavi all'interno di trincee: non è necessaria nessuna apposizione di DPA;
- Posa di tre terne di cavi all'interno di trincee: è necessaria l'apposizione di una DPA di 2 m;



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R11_02

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE
23 di/of 23

- Posa di quattro terne di cavi all'interno di trincee: è necessaria l'apposizione di una DPA di 2 m;
- Posa di una terna di cavi all'interno di trincee per il collegamento alla SE Terna: è necessaria l'apposizione di una DPA di 2 m;
- Posa di due terne di cavi all'interno di trincee per il collegamento alla SE Terna: è necessaria l'apposizione di una DPA di 2 m;
- Transformation unit da 3.300kVA, 3.000kVA e 2.400kVA: è necessaria l'apposizione di una DPA di 4 m rispetto alle pareti esterne dei fabbricati.

Si precisa che le considerazioni e i calcoli riportati nei paragrafi precedenti riguardano esclusivamente le opere elettriche a servizio dell'impianto agrivoltaico in oggetto, escludendo quindi eventuali altre linee aeree o interrate esterne allo stesso. Considerato ciò, è possibile affermare che le opere suddette, grazie anche alle soluzioni costruttive e di localizzazione adottate (le opere dell'impianto verranno posizionate all'interno di un perimetro recintato e dunque con accesso al pubblico limitato), rispettano i limiti posti dalla L. 36/2001 e dal DPCM 8 luglio 2003 e sono quindi compatibili con l'eventuale presenza umana nella zona.