

IMPIANTO AGRIVOLTAICO AVANZATO "MOLINELLA"

Realizzazione di un impianto agrivoltaico avanzato di potenza pari a 24,99 MWp
e relative opere di connessione alla RTN con potenza in immissione di 25,00 MW
da ubicarsi nei Comuni di Molinella (BO), Argenta (FE) e Portomaggiore (FE)

REGIONE EMILIA ROMAGNA COMUNE DI MOLINELLA (BO) E COMUNI DI ARGENTA E PORTOMAGGIORE (FE)

ELABORATO: Relazione Impatto Elettromagnetico

FORMATO

CODICE ELABORATO

A4

FL_MOL_R.14

COMMITTENTE:

MOLINELLA ENERGY S.R.L.

Via Morgone n.14 – 40062 Molinella (BO)

P.I. 04243221209

PROGETTISTA:

Flo.Ren. S.R.L.

Via Giorgio Baglivi 3 – 00161 Roma

P.IVA e C.F. 14140331001

Info@florenweb.com



Palma Investimenti e Servizi S.R.L.

Viale del Monte Oppio 24 – 00184 Roma

P.IVA e C.F. 10530381002

info@palmainvestimenti.it



REV.	DATA	DESCRIZIONE	
00	05-25		
REDATTO		VERIFICATO	APPROVATO
F.G.C. P.M.		F.D.	F.G.C.

Sommario

1. Premesse	3
2. Sintesi del progetto	4
3. Riferimenti normativi	6
4. Riferimenti tecnici	7
5. Descrizione del progetto elettrico.....	8
6. Descrizione delle opere di connessione	10
6.1. Linea interrata di collegamento alla Stazione Utente di Sezionamento	10
6.2. Stazione Utente di Sezionamento	10
6.3. Linea interrata di collegamento alla nuova SE Terna	11
7. Valori limiti di riferimento	12
8. Obblighi di sicurezza del lavoro previsti dal D.Lgs 81/08 e misure di prevenzione da adottare	14
9. Campo elettromagnetico generato dai cavidotti interrati.....	16
9.1 Caratteristiche dei cavidotti in AT	16
9.2 Calcolo induzione magnetica dei cavidotti interrati in AT	17
10. Campo elettromagnetico generato dai gruppi di trasformazione AT/BT.....	26
11. Conclusioni	29

1. Premesse

Il presente studio preliminare ambientale si riferisce al progetto per la costruzione di un impianto agrivoltaico avanzato denominato "Molinella" e delle relative opere di connessione alla RTN, con potenza totale richiesta ai fini della connessione di 25 MW. L'impianto agrivoltaico sarà ubicato nel Comune di Molinella (BO) e sarà collegato in antenna a 36 kV su una nuova stazione elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto – Ravenna Canala" e alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore – Bando". La nuova SE 380/132/36 kV denominata "Portomaggiore" verrà realizzata nel Comune di Portomaggiore (FE) ed è stata già autorizzata dalla società EG DANTE Srl (Gruppo Enfinity) con provvedimento n. DET-AMB-2024-3386 del 14/06/2024 rilasciato da ARPAE-SAC Ferrara e Decreto VIA N. DM_2024-0000112 del 12/04/2024.

Il soggetto proponente della pratica è la società "MOLINELLA ENERGY S.R.L.", con sede in Molinella (BO) Via Morgone n.14, iscritta nella Sezione Ordinaria della Camera di Commercio Industria Agricoltura ed Artigianato di Bologna, Partita IVA n. 04243221209.

Il presente progetto rientra tra le opere necessarie al raggiungimento degli obiettivi fissati dal Piano nazionale integrato energia e clima (PNIEC) predisposto in attuazione del Regolamento (UE) 2018/1999, come individuati nell'Allegato I-bis, e le opere ad essi connesse costituiscono interventi di pubblica utilità, indifferibili e urgenti.

Il progetto è configurabile come intervento rientrante tra le categorie elencate nell'Allegato C, Sezione 1, del D.lgs 190/2024 ed è pertanto soggetto ad Autorizzazione Unica (AU) di competenza regionale.

Il progetto è soggetto alla procedura di Verifica di Assoggettabilità Regionale (Screening VIA) in quanto rientrante tra le categorie elencate nell'Allegato IV alla parte seconda del D.Lgs. 152/06.

2. Sintesi del progetto

L'impianto agrivoltaico, denominato "Molinella", sarà realizzato in Emilia Romagna, nel Comune di Molinella (BO), in un'area che dista circa 4,5 km dal centro della città. L'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV su una nuova stazione elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV da inserire in entrata – esce alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto – Ravenna Canala" e alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore – Bando" per una potenza totale ai fini della connessione di 25 MW. La nuova SE di Terna 380/132/36 kV denominata "Portomaggiore" verrà realizzata nel Comune di Portomaggiore (FE) ed è stata già autorizzata dalla società EG DANTE Srl (Gruppo Enfinity) con provvedimento n. DET-AMB-2024-3386 del 14/06/2024 rilasciato da ARPAE-SAC Ferrara e Decreto VIA N. DM_2024-0000112 del 12/04/2024. Il collegamento tra l'impianto e lo stallo assegnato della nuova SE avverrà tramite un cavidotto interrato a 36 kV di lunghezza pari a circa 16,5 km che si svilupperà lungo strade pubbliche asfaltate ed interesserà i Comuni di Molinella (BO), Argenta (FE) e Portomaggiore (FE).

Si riassumono di seguito le opere del progetto in esame che sono da valutare nell'ambito della presente procedura di Screening VIA.

- Impianto agrivoltaico avanzato con potenza nominale dei moduli fotovoltaici pari a 24,99 MWp installati su strutture di sostegno ad inseguimento monoassiale. La potenza totale richiesta ai fini della connessione è di 25 MW. Tale opera è ubicata nel Comune di Molinella (BO);
- Cavidotto in AT a 36 kV interrato per il collegamento dell'impianto agrivoltaico alla Nuova Stazione di Terna denominata "Portomaggiore" già autorizzata. La lunghezza del cavidotto è di circa 16,5 km che si svilupperanno lungo strade pubbliche carrabili passanti nei Comuni di Molinella (BO), Argenta (FE) e Portomaggiore (FE).
- Cabina elettrica Utente di sezionamento ubicata nei pressi della Nuova SE Terna
- Nuova Stazione di Terna denominata "Portomaggiore" a 380/132/36 kV 132 kV realizzata nel Comune di Portomaggiore (FE) che si collegherà con raccordi aerei in AT alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto – Ravenna Canala" e alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore – Bando". La nuova SE è stata già autorizzata dalla società EG DANTE Srl (Gruppo Enfinity) con provvedimento n. DET-AMB-2024-3386 del 14/06/2024 rilasciato da ARPAE-SAC Ferrara e Decreto VIA N. DM_2024-0000112 del 12/04/2024.

Trattandosi di un impianto agrivoltaico, il progetto integra l'aspetto produttivo agricolo con la produzione energetica da fonte rinnovabile al fine di fonderli in una iniziativa unitaria ecosostenibile. La definizione della soluzione impiantistica per la produzione di energia elettrica con tecnologia fotovoltaica è stata guidata dalla volontà della Società Proponente di perseguire la tutela, la salvaguardia e la valorizzazione del contesto agricolo di inserimento dell'impianto. Nella progettazione dell'impianto è stato quindi incluso, come parte integrante e inderogabile, dell'iniziativa, la definizione di un piano di dettaglio di interventi agronomici.

Presso l'impianto verranno altresì realizzate le Power Station a 36 kV dalle quali si dipartono le linee di collegamento di alta tensione interrate verso la cabina di smistamento e poi verso la Cabina di

Utente di sezionamento a 36 kV posta in prossimità della nuova Stazione di Terna autorizzata denominata "Portomaggiore". Il tracciato del cavidotto di collegamento della cabina di smistamento con la cabina utente è stato scelto con particolare attenzione per minimizzare interferenze con altri sottoservizi e con ulteriori vincoli. Il tracciato inoltre interesserà quasi esclusivamente strade pubbliche per una lunghezza pari a circa 16,5 km.



Figura 1 – Inquadramento generale dell'impianto "Molinella"

3. Riferimenti normativi

I principali riferimenti normativi sono:

- Decreto Legislativo 1 agosto 2016, n. 159, "Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE".
- Direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 26 giugno 2013, sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE). Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea 29.6.2013 n. L 179/1
- Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro." e successive modifiche e integrazioni. In particolare il Titolo VIII, capo IV "Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici"
- D.P.C.M 8 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. (GU n. 200 del 29 agosto 2003)
- L. 22/02/2001, n. 36: Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" (G.U. 7.3.2001, n. 55).
- Raccomandazione del Consiglio del 12 luglio 1999 (1999/519/CE) relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz (Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea L. 199/59 del 30 luglio 1999)

4. Riferimenti tecnici

I principali riferimenti tecnici sono:

- CEI EN 50499 - Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici
- CEI 106-12: Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT
- Norma CEI 106-11: Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del D.P.C.M. 8 luglio 2003;
- ICNIRP Guidelines 2010 "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz)"; Health Physics Vol. 99; n.6: pp. 818-836
- Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle regioni e delle province autonome "D.Lgs. 81/08 Titolo VIII, Capo IV e s.m.i. Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici. Indicazioni operative" Rev. 18/03/2019.
- ICNIRP Statement Marzo 2003. "Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines"; Health Physics, Vol. 84, n.3, pp.383-387
- CEI 211-6/2001: Guida per la misura e la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana
- CEI 211-7/2001: Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana
- ICNIRP Guidelines Aprile 1998. "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)"; Health Physics, Vol.74, n.4, pp.494-522
- Linea Guida di e-Distribuzione per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche

5. Descrizione del progetto elettrico

La componente fotovoltaica dell'impianto è articolata in due lotti di conversione e generazione elettrica di seguito identificati.

Id Lotto	N. tracker	N. moduli	Potenza moduli (W)	Potenza Lotto (MW)	Power Station
Ovest	367	9.542	720	6,870	2
Est	968	25.168	720	18,120	5
Totale	1335	34.710		24,99	7

Tabella 1: Principali componenti dell'impianto fotovoltaico

All'interno di ogni lotto è presente una rete AT interna di collegamento tra le Power Station e la cabina di smistamento.

Nell'insieme l'impianto fotovoltaico è quindi composto dai seguenti componenti:

- n. 34.710 pannelli con potenza unitaria pari a 720 Wp, per una potenza totale di 24,99 MWp
- n. 7 Power Station di cui n.6 con trasformatori di potenza pari a 3300 kVA e n.1 con trasformatore di potenza pari a 4400 kVA, che innalzano la potenza a 36 kV quindi direttamente in alta tensione (AT).
- 7 LSA (Locale servizi ausiliari) dotati anche di una zona di alloggiamento dei materiali di magazzino e di control room per la gestione e monitoraggio dell'impianto, dei servizi ausiliari e di videosorveglianza
- 1 cabina di smistamento
- rete elettrica a bassa tensione in corrente continua interna all'area di impianto per il collegamento delle stringhe con i quadri di parallelo e da questi ultimi alle Power Station
- elettrodotto interrato AT a 36 kV interno che collegherà le Power Station con la cabina di smistamento
- elettrodotto utente AT a 36 kV per collegare la cabina di smistamento alla cabina di sezionamento
- cabina elettrica utente al cui interno si prevede l'installazione di un quadro a 36 kV con funzioni di sezionamento e protezione della linea a 36 kV proveniente dalla cabina di smistamento d'impianto
- ultimo tratto di cavidotto interrato a 36 kV di collegamento tra la cabina utente e la Nuova Stazione Elettrica di Terna

Dal punto di vista elettrico, più moduli fotovoltaici vengono collegati a formare una serie, chiamata stringa; più stringhe vengono poi collegate in parallelo in un piccolo quadro posto sotto la struttura e da questo arrivano alle Power Station. Qui l'energia viene prima convertita dagli inverter che trasformano la corrente da continua in alternata e poi trasformata dai trasformatori BT/AT che innalzano la tensione da 630V a 36kV. Le Power Station saranno raggruppate in due dorsali AT indipendenti che andranno a collegarsi alla cabina elettrica utente di sezionamento.

La cabina di smistamento ed i locali dei servizi ausiliari saranno del tipo prefabbricato in cemento armato vibrato, comprensive di vasca di fondazione. Invece i gruppi inverter-trasformatori saranno allestiti e predisposti in Container metallici prefabbricati (Power Station) descritti nei successivi paragrafi.

Sarà poi realizzato un impianto di terra per la protezione dai contatti indiretti e le fulminazioni al quale saranno collegate tutte le strutture metalliche di sostegno e le cabine oltre che tutte le masse dei componenti elettrici di classe I.

L'impianto sarà completamente recintato e dotato di impianto antintrusione e di videosorveglianza controllato in loco e da remoto.

Si metterà inoltre in esecuzione un sistema di monitoraggio e controllo.

6. Descrizione delle opere di connessione

6.1. Linea interrata di collegamento alla Stazione Utente di Sezionamento

La connessione alla rete avverrà tramite elettrodotto interrato a 36 kV per il collegamento elettrico della Cabina di Smistamento agli appositi apparati in M.T. previsti all'interno del Locale Quadri M.T. dell'Edificio Utente ubicato in prossimità della nuova SE di Terna.

Il percorso dell'elettrodotto esterno a 36 kV ha una lunghezza di circa 16,5 km ed è stato volutamente individuato privilegiando la posa interrata dei cavi sotto la sede stradale relativa a viabilità asfaltata già esistente e di una certa importanza, determinando così il minimo impatto su terreni di proprietà privata o pubblica.

Lungo il percorso dell'elettrodotto sono state individuate diverse interferenze con il reticolo idrografico e con altri sottoservizi e infrastrutture che sono state risolte mediante il ricorso alla tecnica della perforazione teleguidata (directional drilling) ovvero TOC (Trivellazione Orizzontale Controllata) la cui finalità è quella di aggirare l'interferenza "sottopassandola" ad una profondità di interrimento dell'elettrodotto tale da garantire, in ciascun caso, un ampio margine di sicurezza (franco) rispetto alla stessa. Per maggiori approfondimenti si faccia riferimento alla relazione sulle interferenze dei cavidotti "FL_MOL_R.06" e agli elaborati grafici "FL_MAR_R.12.A" e "FL_MAR_R.12.B".

6.2. Stazione Utente di Sezionamento

La configurazione elettrica dell'impianto prevede la realizzazione di una cabina elettrica utente nei pressi della futura SE "Portomaggiore", al cui interno si prevede l'installazione di un quadro a 36 kV con funzioni di sezionamento e protezione della linea a 36 kV proveniente dalla cabina di smistamento e da cui partirà il tratto finale di cavidotto, della lunghezza di circa 80 m, fino alla futura SE RTN.



Figura 2: Cabina elettrica utente di sezionamento

Oltre e agli scomparti a 36 kV saranno installati anche gruppi di misura e servizi ausiliari, questi ultimi saranno alimentati tramite un generatore per i servizi ausiliari che sarà installato all'interno della cabina. Per la configurazione elettrica si faccia riferimento all'elaborato "FL_MOL_G.32 – Schema elettrico unifilare impianto di utente e rete".

6.3. Linea interrata di collegamento alla nuova SE Terna

L'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV sulla sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione 380/132/36 kV della RTN denominata "Portomaggiore" da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto – Ravenna Canala" e alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore – Bando".

Per la connessione del quadro generale presente nella cabina di smistamento con il quadro presente nella cabina elettrica utente di sezionamento e per il collegamento tra quest'ultima e la sezione a 36 kV della futura SE di Terna verranno usati cavi del tipo RG7H1R – 36 kV forniti nella versione unipolare.

7. Valori limiti di riferimento

I valori limiti di riferimento si desumono dal DPCM 08/07/2003, che fissa i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete generati dagli elettrodotti. Si è, inoltre, tenuto conto di quanto previsto dal DM 29/05/2008 per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti (metodologia di calcolo indicata dall'APAT), e della Legge quadro 22/02/2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", G.U. 7 marzo 2001, n.55.

Il DPCM 08/07/2003 stabilisce per l'induzione magnetica un limite di esposizione da non superare in nessuna circostanza di 100 μT che coincide con quello indicato dalla Raccomandazione del Consiglio (1999/519/CE) a 50 Hz; per il campo elettrico il limite è di 5 kV/m.

A titolo di misura cautelativa per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il Valore di attenzione di 10 μT , da intendersi come mediana dei valori nell'arco di 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

I limiti prefissati sono riportati nella tabella successiva.

Limite	Frequenza	Campo elettrico	Campo magnetico	Note
Limiti di esposizione	50Hz	5 kV/m	100 μT (valore efficace)	Valore di immissione che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori, ai fini della tutela della salute da effetti acuti
Valore di attenzione	50Hz	-	10 μT (mediana dei valori nelle 24 h)	Valore di immissione che non deve essere superato nei luoghi adibiti a permanenze prolungate non inferiori a 4 ore/giorno, aree gioco, scuole e abitazioni. Si tratta di una misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine
Obiettivo di qualità	50Hz	-	3 μT (mediana dei valori nelle 24 h)	Progressiva minimizzazione della esposizione della popolazione ai campi elettrico e magnetico. Valido per nuovi elettrodotti o nuove abitazioni

Tabella 2 - Limiti di esposizione e obiettivi di qualità

Per quanto concerne la sicurezza del lavoro del personale impiegato nell'impianto, ai sensi degli articoli 208 e 209 del D.Lgs 81/08, i valori limite di azione e di esposizione sono meno esigenti per l'esposizione a campi elettrico e magnetico a 50 Hz:

- Campo elettrico: $VA(E)$ inferiore = 10.000 V/m
 $VA(E)$ superiore = 20.000 V/m

- Induzione magnetica: $VA(B)$ inferiore = 1.000 μT
 $VA(B)$ superiore = 6.000 μT

Per i lavoratori non professionalmente esposti, il limite per l'induzione magnetica scende a 100 μT .

8. Obblighi di sicurezza del lavoro previsti dal D.Lgs 81/08 e misure di prevenzione da adottare

Nell'ambito della valutazione dei rischi, il datore di lavoro deve valutare e, quando necessario, misurare o calcolare i livelli dei campi elettromagnetici ai quali sono esposti i lavoratori. La valutazione, la misurazione e il calcolo devono essere effettuati in conformità alle norme europee standardizzate del Comitato europeo di normalizzazione elettrotecnica (CENELEC).

A seguito della valutazione dei livelli dei campi elettromagnetici, qualora risulti che siano superati i Valori di Azione, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, calcola se i Valori Limite di Esposizione sono stati superati.

La valutazione, la misurazione e il calcolo non devono necessariamente essere effettuati in luoghi di lavoro accessibili al pubblico purché si sia già proceduto a una valutazione conformemente alle disposizioni relative alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz e risultino rispettate per i lavoratori le restrizioni previste dalla raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio, del 12 luglio 1999, e siano esclusi rischi relativi alla sicurezza.

Nella valutazione del rischio, il datore di lavoro presta particolare attenzione ai seguenti elementi:

- il livello, lo spettro di frequenza, la durata e il tipo dell'esposizione
- i Valori Limite di Esposizione e i Valori di Azione
- tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio
- qualsiasi effetto indiretto quale:
 - interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici (compresi stimolatori cardiaci e altri dispositivi impiantati)
- rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici con induzione magnetica superiore a 3 μ T
- innesco di dispositivi elettro-esplosivi (detonatori)
- incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili provocata da scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche
- l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici
- per quanto possibile, informazioni adeguate raccolte nel corso della sorveglianza sanitaria, comprese le informazioni reperibili in pubblicazioni scientifiche
- sorgenti multiple di esposizione
- esposizione simultanea a campi di frequenze diverse

Il datore di lavoro nel documento di valutazione del rischio deve precisare le misure adottate.

Nel documento di valutazione del rischio il datore di lavoro può includere una giustificazione, per la quale data la natura e l'entità dei rischi connessi con i campi elettromagnetici non è stata necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata.

Secondo il D.Lgs. 81/08 il datore di lavoro, tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità di misure per controllare il rischio alla fonte, elimina alla sorgente o riduce al minimo i rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici.

Qualora risulti che i Valori di Azione sono superati, il datore di lavoro, a meno che la valutazione dimostri che i Valori Limite di Esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza, elabora ed applica un programma d'azione che comprenda misure tecniche e organizzative intese a prevenire esposizioni superiori ai Valori Limite di Esposizione, tenendo conto in particolare:

- di altri metodi di lavoro che implicano una minore esposizione ai campi elettromagnetici
- della scelta di attrezzature che emettano campi elettromagnetici di intensità inferiore, tenuto conto del lavoro da svolgere
- delle misure tecniche per ridurre l'emissione dei campi elettromagnetici, incluso se necessario l'uso di dispositivi di sicurezza, schermature o di analoghi meccanismi di protezione della salute
- degli appropriati programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, dei luoghi e delle postazioni di lavoro
- della progettazione e della struttura dei luoghi e delle postazioni di lavoro
- della limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione
- della disponibilità di adeguati dispositivi di protezione individuale

I luoghi di lavoro dove i lavoratori possono essere esposti a campi elettromagnetici che superano i Valori di Azione devono essere indicati con un'apposita segnaletica. Tale obbligo non sussiste nel caso che dalla valutazione effettuata il datore di lavoro dimostri che i Valori Limite di Esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza. Dette aree sono inoltre identificate e l'accesso alle stesse è limitato, laddove ciò sia tecnicamente possibile e sussista il rischio di un superamento dei valori limite di esposizione.

In relazione alle norme tecniche ed alle buone prassi, il datore di lavoro ricorrendo alle pertinenti procedure di valutazione dell'esposizione deve assicurare che l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici non superi i VLE relativi agli effetti sanitari e i VLE relativi agli effetti sensoriali per gli effetti non termici e per gli effetti termici. Qualora, nonostante i provvedimenti presi dal datore di lavoro, l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici superi il VLE, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei VLE. Individua le cause del superamento dei Valori Limite di Esposizione e adegua di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

Il datore di lavoro adatta le misure alle esigenze dei lavoratori esposti particolarmente sensibili al rischio.

9. Campo elettromagnetico generato dai cavidotti interrati

9.1 Caratteristiche dei cavidotti in AT

Le linee di Alta Tensione sono state distinte in:

- linee a 36 kV interne all'impianto di collegamento tra le Power Station e la Cabina di Smistamento: una linea ad antenna collega 5 Power Station e una linea ad antenna collega 2 Power Station.
- linea a 36 kV di connessione dell'impianto dalla cabina di Smistamento alla Cabina di Sezionamento posta a circa 16,5 km dall'impianto e in prossimità della Nuova Stazione Elettrica di Smistamento di Terna: la rete di distribuzione di Alta Tensione è composta da una linea che arriva al quadro di Alta Tensione della cabina di sezionamento
- linea a 36 kV di connessione tra la Cabina di Sezionamento e la Nuova SE Terna

Per la valutazione del campo magnetico generato da un elettrodotto interrato in AT occorre distinguere gli elettrodotti in funzione della tipologia dei cavi utilizzati. Il progetto prevede l'utilizzo di cavi unipolari del tipo in alluminio schermati in posa a trifoglio per tutte le sezioni di cavo. La tabella che segue mostra le differenti tipologie di cavi da utilizzare e le caratteristiche di posa.

Linea	Tratto	P (MW)	Tensione (kV)	Lunghezza (m)	Disposizione	Sezione (mm ²)	Corrente (A)
W	WA	6,6	36	1.140	3 × 1 × 300	300	106
W	WB	3,3	36	120	3 × 1 × 300	300	53
E	EA	17,6	36	190	3 × 1 × 300	300	282
E	EB	13,2	36	120	3 × 1 × 300	300	212
E	EC	9,9	36	120	3 × 1 × 300	300	159
E	ED	6,6	36	120	3 × 1 × 300	300	106
E	EE	3,3	36	120	3 × 1 × 300	300	53
CDR-CDS	A	24,2	36	16.500	2 x (3 × 1 × 300)	300	388
CDS-Terna	A	24,2	36	80	3 × 1 × 630	630	388

Tabella 3 – Cavidotti interrati in AT

I cavidotti interrati delle varie linee viaggiano paralleli in alcuni tratti verso la cabina di smistamento raccogliendo le Power Station del sottocampo. Nella tabella si nota che i sottocampi hanno le seguenti potenze massime:

- West: 6,6 MW
- East: 17,6 MW

I cavidotti sono costituiti da cavi unipolari da posare in formazione a trifoglio con conduttori in alluminio, congiunti in maniera da formare un unico fascio di forma rotonda. L'isolante dei cavi è costituito da mescola in XLPE e fra questo e il conduttore è interposto uno strato di mescola semiconduttrice. Sopra l'isolante è posto uno strato per la tenuta all'acqua, consistente in un nastro semiconduttore. Il cavo presenta uno schermo metallico realizzato con nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale. Sopra lo schermo metallico sono presenti due differenti strati di protezione in guaina protettiva in polietilene. La tensione nominale dei cavi è pari a 36kV.

I tratti con maggiore intensità di corrente e quindi più critici per la propagazione dei campi elettromagnetici sono quelli in cui le linee hanno dei tratti comuni all'interno dello stesso cavidotto. Si nota quindi che i tratti con la maggiore intensità di corrente e quindi ad emissione elettromagnetica maggiore sono il tratto WA nell'area ovest e il tratto EA nell'area est.

La metodologia di calcolo è quella proposta dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici) secondo il DM 29/5/2008 e specificate nella norma CEI 106-11.

Per il caso di una singola terna di cavi sotterranei di AT posati a trifoglio, si utilizza la formula suggerita dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3 per cui è possibile ricorrere ad un'espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato.

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

Dove B espresso in μT è l'induzione magnetica calcolata in un punto distante R dal conduttore come rappresentato nella figura sottostante.

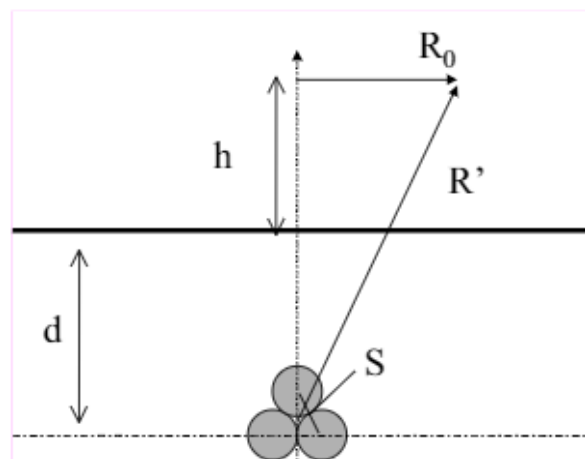


Figura 3 – Cavo interrato a trifoglio

Dove:

- 8. S è la distanza fra il centro di due conduttori
- 9. R è la distanza dal conduttore al punto di misura
- 10. I è la corrente che attraversa il conduttore

9.2 Calcolo induzione magnetica dei cavidotti interrati in AT

Cavidotto con singola terna area Ovest

Dalla Tabella 3 risulta che il cavidotto a singola terna con maggiore intensità di corrente per l'area ovest è il tratto A della linea West da 1.140 m che trasmette 6,6 MW di potenza. Considerando la profondità di posa di 1 m e scegliendo l'altezza di misura $h = 1$ m si ottengono i seguenti dati in corrispondenza dell'asse y del conduttore.

Linea	N° Terne	Sezione	Portata cavo corretta	Induzione B calcolata a 1 m
Linea West Tratto A a 36 kV	1	3 x 1 x 300 mm ²	106 A	0,325 μ T

Tabella 4 – Calcolo induzione magnetica dei cavidotti interrati ad una sola terna nell'area ovest dell'impianto FV

Distanza dall'asse centrale del cavidotto (m)	B _{tot} al suolo (μT)	B _{tot} a 1 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 1,5 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 2 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 2,5 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 3 m dal suolo (μT)
-10	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011
-9,5	0,014	0,014	0,013	0,013	0,013	0,012
-9	0,016	0,015	0,015	0,014	0,014	0,013
-8,5	0,018	0,017	0,017	0,016	0,015	0,015
-8	0,020	0,019	0,018	0,018	0,017	0,016
-7,5	0,023	0,022	0,021	0,020	0,019	0,018
-7	0,026	0,024	0,023	0,022	0,021	0,020
-6,5	0,030	0,028	0,027	0,025	0,024	0,022
-6	0,035	0,032	0,031	0,029	0,027	0,025
-5,5	0,042	0,038	0,036	0,033	0,031	0,028
-5	0,050	0,045	0,042	0,038	0,035	0,032
-4,5	0,061	0,054	0,049	0,044	0,040	0,036
-4	0,076	0,065	0,058	0,052	0,046	0,041
-3,5	0,098	0,080	0,070	0,061	0,053	0,046
-3	0,130	0,100	0,085	0,072	0,061	0,052
-2,5	0,179	0,127	0,104	0,085	0,070	0,058
-2	0,260	0,162	0,127	0,100	0,080	0,065
-1,5	0,399	0,208	0,153	0,115	0,090	0,071
-1	0,649	0,260	0,179	0,130	0,098	0,076
-0,5	1,039	0,305	0,200	0,140	0,104	0,080
0	1,298	0,325	0,208	0,144	0,106	0,081
0,5	1,039	0,305	0,200	0,140	0,104	0,080
1	0,649	0,260	0,179	0,130	0,098	0,076
1,5	0,399	0,208	0,153	0,115	0,090	0,071
2	0,260	0,162	0,127	0,100	0,080	0,065
2,5	0,179	0,127	0,104	0,085	0,070	0,058
3	0,130	0,100	0,085	0,072	0,061	0,052
3,5	0,098	0,080	0,070	0,061	0,053	0,046
4	0,076	0,065	0,058	0,052	0,046	0,041
4,5	0,061	0,054	0,049	0,044	0,040	0,036
5	0,050	0,045	0,042	0,038	0,035	0,032
5,5	0,042	0,038	0,036	0,033	0,031	0,028
6	0,035	0,032	0,031	0,029	0,027	0,025
6,5	0,030	0,028	0,027	0,025	0,024	0,022
7	0,026	0,024	0,023	0,022	0,021	0,020
7,5	0,023	0,022	0,021	0,020	0,019	0,018
8	0,020	0,019	0,018	0,018	0,017	0,016
8,5	0,018	0,017	0,017	0,016	0,015	0,015
9	0,016	0,015	0,015	0,014	0,014	0,013
9,5	0,014	0,014	0,013	0,013	0,013	0,012
10	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011

Tabella 5 – Andamento tabellare dell'induzione magnetica generata dai cavidotti interrati ad una sola terna nell'area ovest dell'impianto fotovoltaico

I valori sono decisamente inferiori al valore di qualità di 3 μT previsto per proteggere la popolazione e a maggior ragione ai Valori di Azione (VA) inferiori e ai Valori Limiti di Esposizione (VLE) previsti dal D.Lgs. 81/08 per la sicurezza dei lavoratori.

Nel diagramma seguente si può notare che il campo magnetico ha un comportamento prettamente gaussiano, cioè diminuisce allontanandosi dalla verticale del cavidotto per annullarsi ad una distanza

di 10 m dall'asse del cavidotto stesso. Chiaramente l'intensità del campo diminuisce all'aumentare della quota a cui viene calcolato.

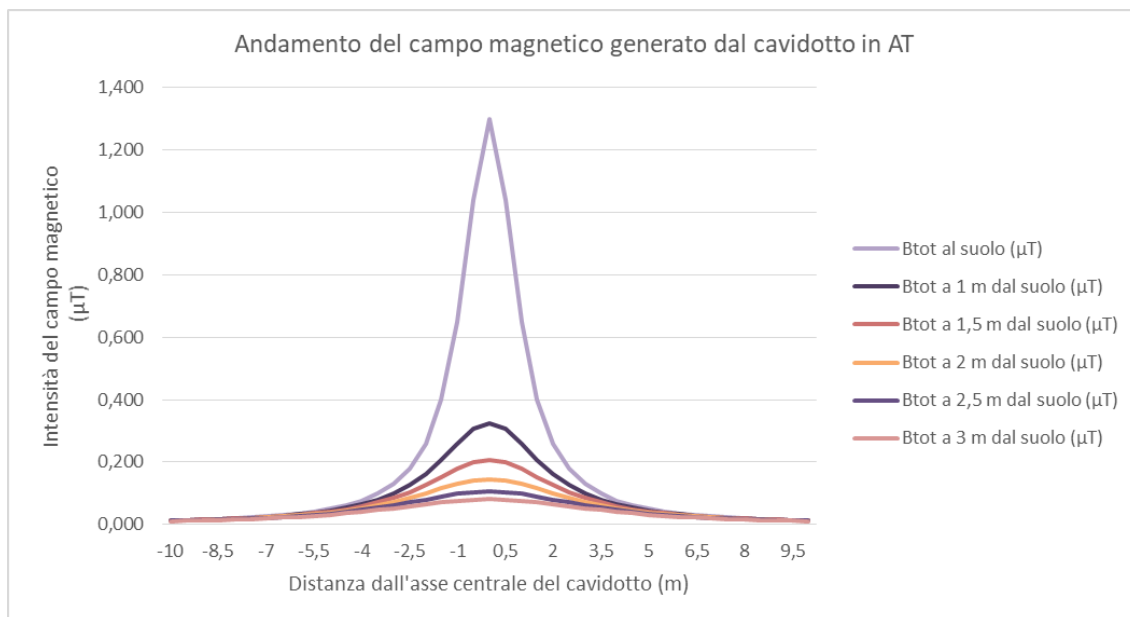


Figura 4 – Andamento del campo magnetico generato dai cavidotti ad una sola terna nell'area dell'impianto FV

Cavidotto con singola terna area Est

Dalla Tabella 3 risulta che il cavidotto a singola terna con maggiore intensità di corrente per l'area est è il tratto A da 190 m che trasmette 17,6 MW di potenza. Considerando la profondità di posa di 1 m e scegliendo l'altezza di misura $h = 1$ m si ottengono i seguenti dati in corrispondenza dell'asse y del conduttore.

Linea	N° Terne	Sezione	Portata cavo corretta	Induzione B calcolata a 1 m
Linea Est Tratto A a 36 kV	1	3 x 1 x 300 mm ²	282 A	0,863 μT

Tabella 6 – Calcolo induzione magnetica dei cavidotti interrati ad una sola terna nell'area est dell'impianto FV

I valori sono inferiori al valore di qualità di 3 μT previsto per proteggere la popolazione e a maggior ragione ai Valori di Azione (VA) inferiori e ai Valori Limiti di Esposizione (VLE) previsti dal D.Lgs. 81/08 per la sicurezza dei lavoratori.

Volendo considerare il valore di emissione al suolo, la DPA risulta essere di 0,40 m dall'asse del cavidotto.

Distanza dall'asse centrale del cavidotto (m)	B _{tot} al suolo (μT)	B _{tot} a 1 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 1,5 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 2 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 2,5 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 3 m dal suolo (μT)
-10	0,034	0,033	0,033	0,032	0,031	0,030
-9,5	0,038	0,037	0,036	0,035	0,034	0,033
-9	0,042	0,041	0,040	0,038	0,037	0,036
-8,5	0,047	0,045	0,044	0,043	0,041	0,039
-8	0,053	0,051	0,049	0,047	0,045	0,043
-7,5	0,060	0,057	0,055	0,053	0,050	0,048
-7	0,069	0,065	0,063	0,060	0,056	0,053
-6,5	0,080	0,075	0,071	0,067	0,063	0,059
-6	0,093	0,086	0,082	0,077	0,072	0,066
-5,5	0,111	0,101	0,095	0,088	0,081	0,075
-5	0,133	0,119	0,111	0,102	0,093	0,084
-4,5	0,163	0,142	0,130	0,118	0,106	0,095
-4	0,203	0,173	0,155	0,138	0,122	0,108
-3,5	0,261	0,213	0,187	0,163	0,141	0,122
-3	0,345	0,266	0,226	0,192	0,163	0,138
-2,5	0,476	0,337	0,276	0,226	0,187	0,155
-2	0,691	0,432	0,337	0,266	0,213	0,173
-1,5	1,063	0,553	0,406	0,307	0,238	0,189
-1	1,727	0,691	0,476	0,345	0,261	0,203
-0,5	2,763	0,813	0,531	0,373	0,276	0,213
0	3,454	0,863	0,553	0,384	0,282	0,216
0,5	2,763	0,813	0,531	0,373	0,276	0,213
1	1,727	0,691	0,476	0,345	0,261	0,203
1,5	1,063	0,553	0,406	0,307	0,238	0,189
2	0,691	0,432	0,337	0,266	0,213	0,173
2,5	0,476	0,337	0,276	0,226	0,187	0,155
3	0,345	0,266	0,226	0,192	0,163	0,138
3,5	0,261	0,213	0,187	0,163	0,141	0,122
4	0,203	0,173	0,155	0,138	0,122	0,108
4,5	0,163	0,142	0,130	0,118	0,106	0,095
5	0,133	0,119	0,111	0,102	0,093	0,084
5,5	0,111	0,101	0,095	0,088	0,081	0,075
6	0,093	0,086	0,082	0,077	0,072	0,066
6,5	0,080	0,075	0,071	0,067	0,063	0,059
7	0,069	0,065	0,063	0,060	0,056	0,053
7,5	0,060	0,057	0,055	0,053	0,050	0,048
8	0,053	0,051	0,049	0,047	0,045	0,043
8,5	0,047	0,045	0,044	0,043	0,041	0,039
9	0,042	0,041	0,040	0,038	0,037	0,036
9,5	0,038	0,037	0,036	0,035	0,034	0,033
10	0,034	0,033	0,033	0,032	0,031	0,030

Tabella 7 – Andamento tabellare dell'induzione magnetica generata dai cavidotti interrati ad una sola terna nell'area est dell'impianto fotovoltaico

Nel diagramma seguente si può notare che il campo magnetico ha un comportamento prettamente gaussiano, cioè diminuisce allontanandosi dalla verticale del cavidotto per annullarsi ad una distanza di 10 m dall'asse del cavidotto stesso. Chiaramente l'intensità del campo diminuisce all'aumentare della quota a cui viene calcolato.

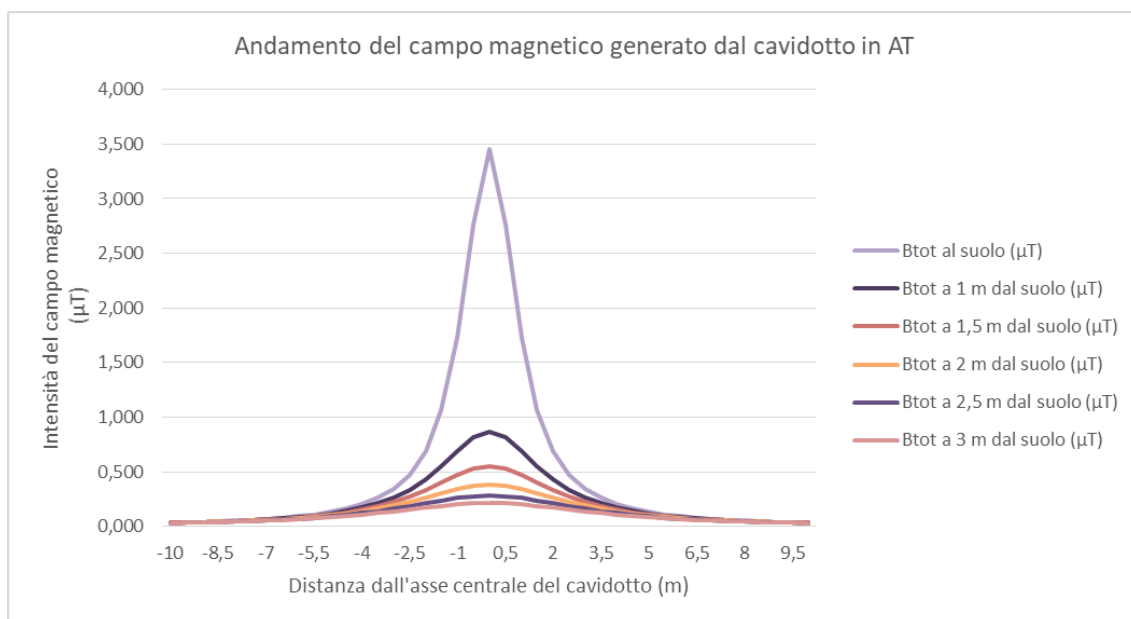


Figura 5 – Andamento del campo magnetico generato dai cavidotti ad una sola terna nell'area dell'impianto FV

Cavidotto con doppia terna area dalla cabina di raccolta alla cabina di sezionamento

Il cavidotto è composto da due terne con una lunghezza di 16,5 km che trasmette 24,2 MW di potenza. Considerando la profondità di posa di 1,2 m e scegliendo l'altezza di misura $h = 1$ m si ottengono i seguenti dati in corrispondenza dell'asse y del conduttore.

Linea	N° Terne	Sezione	Portata cavo corretta	Induzione B calcolata a 1 m
Linea CDR-CDS a 36 kV	2	2 x 3 x 1 x 300 mm ²	388 A	0,292 μT

Tabella 8 – Calcolo induzione magnetica del cavidotto interrato a doppia terna

I valori sono decisamente inferiori al valore di qualità di 3 μT previsto per proteggere la popolazione e a maggior ragione ai Valori di Azione (VA) inferiori e ai Valori Limiti di Esposizione (VLE) previsti dal D.Lgs. 81/08 per la sicurezza dei lavoratori.

Nel diagramma seguente si può notare che il campo magnetico ha un comportamento prettamente gaussiano, cioè diminuisce allontanandosi dalla verticale del cavidotto per annullarsi ad una distanza di 10 m dall'asse del cavidotto stesso. Chiaramente l'intensità del campo diminuisce all'aumentare della quota a cui viene calcolato.

Distanza dall'asse centrale del cavidotto (m)	B _{tot} al suolo (μT)	B _{tot} a 1 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 1,5 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 2 m dal suolo (μT)
-10	0,014	0,014	0,013	0,013
-9	0,017	0,017	0,016	0,016
-8	0,022	0,021	0,020	0,019
-7	0,028	0,027	0,025	0,024
-6	0,038	0,035	0,033	0,031
-5	0,054	0,048	0,044	0,041
-4	0,082	0,069	0,061	0,054
-3	0,137	0,103	0,088	0,074
-2	0,264	0,162	0,126	0,100
-1	0,584	0,243	0,171	0,127
0	0,951	0,292	0,194	0,139
1	0,584	0,243	0,171	0,127
2	0,264	0,162	0,126	0,100
3	0,137	0,103	0,088	0,074
4	0,082	0,069	0,061	0,054
5	0,054	0,048	0,044	0,041
6	0,038	0,035	0,033	0,031
7	0,028	0,027	0,025	0,024
8	0,022	0,021	0,020	0,019
9	0,017	0,017	0,016	0,016
10	0,014	0,014	0,013	0,013

Tabella 9 – Andamento tabellare dell'induzione magnetica generata dal cavidotto interrato a doppia terna dall'impianto fotovoltaico alla Cabina di Sezionamento

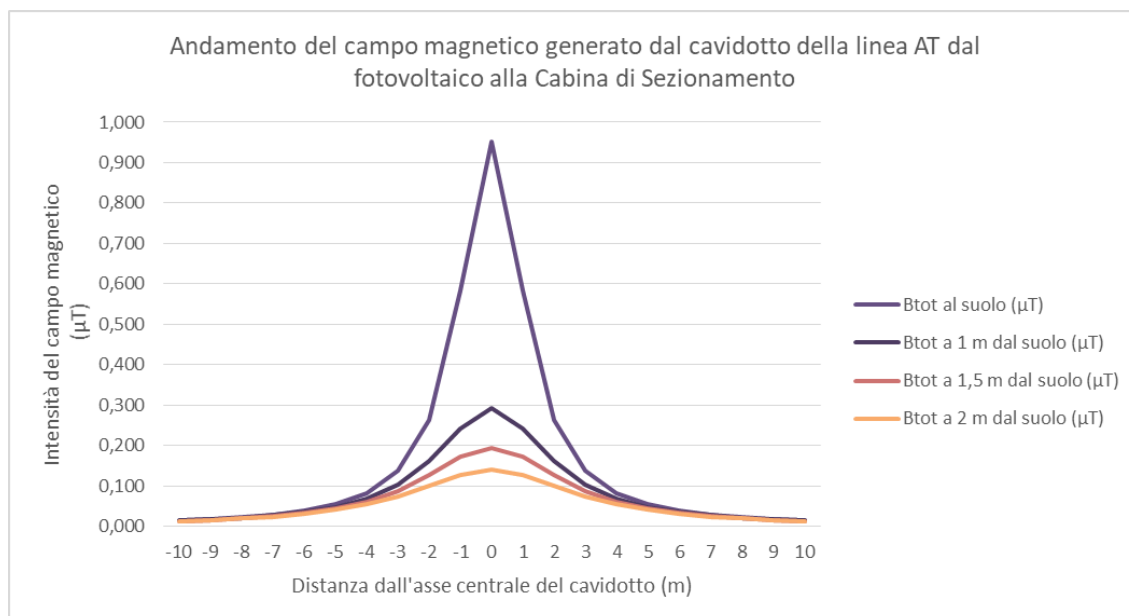


Figura 6 – Andamento del campo magnetico generato dal cavidotto interrato a doppia terna dall'impianto fotovoltaico alla Cabina di Sezionamento

Cavidotto con singola terna dalla cabina di sezionamento alla SSE Terna

Il cavidotto è composto da una singola terna con una lunghezza di 80 m che trasmette 24,2 MW di potenza. Considerando la profondità di posa di 1,20 m e scegliendo l'altezza di misura $h = 1$ m si ottengono i seguenti dati in corrispondenza dell'asse y del conduttore.

Linea	N° Terne	Sezione	Portata cavo corretta	Induzione B calcolata a 1 m
Linea CDR-CDS a 36 kV	1	3 x 1 x 630 mm ²	388 A	0,982 μ T

Tabella 10 – Calcolo induzione magnetica del cavidotto interrato a doppia terna

Distanza dall'asse centrale del cavidotto (m)	B _{tot} al suolo (μ T)	B _{tot} a 1 m dal suolo (μ T)	B _{tot} a 1,5 m dal suolo (μ T)	B _{tot} a 2 m dal suolo (μ T)	B _{tot} a 2,5 m dal suolo (μ T)	B _{tot} a 3 m dal suolo (μ T)
-10	0,047	0,045	0,044	0,043	0,042	0,040
-9,5	0,052	0,050	0,049	0,047	0,046	0,044
-9	0,058	0,055	0,054	0,052	0,050	0,048
-8,5	0,064	0,062	0,060	0,058	0,055	0,053
-8	0,073	0,069	0,067	0,064	0,061	0,058
-7,5	0,082	0,078	0,075	0,071	0,068	0,064
-7	0,094	0,088	0,084	0,080	0,076	0,071
-6,5	0,109	0,101	0,096	0,091	0,085	0,079
-6	0,127	0,116	0,110	0,103	0,096	0,089
-5,5	0,150	0,135	0,127	0,117	0,108	0,099
-5	0,180	0,159	0,147	0,135	0,123	0,111
-4,5	0,219	0,189	0,173	0,156	0,140	0,125
-4	0,272	0,228	0,204	0,181	0,160	0,141
-3,5	0,347	0,278	0,243	0,211	0,183	0,159
-3	0,455	0,343	0,292	0,247	0,209	0,178
-2,5	0,618	0,428	0,351	0,288	0,238	0,199
-2	0,874	0,538	0,421	0,334	0,269	0,220
-1,5	1,288	0,670	0,498	0,380	0,298	0,239
-1	1,948	0,814	0,573	0,423	0,323	0,255
-0,5	2,812	0,934	0,630	0,453	0,341	0,266
0	3,300	0,982	0,652	0,464	0,347	0,269
0,5	2,812	0,934	0,630	0,453	0,341	0,266
1	1,948	0,814	0,573	0,423	0,323	0,255
1,5	1,288	0,670	0,498	0,380	0,298	0,239
2	0,874	0,538	0,421	0,334	0,269	0,220
2,5	0,618	0,428	0,351	0,288	0,238	0,199
3	0,455	0,343	0,292	0,247	0,209	0,178
3,5	0,347	0,278	0,243	0,211	0,183	0,159
4	0,272	0,228	0,204	0,181	0,160	0,141
4,5	0,219	0,189	0,173	0,156	0,140	0,125
5	0,180	0,159	0,147	0,135	0,123	0,111
5,5	0,150	0,135	0,127	0,117	0,108	0,099
6	0,127	0,116	0,110	0,103	0,096	0,089
6,5	0,109	0,101	0,096	0,091	0,085	0,079
7	0,094	0,088	0,084	0,080	0,076	0,071
7,5	0,082	0,078	0,075	0,071	0,068	0,064
8	0,073	0,069	0,067	0,064	0,061	0,058
8,5	0,064	0,062	0,060	0,058	0,055	0,053
9	0,058	0,055	0,054	0,052	0,050	0,048
9,5	0,052	0,050	0,049	0,047	0,046	0,044
10	0,047	0,045	0,044	0,043	0,042	0,040

Tabella 11 – Andamento tabellare dell'induzione magnetica generata dai cavidotti interrati ad una sola terna dalla cabina di sezionamento alla Sottostazione Terna

I valori sono inferiori al valore di qualità di $3 \mu\text{T}$ previsto per proteggere la popolazione e a maggior ragione ai Valori di Azione (VA) inferiori e ai Valori Limiti di Esposizione (VLE) previsti dal D.Lgs. 81/08 per la sicurezza dei lavoratori.

Volendo considerare il valore di emissione al suolo, la DPA risulta essere di 0,40 m dall'asse del cavidotto.

Nel diagramma seguente si può notare che il campo magnetico ha un comportamento prettamente gaussiano, cioè diminuisce allontanandosi dalla verticale del cavidotto per annullarsi ad una distanza di 10 m dall'asse del cavidotto stesso. Chiaramente l'intensità del campo diminuisce all'aumentare della quota a cui viene calcolato.

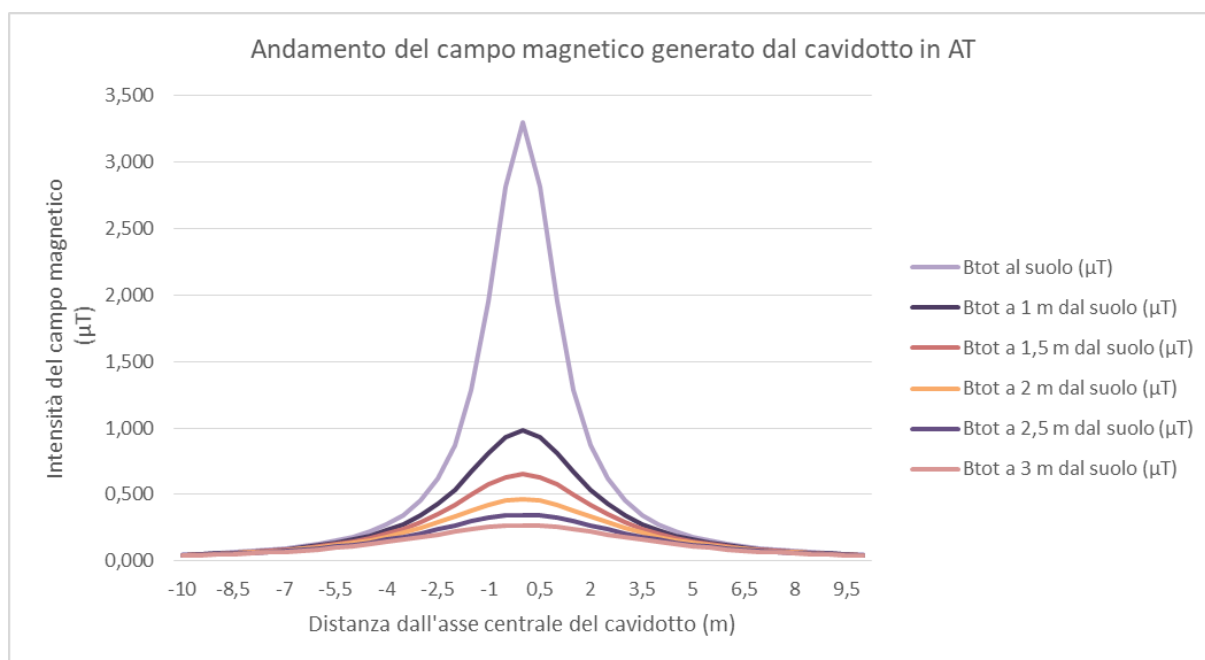


Figura 7 – Andamento del campo magnetico generato dai cavidotti ad una sola terna dalla cabina di sezionamento alla Sottostazione di Terna

10. Campo elettromagnetico generato dai gruppi di trasformazione AT/BT

Le sorgenti di campo magnetico a 50 Hz presenti in una cabina AT/BT sono di diverso tipo, alcune semplici da analizzare, altre di più difficile rappresentazione. Tuttavia, ai fini di sviluppare criteri generali di progetto e di proporre soluzioni costruttive non dettagliate, è opportuno considerare alcune configurazioni elementari in cui può essere idealmente scomposto l'impianto che aiutano a definire i principali parametri elettrici e geometrici da cui dipende il campo magnetico generato da un impianto reale. La sorgente "sistema di conduttori" in diverse configurazioni rappresenta i diversi tipi di percorsi di conduttori e cavi presenti nell'impianto, si tratta di sistemi trifase percorsi da correnti normalmente equilibrate e simmetriche.

Le cabine di trasformazione dell'impianto fotovoltaico generano un campo elettromagnetico che riguarda esclusivamente il personale che opera all'interno dell'impianto. Le macchine sono obbligatoriamente conformi alle normative di settore che prevedono la schermatura dei campi magnetici per la commercializzazione dei prodotti.

Le norme di settore principali sono le EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-4, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12, EN 62109-1, EN 62109-2, EN 62103, EN 50178, FCC Part15, AS 310.

I punti maggiormente a rischio per l'esposizione ai campi elettromagnetici sono i cavi in uscita dal quadro di bassa tensione degli inverter al trasformatore. La presenza della cassa di ferro rende trascurabili i flussi dispersi nell'ambiente circostante e il campo magnetico misurato sulla parte esterna adiacente al trasformatore è sostanzialmente imputabile ai cavi AT o BT che si collegano ai suoi terminali. I cavi sono attraversati da correnti e generano un campo elettromagnetico proporzionale alla corrente e quelli che generano il campo più intenso sono certamente quelli lato BT.

Facendo riferimento alla Guida CEI 106-12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT" si può utilizzare la seguente formula per calcolare il campo magnetico prodotto da terne di cavi disposti in parallelo.

$$B = 0,2 \times \sqrt{3} \frac{I}{D} \times \frac{S}{D} \quad [\mu T]$$

Dove:

- 11. B è il campo magnetico prodotto
- 12. I è la corrente che attraversa la terna di conduttori
- 13. S è la distanza fra i conduttori
- 14. D è la distanza a cui si calcola il campo magnetico.

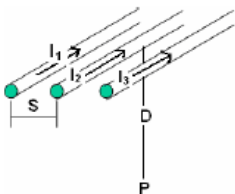
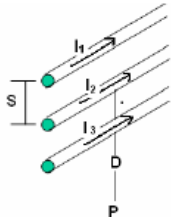
a) Terna trifase di conduttori in piano	b) Terna trifase di conduttori in verticale
	
$B(\mu T) = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I \cdot S}{D \cdot D}$	

Figura 8 – Formule approssimate per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta da un sistema trifase di conduttori rettilinei disposti tra di loro parallelamente e percorsi da una terna di correnti equilibrate e simmetriche

Imponendo il limite di 100 μT si ottiene la relazione che indica a quale distanza in metri tale condizione è verificata per i lavoratori occasionali non professionalmente esposti:

$$D = \sqrt{\frac{0,2 \times \sqrt{3} \times I \times S}{100}} \quad [m]$$

L'impianto è dotato delle seguenti cabine di trasformazione:

- Sottocampo West: trasformatore W1 da 3300 kVA e trasformatore W2 da 3300 kVA;
- Sottocampo East: trasformatore E1, E2, E3, E4 da 3300 kVA e trasformatore E5 da 4400 kVA;

Nella tabella sottostante si riporta la distanza D a cui il campo magnetico è minore del limite prefissato in funzione delle correnti che attraversano le terne di cavi. Si noti che per i lavoratori professionalmente esposti cioè per i lavoratori che abitualmente intervengono su questo tipo di applicazioni, la normativa consente un limite di esposizione di 1000 μT .

Trasformatore	Correnti	Distanza D Lavoratori	Distanza D Lavoratori non prof. esposti	DPA
3300 kVA	2 x 1381 A	0,49 m	1,55 m	6,31 m
4400 kVA	2 x 1841 A	0,56 m	1,79 m	7,29 m

Tabella 12 – Calcolo induzione magnetica dei cavi in BT in entrata ai trasformatori AT/BT dell'impianto fotovoltaico

Considerando che i cavi entrano nel vano trasformatore da un condotto protetto da un carter metallico, non vi è alcuna ragione o possibilità per cui un operatore possa avvicinarsi a meno di 56 cm dai cavi quando gli inverter sono in funzione anche per eseguire eventuali interventi di manutenzione.

Per quanto riguarda i cavi che escono dal lato AT del trasformatore, si fa presente che questi sono percorsi da correnti di intensità massima di 70 A che generano campi di intensità molto inferiore a quelli della BT e vanno direttamente nel cavidotto interrato ed isolato pertanto non presentano rischi e ricadono nella tipologia di valutazione eseguita precedentemente.

L'esposizione del personale di manutenzione ai campi elettromagnetici prodotti dalle cabine dunque non supera i limiti imposti dalla normativa.

Nel caso dei lavoratori non professionalmente esposti non vi sono motivi per cui dovrebbero sostare a lungo vicino ai cavi alle distanze previste nella tabella precedente. Sarà obbligatorio informarli dei rischi e delle distanze da mantenere.

11. Conclusioni

Il presente documento è una valutazione preliminare del rischio di esposizione ai campi elettromagnetici per l'impianto agrivoltaico avanzato da realizzare in Molinella (BO) per conto della società proponente Molinella Energy S.R.L attualmente in fase di progetto nei comuni di Molinella, Argenta e Portomaggiore.

L'esposizione è stata valutata dal Tecnico incaricato in base alla documentazione progettuale messa a disposizione dal Committente.

I punti di maggiore attenzione sono: i cavidotti in AT a 36 kV presenti all'interno dell'impianto, le cabine di trasformazione BT-AT, il cavidotto AT che collega l'impianto alla Cabina di sezionamento e quello che arriva alla Sottostazione di Terna sempre a 36 kV. Le sorgenti più pericolose dal punto di vista dei CEM sono i cavi percorsi da corrente e l'intensità dei campi prodotti è proporzionale alla corrente che attraversa i conduttori.

La valutazione ha tenuto in conto della tipologia, della frequenza e della durata delle mansioni che il personale svolgerà nell'impianto. L'analisi è stata condotta in forma molto conservativa in quanto i valori limite da normativa si basano su una media giornaliera mentre i calcoli sono stati eseguiti considerando che l'impianto lavori sempre nelle condizioni di massima potenza in immissione o in entrata.

Dall'analisi risulta che i cavidotti interrati non rappresentano un pericolo in quanto l'intensità del campo elettromagnetico prodotto è estremamente contenuta grazie all'assorbimento garantito dal terreno stesso. Anche volendo considerare la DPA al suolo, si nota che rimane sempre all'interno dell'area di progetto.

Nella planimetria allegata non si riportano le distanze fra il cavidotto e i più vicini luoghi dove è prevista la permanenza continuativa di persone per più di quattro ore giornaliere perché l'emissione di campi elettromagnetici rimane sempre al di sotto del valore qualità di $3 \mu\text{T}$, anche al suolo e in corrispondenza dell'asse dei cavi.

Le Power Station generano un campo magnetico in corrispondenza dei cavi in MT che rientra nei limiti di esposizione prevista, ad esempio per il trasformatore più potente si raggiunge il rispetto dei limiti per distanze superiori a 56 cm nel caso di lavoratori professionalmente esposti e per distanze superiori a 1,55 m nel caso di lavoratori non professionalmente esposti (visitatori, personale di imprese non direttamente coinvolte nella manutenzione elettrica). La distanza di 56 cm è compatibile con la tipologia di manutenzione che viene eseguita anche perché la maggior parte degli interventi si esegue con gli inverter fermi e quindi in assenza di campi magnetici. Per quanto riguarda il personale non professionalmente esposto si ritiene assolutamente sporadica e occasionale l'avvicinamento alle macchine, pertanto è sufficiente provvedere ad una adeguata informazione in merito al rischio campi elettromagnetici da impartire all'ingresso dell'impianto o comunque preliminarmente per iscritto.

Dalle verifiche eseguite non si rilevano rischi per la popolazione né per i lavoratori coinvolti nella gestione dell'impianto.

Il Tecnico

Ing. Francesco Guzzo Cava



A circular professional stamp for Francesco Guzzo Cava, an Engineer (Ingegnere) in the Order of Engineers of Rome (Ordine Ingegneri Roma). The stamp includes the registration number A-25814 and the sector a-b-c. Below the stamp is a handwritten signature in black ink.