

Committente

Inventiva1 S.R.L.

Via Angelo Signorelli n. 105 – 00123 Roma (RM)

P.IVA 15804621009

Progettista



Via Giorgio Baglivi, 3 - 000161 Roma - info@floreweb.com

PROGETTO AGRIVOLTAICO "ACCIARELLA"

Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza pari a 17,27 MWp integrato da un sistema di accumulo da 4,56 MW e relative opere di connessione alla RTN

Località

REGIONE LAZIO - COMUNE DI LATINA (LT)

Titolo

RELAZIONE IMPATTO CAMPI ELETTROMAGNETICI

Data: mag-2023

Revisione

Codice elaborato

FL_ACC_R17

Timbro e firma Autore

Ing. Francesco Guzzo Cava



Timbro e firma Inventiva1 S.R.L.


INVENTIVA1 S.R.L.
Via Angelo Signorelli, 105
00123 Roma (Rm)
P.Iva/C.F. 15804621009



Sommario

1.	Premessa	2
2.	Riferimenti normativi e tecnici.....	2
2.1.	Riferimenti normativi	2
2.2.	Riferimenti tecnici	3
3.	Descrizione del progetto.....	4
3.1.	Localizzazione del progetto.....	4
3.2.	Descrizione sintetica del progetto	4
4.	Valori limiti di riferimento	7
5.	Obblighi di sicurezza del lavoro previsti dal D.Lgs 81/08 e misure di prevenzione da adottare	8
6.	Campo elettromagnetico generato dai cavidotti interrati.....	10
6.1.	Caratteristiche dei cavidotti in MT.....	10
6.2.	Calcolo induzione magnetica dei cavidotti interrati in MT dell'area dell'impianto fotovoltaico.....	11
6.3.	Calcolo induzione magnetica del cavidotto interrato per la linea MT	13
6.4.	Campo elettromagnetico generato dalle cabine MT/BT	15
6.5.	Campo elettromagnetico generato nella SSE.....	17
7.	Conclusioni	19

1. Premessa

Il presente documento costituisce la Relazione dei campi elettromagnetici dell'impianto agrivoltaico denominato "Acciarella" della potenza di 17,27 MWp, integrato da un sistema di accumulo (B.E.S.S.) di 4,56 MW. Il progetto riguarda anche le opere di connessione alla RTN, inclusa la sottostazione utente di trasformazione MT/AT (di seguito SSE) e la linea di connessione di media tensione. La SSE è a sua volta collegata alla RTN AT Terna con cavidotto interrato su strade pubbliche. La connessione avverrà in antenna a 150 kV con la sezione 150 kV della stazione elettrica di trasformazione (SE) della RTN 380/150 kV di Latina Nucleare. La potenza totale richiesta ai fini della connessione è di 17 MW in immissione.

Il soggetto proponente dell'iniziativa è la Società Inventiva1 S.R.L. avente sede legale ed operativa in Roma, Via Angelo Signorelli 105, iscritta nella Sezione Ordinaria della Camera di Commercio Industria Agricoltura ed Artigianato di Roma, C.F. e P.IVA N. 15804621009.

L'obiettivo della presente indagine è valutare l'esposizione ai campi elettromagnetici per la protezione dai rischi per la salute della popolazione e dei lavoratori che opereranno nella realizzazione del progetto di seguito descritto.

La stesura del presente documento è stata effettuata dall'Ing. Francesco Guzzo Cava iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Roma al n. A25814 con domicilio professionale in via Gadames 5 in Roma. Il Tecnico ha preso visione degli elaborati progettuali messi a disposizione della Committenza.

2. Riferimenti normativi e tecnici

2.1. 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)

2.2. 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

3. Descrizione del progetto

3.1. Localizzazione del progetto

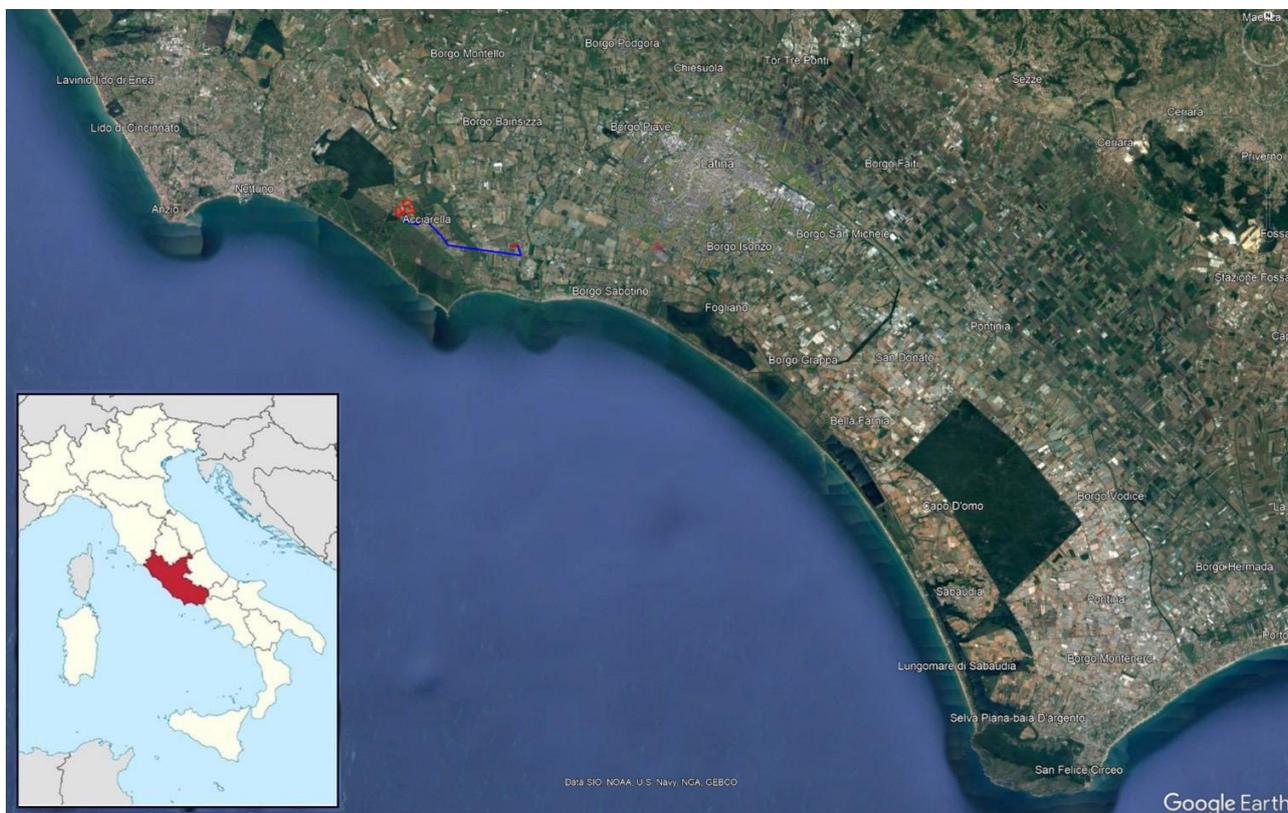


Figura 1 – Inquadratura generale su immagine satellitare

L'impianto agrivoltaico, denominato "Acciarella", sarà realizzato nel Lazio, nel Comune di Latina (LT) a circa 12 km dal centro della città e sarà facilmente raggiungibile dalla Strada Provinciale SP039 (Lungomare Pontino – Via Acciarella).

L'area di impianto è a carattere agricolo e sarà suddivisa in 3 campi distinti (nominati di seguito A, B, C) ed avrà un'estensione complessiva di circa 21 Ha (area interna alla recinzione). Il campo A è a sua volta suddiviso in due sottocampi denominati A1 e A2. L'impianto sarà collegato, tramite un cavidotto interrato di media tensione, ad una sottostazione elettrica (SSE).

3.2 Descrizione sintetica del progetto

Il progetto consiste nella realizzazione di un impianto agri-fotovoltaico a terra, su strutture ad inseguimento monoassiale (trackers), in tre diversi lotti di terreno ubicati nel Comune di Latina, Località Acciarella.

La Sottostazione elettrica di utenza (SSE) di elevazione della tensione da 30kV a 150kV, per l'immissione dell'energia prodotta nella rete ad Alta Tensione di Terna, sarà ubicata sempre nel Comune di Latina, in località Borgo Sabotino, in un sito posto a circa 1 km dalla Stazione Elettrica di Terna denominata Latina Nucleare. L'impianto agro-fotovoltaico sarà composto complessivamente da 4 sottocampi di potenza variabile, per una potenza complessiva di 17,27

MWp, collegati fra loro attraverso una rete di distribuzione interna in media tensione. In uno dei campi (Campo C) è prevista anche la realizzazione di un sistema di accumulo (BESS) di potenza pari a 4,56 MW allo scopo di compensare gli squilibri della linea fornendo potenza quando necessario o accumulandola in caso di calo della domanda.

Presso l'impianto verranno altresì realizzate le cabine di trasformazione (Smart Transformer Station) dalle quali si dipartono le linee di collegamento di media tensione interrato verso la cabina di smistamento e poi verso la sottostazione elettrica utente (SSE).

Sarà inoltre realizzata la cabina dei servizi ausiliari dotata anche di control room per la gestione e monitoraggio dell'impianto, dei servizi ausiliari e di videosorveglianza. Gli inverter saranno del tipo Outdoor quindi non sono previste cabine di conversione.

L'impianto nel suo complesso è costituito dalle seguenti componenti:

- Inverter outdoor collegati a trasformatori di potenza MT/BT che trasformano la tensione da 800 V a 30.000 V.
- Gruppi batterie del tipo Litio Ferro Fosfato (LFP) alloggiati in appositi container. Gli accumulatori sono composti da celle elettrochimiche collegate in serie ed in parallelo per formare moduli di batterie. I moduli, a loro volta, vengono elettricamente collegati tra loro ed assemblati in appositi armadi/container in modo tale da conseguire i valori richiesti di potenza, tensione e corrente.
- Linee interrate da 30 kV che collegano le cabine di trasformazione alla sottostazione utente.
- Una sottostazione utente di trasformazione AT/MT 150/30 kV

L'impianto è completato da:

- tutte le infrastrutture tecniche necessarie alla conversione DC/AC della potenza elettrica e dalla sua consegna alla rete di trasmissione nazionale
- opere accessorie, quali: impianti di illuminazione, videosorveglianza, antintrusione, monitoraggio, viabilità di servizio, cancelli e recinzioni.

Le cabine di trasformazione MT/BT sono costituite da un apposito shelter metallico IP54, con differenti compartimenti per le diverse sezioni di impianto. Le pareti e il tetto dello shelter sono isolati al fine di garantire una perfetta impermeabilità all'acqua e un corretto isolamento termico. Tutte le apparecchiature saranno posate su un basamento in calcestruzzo di adeguate dimensioni, ove saranno stati predisposti gli opportuni cavedi e tubazioni per il passaggio dei cavi di potenza e segnale.

Tutte le componenti esterne saranno dotate di tutti gli accorgimenti atti a garantire la massima protezione in condizioni climatiche quale che sia l'ambiente di installazione. Per una completa accessibilità ai vari comparti, saranno adottati tutti quei provvedimenti in modo che tutti i

dispositivi installati siano immediatamente accessibili, rendendo più agevole l'ispezione, la manutenzione e la riparazione.

L'impianto in progetto convoglierà l'energia verso una Sottostazione Elettrica di Utente (SSE) 150/30 kV connessa alla rete di trasmissione nazionale così composta:

- n. 1 castelletto cavi AT con terminali cavi
- n. 3 isolatori unipolari
- n. 3 trasformatori di tensione capacitivi
- n. 1 interruttore compatto PASS (sezionatore, interruttore e TA) di protezione generale
- n. 3 trasformatori di tensione induttivi
- n. 1 sistema di distribuzione in sbarre
- n. 3 sezionatori rotativi
- n. 1 trasformatore AT/MT 150/30 kV della potenza di 20 MVA

Infine, presso l'edificio di sottostazione, verranno installati i quadri MT di protezione, sezionamento e misura, nonché i quadri di bassa tensione per i servizi ausiliari.

La sottostazione avrà un locale tecnico da cui il personale potrà provvedere alla conduzione dell'installazione. Il personale non lavorerà mai continuamente in tali locali anche perché la SSE sarà comunque controllabile anche da remoto. La figura seguente mostra un esempio di trasformatore MT/AT installato in una SSE.



Figura 2 – Esempio di trasformatore MT/AT installato in una SSE

4. 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 μ T 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 μ T, 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 μ T (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 μ T (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 μ T (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 1 - 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 μ T
 VA(B) superiore = 6.000 μ T

Per i lavoratori non professionalmente esposti, il limite per l'induzione magnetica scende a 100 μ T.

5. 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 superiori ai VLE relativi agli effetti sanitari e ai 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 adotta 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.

6. Campo elettromagnetico generato dai cavidotti interrati

6.1. Caratteristiche dei cavidotti in MT

Per la valutazione del campo magnetico generato da un elettrodotto interrato in MT 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	Linea	P (MW)	Tensione (kV)	Lunghezza (m)	Sezione (mmq)	Disposizione	Corrente (A)
A1	Sottocampo A1	7,2	30	735	240	1 x (3 x 1 x 240)	145,86
A2	Sottocampo A2	3,9	30	445	120	1 x (3 x 1 x 120)	79,01
B	Sottocampo B	4,8	30	510	120	1 x (3 x 1 x 120)	97,24
MT	Cavidotto MT fino a SSE	17	30	6200	400	2 x (3 x 1 x 400)	344,39

Figura 3 – Cavidotti interrati in MT

I cavidotti interrati delle linee A1, A2 e B collegano i trasformatori dei sottocampi alla cabina di smistamento da cui parte il cavidotto in MT che arriva alla Sottostazione utente (SSE).

Il sottocampo C e il BESS sono collegati alla cabina di smistamento da cavi interni al cabinato stesso e quindi non è previsto un cavidotto.

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 miscela in XLPE e fra questo e il conduttore è interposto uno strato di miscela 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 30kV.

I tratti con maggiore intensità di corrente e quindi più critici per la propagazione dei campi elettromagnetici sono la linea A1 e la linea MT che collega la cabina di parallelo al trasformatore MT-AT. Si sceglie quindi di verificare il rispetto delle prescrizioni normative sulla linea A1 che è

attraversato da 7,2 MW di potenza e sulla linea MT che trasporta fino a 17 MW in quanto sono i due tratti ad emissione elettromagnetica maggiore.

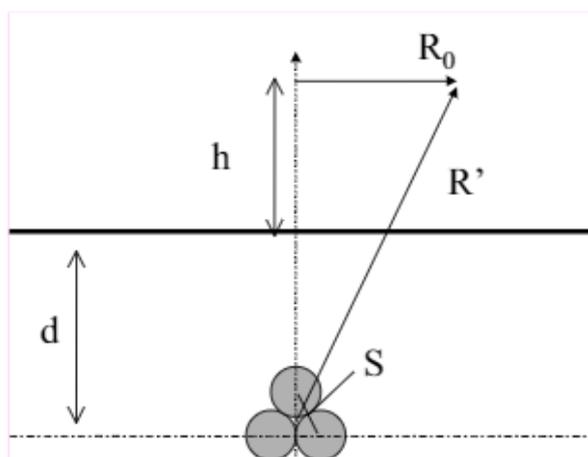
La metodologia di calcolo è quella proposta dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici) secondo il DM 29/5/2008 e specificate nella norma CEI 106-11.

Per il caso di una singola terna di cavi sotterranei di MT posati a trifoglio, si utilizza la formula suggerita dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3 per cui è possibile ricorrere ad una 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 4 – Cavo interrato a trifoglio



Dove:

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

6.2. Calcolo induzione magnetica dei cavidotti interrati in MT dell'area dell'impianto fotovoltaico

Considerando la profondità di posa di 0,80 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 Sottocampo A1 a 30 kV	1	3 x 1 x 240 mm ²	145,86 A	0,551 μT

Tabella 2 – Calcolo induzione magnetica dei cavidotti interrati nell'area dell'impianto FV

Distanza dall'asse centrale del cavidotto (m)	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	0,017	0,017	0,017	0,016	0,016
-9,5	0,019	0,019	0,018	0,018	0,017
-9	0,021	0,021	0,020	0,019	0,019
-8,5	0,024	0,023	0,022	0,021	0,021
-8	0,027	0,026	0,025	0,024	0,023
-7,5	0,030	0,029	0,028	0,027	0,025
-7	0,034	0,033	0,031	0,030	0,028
-6,5	0,039	0,038	0,036	0,034	0,032
-6	0,046	0,043	0,041	0,038	0,035
-5,5	0,053	0,050	0,047	0,043	0,040
-5	0,063	0,059	0,054	0,050	0,045
-4,5	0,076	0,070	0,064	0,057	0,051
-4	0,093	0,084	0,075	0,066	0,059
-3,5	0,115	0,102	0,089	0,077	0,067
-3	0,146	0,125	0,106	0,090	0,076
-2,5	0,188	0,155	0,127	0,104	0,086
-2	0,247	0,192	0,151	0,120	0,097
-1,5	0,325	0,237	0,177	0,136	0,107
-1	0,421	0,284	0,202	0,150	0,116
-0,5	0,512	0,322	0,221	0,160	0,122
0	0,551	0,338	0,228	0,164	0,124
0,5	0,512	0,322	0,221	0,160	0,122
1	0,421	0,284	0,202	0,150	0,116
1,5	0,325	0,237	0,177	0,136	0,107
2	0,247	0,192	0,151	0,120	0,097
2,5	0,188	0,155	0,127	0,104	0,086
3	0,146	0,125	0,106	0,090	0,076
3,5	0,115	0,102	0,089	0,077	0,067
4	0,093	0,084	0,075	0,066	0,059
4,5	0,076	0,070	0,064	0,057	0,051
5	0,063	0,059	0,054	0,050	0,045
5,5	0,053	0,050	0,047	0,043	0,040
6	0,046	0,043	0,041	0,038	0,035
6,5	0,039	0,038	0,036	0,034	0,032
7	0,034	0,033	0,031	0,030	0,028
7,5	0,030	0,029	0,028	0,027	0,025
8	0,027	0,026	0,025	0,024	0,023
8,5	0,024	0,023	0,022	0,021	0,021
9	0,021	0,021	0,020	0,019	0,019
9,5	0,019	0,019	0,018	0,018	0,017
10	0,017	0,017	0,017	0,016	0,016

Tabella 3 – Andamento tabellare dell'induzione magnetica generata dai cavidotti interrati nell'area 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.

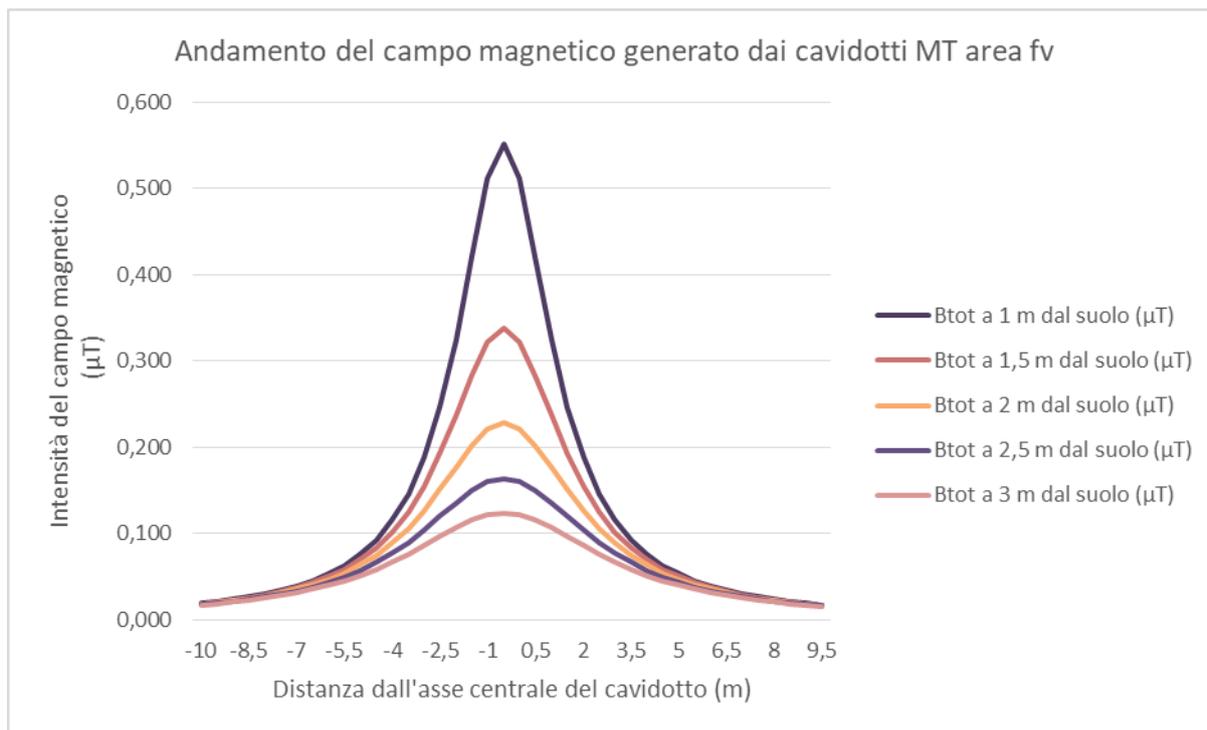


Figura 5 – Andamento del campo magnetico generato dai cavidotti nell'area dell'impianto FV

6.3. Calcolo induzione magnetica del cavidotto interrato per la linea MT

Il cavidotto che collega la cabina di parallelo dell'impianto fotovoltaico al trasformatore in sottostazione utente (SSE) in casi estremi può arrivare a convogliare tutta la potenza producibile dall'impianto e quella immagazzinabile nel sistema di accumulo fino al limite di 17 MW imposto dal regolamento di esercizio. Le caratteristiche del cavidotto sono riportate nella tabella sottostante.

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 MT a 30 kV	2	2 x 3 x 1 x 400 mm ²	344,39 A	1,302 μT

Tabella 4 – Calcolo induzione magnetica dei cavidotti interrati nell'area dell'impianto FV

L'andamento tabellare del campo magnetico è quello indicato di seguito.

Distanza dall'asse centrale del cavidotto (m)	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	0,065	0,064	0,063
-9	0,080	0,078	0,076
-8	0,101	0,098	0,094
-7	0,130	0,124	0,119
-6	0,173	0,164	0,154
-5	0,240	0,223	0,206
-4	0,353	0,318	0,284
-3	0,556	0,474	0,402
-2	0,939	0,730	0,573
-1	1,584	1,079	0,767
0	2,033	1,281	0,865
1	1,584	1,079	0,767
2	0,939	0,730	0,573
3	0,556	0,474	0,402
4	0,353	0,318	0,284
5	0,240	0,223	0,206
6	0,173	0,164	0,154
7	0,130	0,124	0,119
8	0,101	0,098	0,094
9	0,080	0,078	0,076
10	0,065	0,064	0,063

Figura 6 – Andamento tabellare del campo magnetico generato dal cavidotto della linea MT

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.

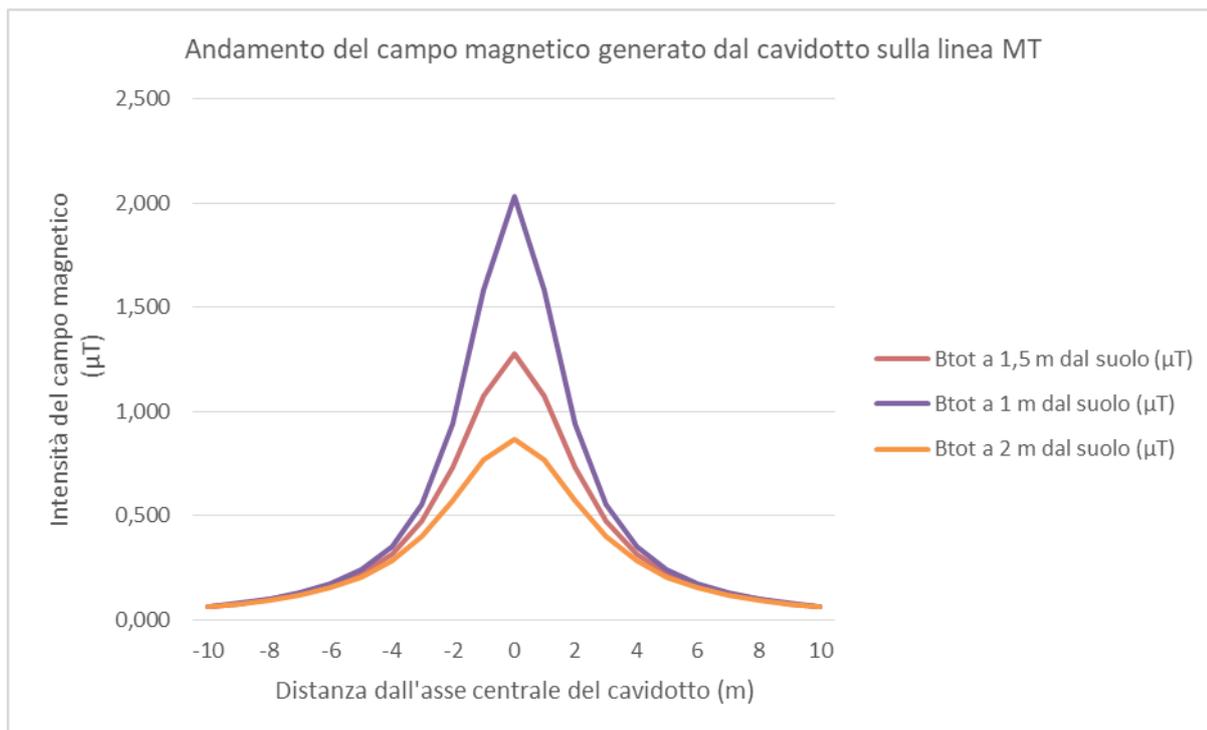


Figura 7 – Andamento del campo magnetico generato dalla linea in MT

6.4. Campo elettromagnetico generato dalle cabine MT/BT

Le sorgenti di campo magnetico a 50 Hz presenti in una cabina MT/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 semplici 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 e del BESS 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 entrata ai trasformatori dal lato in bassa tensione. 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 MT 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.

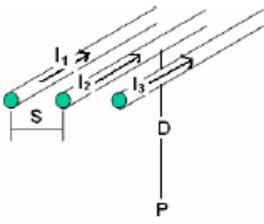
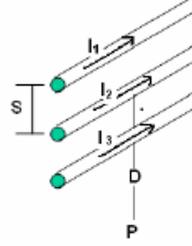
Facendo riferimento alla Guida CEI 106-12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT" si può utilizzare la seguente formula per calcolare il campo magnetico prodotto da terne di cavi disposti in parallelo.

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

Dove:

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

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

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

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 fotovoltaico è dotato delle seguenti cabine di trasformazione:

Sottocampo A1: trasformatore A.1.A da 6000 kVA e trasformatore A.1.B da 3400 kVA

Sottocampo A2: trasformatore A.2 da 6000 kVA

Sottocampo B: trasformatore B da 6000 kVA

BESS: trasformatore da 5000 kVA

La sezione con la potenza nominale in AC maggiore è il sottocampo A1 con 4.500 kW. Si sceglie di valutare i campi elettromagnetici su questo trasformatore in una condizione quindi estremamente cautelativa.

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 μ T.

Cabina MT/BT	Trasformatore	Correnti	Distanza D Lavoratori	Distanza D Lavoratori non prof. esposti
Potenza installata di 4,5 MW	6000 kVA	1 x 3 x 3765 A	0,57 m	1,81 m

Tabella 5 – Calcolo induzione magnetica dei cavi in BT in entrata ai trasformatori MT/BT

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 in qualche modo avvicinarsi a meno di 57 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 MT del trasformatore, si fa presente che questi sono percorsi da correnti di intensità massima inferiore a 100 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 MT/BT dunque non supera i limiti imposti dalla normativa.

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

6.5. Campo elettromagnetico generato nella SSE

La Sottostazione dell'impianto in oggetto avrà una sala di controllo da cui il personale condurrà la sottostazione ma mai in forma continuativa in quanto la SSE è perfettamente controllabile anche da remoto fino a quando non è necessario eseguire delle manovre elettriche in sito.

I punti di emissione presenti nella SSE sono:

- Linee di BT con apparecchiature elettroniche
- Trasformatore MT/AT con arrivo dei cavi dall'impianto fotovoltaico
- Sbarre in AT in uscita dal trasformatore in AT per la connessione alla SSE Terna

Per quanto riguarda le linee BT e le apparecchiature elettroniche presenti nei locali tecnici della Sala Controllo, le apparecchiature possono essere considerate conformi e non presentano un rischio per i lavoratori.

Per il calcolo del campo magnetico prodotto dal trasformatore MT/AT si fa ancora riferimento al campo prodotto i punti maggiormente a rischio sono anche in questo caso i cavi in ingresso in MT e quelli in uscita verso le sbarre in AT. 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 MT e AT che si collegano ai suoi terminali. I cavi sono attraversati da correnti e generano un campo elettromagnetico proporzionale alla corrente.

Facendo riferimento sempre alla Guida CEI 106-12 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:

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

Imponendo il limite di 1.000 μT si ottiene la relazione che indica a quale distanza in metri tale condizione è verificata a partire da distanze maggiori di:

$$D = \sqrt{\frac{0,2 \times \sqrt{3} \times I \times S}{1000}} \quad [m]$$

Analogamente 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:

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

Analogamente imponendo il limite di 3 μT si ottiene la relazione che indica a quale distanza in metri tale condizione è verificata per rispettare l'obiettivo qualità, tale distanza è la DPA (Distanza di prima approssimazione):

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

Il trasformatore riceverà due terne di cavi in MT percorsi da corrente nominale di 344,4 A alla tensione di 30.000 V con distanza fra le fasi di circa 40 cm. In uscita il trasformatore ha delle

sbarre in poste a distanza reciproca di 2,20 m percorse da corrente nominale di 72,7 A alla tensione di 150.000 V.

Le distanze a cui vengono rispettati i limiti imposti sono riassunte nella **Tabella 6**.

Sorgente CEM	Correnti	Tensioni	Distanza D Lavoratori	Distanza D Lavoratori non prof. esposti	DPA obiettivo qualità 3 μ T
Cavi in MT	2 x 344,4 A	30.000 V	0,22 m	0,69 m	3,99
Sbarre in AT	3 x 72,7 A	150.000 V	0,24 m	0,74 m	4,30

Tabella 6 – Distanza D a cui il campo elettromagnetico è inferiore ai limiti imposti dalla normativa

Le distanze calcolate sono coerenti anche con le prescrizioni normative, la DPA di 4,30 m è rispettata in quanto i locali tecnici della SSE sono fuori dall'area. Tutta la DPA della SSE ricade all'interno dell'area a disposizione del produttore.

Le distanze calcolate sono compatibili con le attività che vengono eseguite nella SSE: in quanto i lavoratori (professionalmente esposti e non esposti) non si avvicinano mai così tanto ai conduttori quando sono percorsi da corrente in MT. Per quanto riguarda la AT, le distanze vengono rispettate sia per la geometria stessa delle sbarre, dei sezionatori sia per contenere il rischio di elettrocuzione. Si ricordi che le misure di distanza dai conduttori nudi imposte dall'All. IX al D.Lgs 81/08 sono ben più stringenti di quanto emerso dal calcolo dei campi elettromagnetici.

7. Conclusioni

Il presente documento è una valutazione preliminare del rischio di esposizione ai campi elettromagnetici per l'impianto fotovoltaico Acciarella di Inventiva 1 Srl attualmente in fase di progetto nel comune di Latina.

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 MT a 30 kV presenti all'interno dell'impianto, cabine di trasformazione BT-MT, il cavidotto MT che collega l'impianto alla Sottostazione MT-AT e la Sottostazione stessa a 150 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 e nella SSE. 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.

Le Power Station generano un campo magnetico in corrispondenza dei cavi in MT che rientra nei limiti di esposizione prevista per distanze superiori a 57 cm nel caso di lavoratori professionalmente esposti e per distanze superiori a 1,81 m nel caso di lavoratori non professionalmente esposti (visitatori, personale di imprese non direttamente coinvolte nella manutenzione elettrica). La distanza di 57 cm è assolutamente 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 a meno di 1,81 m 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.

L'area della SSE prevede un rischio di esposizione soprattutto in prossimità del trasformatore MT-AT sia dal lato dei cavi in MT che da quello delle sbarre in AT. La distanza di prima approssimazione (DPA) più di rilievo è quella dalle sbarre in AT che prevede una distanza di 4,30 m ed è rispettata considerando la posizione dei locali tecnici della sottostazione. Tutta la fascia della DPA ricade all'interno del terreno nella disponibilità di Inventiva 1.

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



Stampa professionale circolare di Francesco Guzzo Cava, Ingegnere in Roma, n. A-25814, settore e-b-g. Sotto la stampella è presente la firma manoscritta "Ing. Francesco Guzzo Cava".