



REGIONE EMILIA ROMAGNA
COMUNI DI ARGENTA (FE) E PORTOMAGGIORE (FE)

PROGETTO

**Impianto Fotovoltaico “Lugo” da 23 MW con sezione dedicata
a Tecnologia Agrivoltaica Avanzata e Opere Connesse**

Comuni di Argenta (FE) e Portomaggiore (FE)

TITOLO

Rel. 14 - Relazione Esposizione lavoratori ai CEM

PROPONENTE



ENGIE ELICEO S.r.l.

Sede legale e Amministrativa:

Via Chiese 72

20126 Milano (MI)

PEC: engieeliceo@pec.engie.com

PROGETTISTA



SCM ingegneria S.r.l.

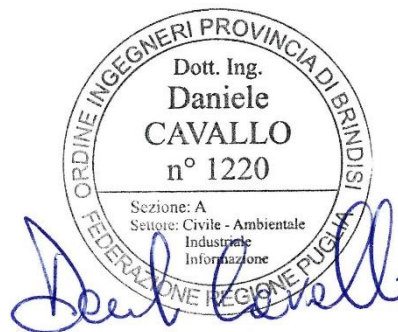
Via Carlo del Croix, 55

Tel.: +39 0831-728955

72022 Latiano (BR)

Mail: info@scmingegneria.com

Dott. Ing. Daniele Cavallo



Scala	Formato Stampa	Cod. Elaborato	Rev.	Nome File	Foglio
	A4	REL14	00	REL14-Relazione Esposizione lavoratori ai CEM	1 di 17

Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
00	15/01/2025	Progetto definitivo impianto fotovoltaico e opere connesse	L. Maculan	D. Cavallo	D. Cavallo

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	GENERALITA'	5
2.1	IL PROPONENTE	5
2.2	SCHEDA PROGETTO	5
2.3	UBICAZIONE INTERVENTO.....	6
2.4	DESTINAZIONE D'USO	6
2.5	DATI CATASTALI	6
2.6	CONNESSIONE.....	6
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	8
4	CENNI DI TEORIA	11
4.1	CAMPI ELETTRICI	11
4.2	CAMPI MAGNETICI	13
5	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	15
5.1	CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	15
5.1.1	Moduli fotovoltaici.....	15
5.1.2	Inverter	15
5.1.3	Cabine di trasformazione.....	15
5.1.4	Cabina utente.....	16
5.2	CAMPI ELETTROMAGNETICI CAVI 36 kV	16
6	CONCLUSIONI	17

1 INTRODUZIONE

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto fotovoltaico, denominato “LUGO”, con sezione agrivoltaica avanzata, proposto dalla società Engie Eliceo Srl (di seguito “la società”). L’iniziativa consiste nella realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile solare che interessa un’area agricola situata nel comune di Argenta, con connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale nel comune di Portomaggiore (FE).

L’adozione di fonti rinnovabili, come il fotovoltaico, rappresenta una scelta strategica per ridurre significativamente le emissioni di inquinanti in atmosfera, causate dai tradizionali processi di produzione energetica basati sui combustibili fossili. Questo impianto consentirà di evitare l’emissione di circa 16.000 tonnellate di CO₂ all’anno, apportando benefici ambientali rilevanti sia in termini di riduzione dell’inquinamento che di risparmio di combustibili fossili.

Il progetto riveste una rilevanza strategica a livello nazionale, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi fissati dall’Italia nel Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima (PNIEC).

L’impianto sarà costituito da pannelli fotovoltaici ad alto rendimento che permetteranno di ottenere una produzione annua netta stimata di energia elettrica di circa 36,23 GWh/anno, pari al consumo medio annuo di energia elettrica di 14.500 famiglie.

Le aree destinate alla realizzazione dell’impianto sono classificate come aree idonee in conformità a quanto stabilito dal D. Lgs 199 del 2021, art. 20, comma 8, lett. c-ter), punto 2. Questa classificazione è stata attribuita grazie alla loro posizione, interamente compresa all’interno di un buffer di 500 metri da un impianto industriale o stabilimento, quest’ultimo come definito dall’articolo 268, comma 1, lettera h), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Nello specifico, le aree dell’impianto LUGO sono interamente comprese nel buffer di 500 m di distanza da un impianto biogas e da uno stabilimento industriale, come dettagliato nella relazione dedicata facente parte del presente progetto (Rel25_Relazione sulle Aree idonee indicate dal D.Lgs. 199_2021).

Il territorio è caratterizzato da una morfologia pressoché pianeggiante e in relazione all’uso agricolo del suolo, come classificato della Regione Emilia-Romagna, le aree d’impianto vengono identificate come seminativi semplici irrigui. Tali superfici, successivamente la realizzazione dell’intervento, manterranno lo stato ante-operam e verranno gestite come un’attività agricola.

Su una parte di tale area è presente una coltivazione di tipo biologico pertanto, la società ha previsto di realizzare su tale porzione, un impianto agrivoltaico avanzato, che consentirà la convivenza della produzione di energia con il mantenimento dell’indirizzo culturale esistente.

Questo approccio multifunzionale assicurerà un equilibrio tra esigenze energetiche e valorizzazione del territorio agricolo.

Nel dettaglio, il progetto prevede l’adozione di due tecnologie distinte:

- “Area 1”, “Area 2”, “Area 3” e “Area 4”: impianto con sistema a inseguimento monoassiale (tracker) in configurazione “Standard”, ottimizzati per la produzione energetica.
- “Area 5”: un sistema a inseguimento monoassiale sopraelevato (agrivoltaico avanzato), progettato per far coesistere, in modo ottimale, l’attività agricola e la generazione di energia elettrica. Questa soluzione, che sarà conforme alle “Linee Guida sugli Impianti Agrivoltaici elaborate dal MiTE” e alla norma CEI PAS 82-93, ha come obiettivo il normale svolgimento dell’attività agricola in sinergia con la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica.

L'impianto avrà una potenza installata di picco pari a 23.010 kWp per una potenza di 22.200 kW in immissione: la relativa energia prodotta verrà immessa sulla rete RTN in alta tensione.

La superficie catastale complessiva interessata dal progetto è pari a 31 ettari, dei quali circa 20 ettari recintati riservati all'impianto fotovoltaico, circa 6 ettari destinati all'impianto agrivoltaico avanzato (“Area 5”) e circa 2 ettari per schermatura e fascia di mitigazione. Il territorio è caratterizzato da una morfologia pressoché pianeggiante, avente una quota di circa 8 m s.l.m.

2 GENERALITA'

2.1 IL PROPONENTE

Nella tabella seguente vengono riportati i riferimenti societari del soggetto proponente:

SOCIETA' PROPONENTE	
Denominazione	ENGIE ELICEO S.R.L.
Indirizzo sede legale	Via Chiese 72 – 20126 Milano (MI)
Codice Fiscale/Partita IVA	13539980964
Capitale Sociale	10.000,00
PEC	engieeliceo@pec.engie.com

Tabella 2-1 – Informazioni principali della Società Proponente

2.2 SCHEDA PROGETTO

Nella tabella seguente vengono riportati i dati di sintesi dell'iniziativa:

Ubicazione impianto	Comune di Argenta (FE)
Potenza di Picco (kWp)	23.010 kWp
Potenza Nominale (kW)	23.010 kWp
Potenza massima in immissione	22.200 kW
Informazioni generali del sito	Sito pianeggiante ben raggiungibile da strade comunali
Tipo di strutture di sostegno “Area 1”, “Area 2”, “Area 3” e “Area 4”	Inseguitore monoassiale “standard”
Tipo di strutture di sostegno “Area 5”	Inseguitore monoassiale “avanzato”
Coordinate impianto Area 01	Latitudine 44°38'55.90"N Longitudine 11°53'2.04"E
Coordinate impianto Area 02	Latitudine 44°38'53.83"N Longitudine 11°53'3.43"E
Coordinate impianto Area 03	Latitudine 44°38'51.17"N Longitudine 11°51'34.17"E
Coordinate impianto Area 04	Latitudine 44°38'47.11"N Longitudine 11°51'31.26"E
Coordinate impianto Area 05	Latitudine 44°38'41.42"N Longitudine 11°51'22.60"E
Coordinate cabina utente 36 kV	Latitudine 44°38'45.06"N Longitudine 11°51'36.30"E
Ubicazione cavidotto di connessione	Comuni di Argenta a Portomaggiore (FE)
Lunghezza cavidotto di connessione	2925 m
Ubicazione punto di connessione	Comune di Portomaggiore (FE)
Coordinate punto di connessione	Latitudine 44°39'16.89"N Longitudine 11°51'8.51 E

Tabella 2-2 – Dati di impianto

2.3 UBICAZIONE INTERVENTO

L'impianto e parte del relativo cavidotto di connessione a 36 kV saranno realizzati nel comune di Argenta (FE).

La restante parte del cavidotto a 36 kV e le opere di connessione saranno invece realizzate nel comune di Portomaggiore (FE).

2.4 DESTINAZIONE D'USO

L'area oggetto dell'intervento ha una destinazione d'uso agricolo.

2.5 DATI CATASTALI

I terreni interessati dall'area di impianto sono censiti al catasto terreni del comune di Argenta (FE) come segue:

- “Area 01”: FG 75 particelle 399, 400, 401, 402;
- “Area 02”: FG 75 particella 664;
- “Area 03”: FG 73 particella 20;
- “Area 04”: FG 73 particelle 21, 22;
- “Area 05”: FG 73 particella 64.

La cabina utente a 36 kV, che raccoglie l'energia prodotta dall'impianto e consente il collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale, sarà realizzata all'interno della sopracitata “Area 04”.

Il terreno interessato dalla realizzazione della stazione “SE RTN 380/132/36 kV” denominata “Portomaggiore”, autorizzata con D.D. n.DET-AMB_2024-3386 del 14/06/2024, di connessione alla RTN dell'impianto è censito al catasto terreni del comune di Portomaggiore (FE) come segue:

- Stazione “Portomaggiore”: FG 157 particella 23.

I terreni interessati dalla realizzazione dell'impianto e dalla stazione “Portomaggiore” sono di proprietà privata; il cavidotto AT a 36 kV di interconnessione delle cinque aree di impianto, come il cavidotto AT a 36 kV di connessione dell'impianto, interessano, oltre alle proprietà private, anche la pubblica viabilità.

2.6 CONNESSIONE

La Società Engie Eliceo S.r.l ha presentato a Terna S.p.A. (“il Gestore”) la richiesta di connessione alla RTN per una potenza in immissione di 22,2 MW. Alla richiesta è stato assegnato Codice Pratica 202203621.

In data 26 Agosto 2024, il gestore ha trasmesso la soluzione tecnica minima generale per la connessione (STMG).

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che l'impianto venga 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”.

Si fa presente che la nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV “Portomaggiore” è già stata autorizzata con D.D. n.DET-AMB_2024-3386 del 14/06/2024.

La cabina utente 36 kV e l'elettrodotto in antenna a 36 kV per il collegamento dell'impianto alla stazione RTN Portomaggiore costituiscono impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 36 kV nella medesima stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le principali norme a cui si fa riferimento sono:

- DPCM 8/7/2003 “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”;
- Legge n. 36 del 22/02/2001 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” e s.m.i;
- DM 29/05/08 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”
- Norma CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”;
- "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29/05/08" emanata da ENEL Distribuzione S.p.A.;
- Norma CEI 106-11 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8/07/2003” (Art.6).
- Norma CEI 211-7 “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana”
- DLgs 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.”

Il 22 Febbraio 2001 l'Italia ha promulgato la Legge Quadro n.36 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) a copertura dell'intero intervallo di frequenze da 0 a 300.000 MHz.

Tale legge delinea un quadro dettagliato di controlli amministrativi volti a limitare l'esposizione umana ai CEM e l'art. 4 di tale legge demanda allo Stato le funzioni di stabilire, tramite Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri: i livelli di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, le tecniche di misurazione e rilevamento.

Nel DPCM 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”, vengono fissati i limiti di esposizione e i valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti.

In particolare, negli articoli 3 e 4 vengono indicate le seguenti 3 soglie di rispetto per l'induzione magnetica:

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

efficaci” [art. 3, comma 1];

“A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.” [art. 3, comma 2];

“Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio”. [art. 4]

In sintesi, quindi, il DPCM 8/7/03 fissa:

- in 100 μ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci, i limiti di esposizione per la protezione della popolazione dai campi elettromagnetici a 50 Hz generati dagli elettrodotti;
- in 10 μ T il valore di attenzione, introdotto come misura di cautela, che si applica nelle aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi e scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 h al giorno;
- in 3 μ T l'obiettivo di qualità che si applica ai nuovi elettrodotti nelle vicinanze dei sopracitati ambienti, nonché ai nuovi insediamenti e edifici in prossimità di linee ed installazioni elettriche esistenti.

Il D.M. Ambiente del 29 maggio 2008, indica la metodologia da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti e in progetto. Esso, tra le altre, introduce le seguenti definizioni:

fascia di rispetto: è lo spazio circostante ad un elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sotto e al di sopra del livello del suolo caratterizzati da un'induzione magnetica superiore o uguale all'obiettivo di qualità specificato dal DPCM 08/07/2003. All'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.

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

Il parametro di corrente da considerare per la determinazione della fascia di rispetto è la corrente massima di esercizio in servizio normale dell'elettrodotto (ai sensi della norma CEI 11-60).

Lo stesso D.M. 29/05/2008, al punto 3.2 dell'allegato, indica che la metodologia si applica a tutti gli elettrodotti esistenti o in progetto, con linee interrate o aeree, ad esclusione delle seguenti:

- linee esercite a frequenze diverse da 50 Hz (esempio linee ferroviaria a 3 kV)
- linee di classe zero secondo il Decreto interministeriale 21/03/88 (quali linee telefoniche, segnalazione e comando a distanza...)
- linee di prima classe secondo il Decreto interministeriale 21/03/88 (ovvero linee con tensione nominale inferiore a 1 kV e linee in cavo per illuminazione pubblica con tensione inferiore a 5 kV)
- linee MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree).

Il D.lgs 159/2016 recepisce la Direttiva 2013/35/UE in materia di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori dai rischi dovuti all'esposizione ai campi elettromagnetici; mira a trattare tutti gli effetti biofisici diretti e gli effetti indiretti noti provocati dai campi elettromagnetici.

Le disposizioni contenute nella Direttiva, e quindi nel D.Lgs 159/2016, consistono nelle prescrizioni minime per promuovere miglioramenti negli ambienti di lavoro, al fine di garantire un adeguato livello di protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori, nel caso di attività comportanti esposizioni ai campi elettromagnetici.

Allo scopo vengono:

- definite le grandezze fisiche concernenti l'esposizione ai campi elettromagnetici;
- definiti, in specifiche tabelle, i valori limite di esposizione (VLE) per gli effetti sensoriali e sanitari relativi ai campi elettrici interni ed i valori di azione (VA) per consentire la conformità ai pertinenti VLE.
- definite procedure per aiutare i datori di lavoro, in particolare le piccole e medie imprese, a ottemperare agli obblighi previsti dalla direttiva stessa.

4 CENNI DI TEORIA

4.1 CAMPI ELETTRICI

Il metodo di calcolo qui descritto è quello delle cariche equivalenti semplificato: si rinuncia infatti a studiare l'esatta distribuzione delle cariche sulle superficie dei conduttori e si suppone che esse siano concentrate al centro degli stessi, con una densità lineare di carica costante. Per la determinazione delle cariche presenti sui diversi conduttori della linea ci si avvale del principio delle immagini, in base al quale un piano equipotenziale a potenziale nullo (quale si suppone essere il terreno) può essere simulato con una configurazione di cariche immagini, cioè di cariche di segno opposto a quelle che generano il campo e disposte specularmente rispetto al piano stesso. In questo modo ci si riduce ad un sistema di conduttori tra loro paralleli di cui sono noti i potenziali $V(t)$. È così possibile calcolare le cariche lineari indotte presenti su di essi attraverso la relazione:

$$[\lambda(t)] = [C] \cdot [V(t)]$$

dove $[V(t)]$ è il vettore colonna delle tensioni, $[\lambda(t)]$ il vettore colonna delle cariche lineari presenti sui conduttori e $[C]$ la matrice quadrata dei coefficienti delle mutue capacità per unità di lunghezza. L'espressione può essere anche scritta in termini di fasori:

$$[\lambda] = [C] \cdot [V]$$

La matrice $[C]$ è costante, simmetrica e dipende solo dalla configurazione geometrica dei conduttori: essa si ricava invertendo la matrice $[P]$ dei coefficienti di potenziale (coefficienti di Maxwell) che esprimono ciascun potenziale in funzione di tutte le densità lineari di carica; gli elementi di $[P]$ sono così definiti:

$$p_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2y_i}{r_i} \quad p_{ij} = p_{ji} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_{ij}'}{D_{ij}}$$

dove, come illustrato in Figura 4-1, r_i è il raggio del conduttore i -esimo, y_i la sua altezza dal suolo, D_{ij} la distanza tra i conduttori i -esimo e j -esimo e D_{ij}' la distanza tra il conduttore i -esimo e l'immagine del conduttore j -esimo. In particolare:

$$D_{ij} = D_{ji} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

$$D_{ij}' = D_{ji}' = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i + y_j)^2}$$

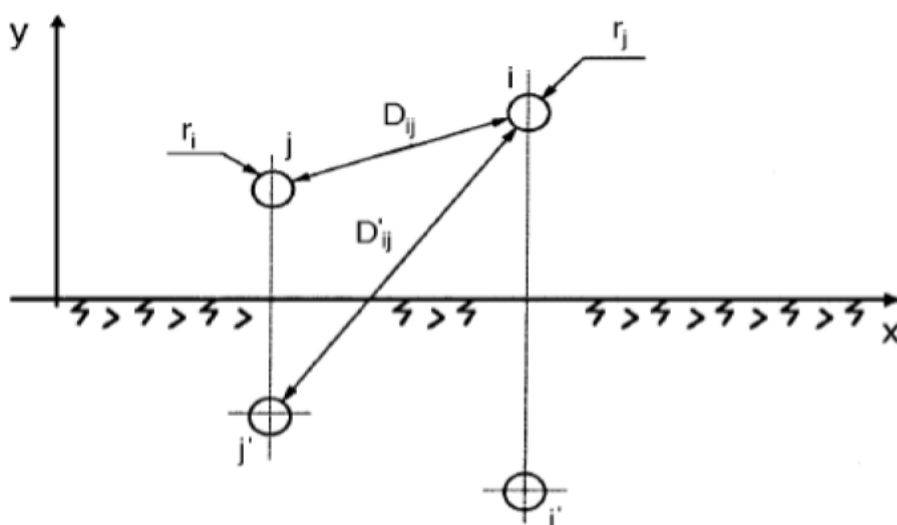


Figura 4-1 – Convenzioni seguite nel calcolo dei coefficienti di potenziale

Nel caso di conduttori a fascio è possibile definire un raggio equivalente r_{eq} , da sostituire nelle formule dei coefficienti di potenziale, secondo la formula seguente:

$$r_{eq} = R \cdot n \sqrt{\frac{n \cdot r}{R}}$$

dove: n è il numero di subconduttori che costituiscono il fascio, r è il loro raggio mentre R è il raggio del fascio di conduttori (Figura 4 2).

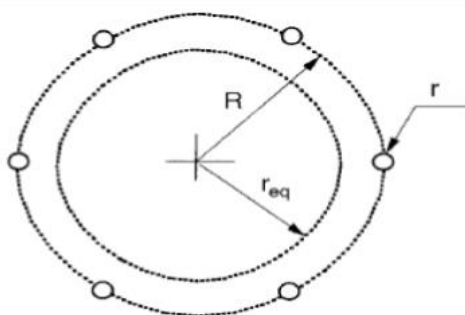


Figura 4-2 – Identificazioni raggi conduttori

Nota la matrice $[P]$ si ricavano le densità lineari di carica sui conduttori:

$$[\lambda] = [P]^{-1} \cdot [V]$$

Una volta note le densità lineari di carica presenti sui conduttori, è possibile procedere al calcolo del campo elettrico da esse generato sovrapponendo gli effetti dei conduttori e delle loro immagini.

Applicando infatti la legge di Gauss in forma integrale nel caso di un conduttore di lunghezza infinita con densità lineare di carica costante si ottiene:

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 \cdot d} \vec{u}_r$$

dove d è la distanza dal conduttore rettilineo e \vec{u}_r è il versore unitario con direzione radiale dal conduttore stesso. Considerando il sistema di riferimento di Figura 4 1, in cui (x_i, y_i) sono le coordinate del conduttore i -esimo, e sommando gli effetti dei vari conduttori – raccogliendo tra loro le espressioni relative a ciascun conduttore ed alla sua immagine - si ottengono le espressioni delle singole componenti (fasoriali) del vettore del campo elettrico:

$$E_x = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_i \lambda_i \left[\frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - \frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y + y_i)^2} \right]$$

$$E_y = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_i \lambda_i \left[\frac{y - y_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - \frac{y + y_i}{(x - x_i)^2 + (y + y_i)^2} \right]$$

4.2 CAMPI MAGNETICI

Il calcolo dell'induzione magnetica risulta più semplice rispetto a quello del campo elettrico per i seguenti motivi:

- non è necessario calcolare il valore delle cariche lineari indotte sui conduttori in quanto i valori di induzione dipendono direttamente dalle correnti note;
- il terreno viene considerato come un piano avente permeabilità relativa pari a 1, e quindi nei calcoli si trascura il contributo delle correnti immagini.

Per il calcolo dell'induzione magnetica si ricorre alla legge di Biot - Savart che esprime in un generico punto dello spazio il valore dell'induzione magnetica B generata da un conduttore rettilineo percorso da una corrente I attraverso la formula:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{d} \vec{u}_l \times \vec{u}_r$$

dove d è la distanza tra il conduttore ed il punto di calcolo; \vec{u}_l e \vec{u}_r indicano, rispettivamente, il verso della corrente e della relativa normale; \times indica il prodotto vettoriale.

Ricorrendo al medesimo sistema di riferimento utilizzato per il calcolo del campo elettrico (Figura 4 1), ed essendo il versore del campo dovuto al conduttore i -esimo pari a:

$$\vec{u}_{B,i} = \vec{u}_{l,i} \times \vec{u}_{r,i} = - \frac{y - y_i}{d_i} \vec{u}_x + \frac{x - x_i}{d_i} \vec{u}_y$$

si ottengono le seguenti formule per il calcolo delle componenti spaziali (fasoriali) dell'induzione magnetica, quale contributo delle correnti nei diversi conduttori:

$$\mathbf{B}_x = \frac{\mu_o}{2\pi} \sum_i \mathbf{I}_i \left[\frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$
$$\mathbf{B}_y = \frac{\mu_o}{2\pi} \sum_i \mathbf{I}_i \left[\frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

5 CALCOLO DEI CAMPI ELETTRROMAGNETICI

5.1 CAMPI ELETTRROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

5.1.1 Moduli fotovoltaici

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

5.1.2 Inverter

Gli inverter sono apparecchiature che al loro interno utilizzano un trasformatore ad alta frequenza per ridurre le perdite di conversione. Essi, pertanto, sono costituiti per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze. D’altro canto, il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l’immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l’interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo).

A questo scopo gli inverter prescelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC) (CEI EN 50273 (CEI 95-9), CEI EN 61000-6-3 (CEI 210-65), CEI EN 61000-2-2 (CEI 110-10), CEI EN 61000-3-2 (CEI 110-31), CEI EN 61000-3-3 (CEI 110-28), CEI EN 55022 (CEI 110-5), CEI EN 55011 (CEI 110-6), quindi gli inverter di progetto avranno emissioni certificate e conformi alla normativa vigente. Di conseguenza anche per gli inverter le emissioni saranno poco significative ai fini della presente valutazione, come tra l’altro si riscontra facilmente dalla normativa di settore.

5.1.3 Cabine di trasformazione

Per quanto riguarda i componenti dell’impianto sono da considerare le cabine elettriche di campo, all’interno delle quali, la principale sorgente di emissione è il trasformatore elevatore.

In questo caso si valutano le emissioni dovute al trasformatore di potenza maggiore installato nell’impianto, ossia da 6000 kVA collocato nelle cabine di trasformazione. La presenza dei trasformatori viene usualmente presa in considerazione limitatamente alla generazione di un campo magnetico nei locali vicini a quelli di cabina.

In base al DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2.1, l’ampiezza delle DPA si determina come di seguito descritto.

Tale determinazione si basa sulla corrente di bassa tensione del trasformatore e considerando una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore. Per determinare le DPA si applica quanto esposto nel cap. 5.2.1 del DM, e cioè:

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

dove:

DPA = distanza di Prima Approssimazione (m)

I = Corrente Nominale (A)

X = diametro dei cavi (m)

Nel caso specifico del trasformatore si deve considerare la corrente nominale lato BT In max di 4335 A. I collegamenti verso l’inverter sono realizzati in barre rigide in rame 2x3x2000 mm². Per poter però utilizzare la formula precedente, si può ragionevolmente assumere che i collegamenti siano effettuati in cavo, con una formazione “equivalente” lato BT con una formazione 10 x 3 x (240) mm². Il diametro esterno del cavo tipo FG16OR16 è pari a circa 29,2mm per singolo conduttore. Applicando la formula sopra riportata, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all’intero superiore, di 4 m.

D’altra parte, nel caso in questione, si deve considerare che le cabine inverter sono posizionate all’aperto, all’interno dell’area recintata e normalmente non sono permanentemente presidiate.

5.1.4 Cabina utente

Per quanto riguarda i componenti dell’impianto resta da considerare la cabina elettrica 36 kV di consegna, che sarà situata nell’area 4 di impianto.

La principale sorgente di emissione è rappresentata dalle correnti dei quadri 36 kV stessi, in quanto in questo caso il trasformatore AT/BT è utilizzato solo per l’alimentazione dei servizi ausiliari ed ha pertanto una taglia molto modesta. La massima corrente BT, infatti, considerando un trasformatore da 100 kVA, è pari a soli 148 A (applicando le stesse considerazioni del paragrafo precedente si otterrebbe una DPA di pochi cm).

Relativamente ai quadri 36 kV, la massima corrente in impianto è pari a 385 A, per la linee che raccolgono l’intera produzione dell’impianto.

Considerando la geometria tipica dei quadri isolati in gas a 36 kV, che prevede una distanza tra le fasi di circa 0,4 m a circa 2 m da terra, con la stessa metodologia di calcolo di seguito descritta per i cavi interrati si ottiene una fascia di rispetto, identica alla DPA, di 3,8 m.

Anche in questo caso si deve però considerare che la cabina si trova all’interno di un’area recintata e non accessibile e normalmente non presidiata.

5.2 CAMPI ELETTROMAGNETICI CAVI 36 kV

Per lo studio di dettaglio dei campi elettrici e magnetici relativi alle linee a 36 kV relative all’impianto e la definizione delle corrispondenti fasce di rispetto si rimanda alla relazione di dettaglio facente parte del presente progetto.

6 CONCLUSIONI

Le uniche radiazioni associabili a questo tipo di impianti sono le radiazioni non ionizzanti costituite dai campi elettrici e magnetici a bassa frequenza (50 Hz), prodotti rispettivamente dalla tensione di esercizio degli elettrodotti e dalla corrente che li percorre.

I valori di riferimento, per l'esposizione ai campi elettrici e magnetici, sono stabiliti dalla Legge n. 36 del 22/02/2001 e dal successivo DPCM 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 di 50 Hz degli elettrodotti”.

In generale, per quanto riguarda il campo elettrico in media tensione e a 36 kV esso è notevolmente inferiore a 5 kV/m (valore imposto dalla normativa).

Mentre per quel che riguarda il campo di induzione magnetica il calcolo nelle varie sezioni di impianto ha dimostrato come non ci siano fattori di rischio per la salute umana a causa delle azioni di progetto, poiché è esclusa la presenza di recettori sensibili entro le fasce per le quali i valori di induzione magnetica attesa non sono inferiori agli obiettivi di qualità fissati per legge; mentre il campo elettrico generato è nullo a causa dello schermo dei cavi o assolutamente trascurabile negli altri casi per distanze superiori a qualche cm dalle parti in tensione.

Infatti, per quanto riguarda il campo magnetico, relativamente ai cavidotti 36 kV, lungo tutto il percorso si può considerare che l'ampiezza della semi-fascia di rispetto sia inferiore a 1 m, a cavallo dell'asse del cavidotto. Sulla base della scelta del tracciato, si esclude la presenza di luoghi adibiti alla permanenza di persone per durate non inferiori alle 4 ore al giorno.

Per ciò che riguarda le cabine di trasformazione l'unica sorgente di emissione è rappresentata dal trasformatore BT/AT, quindi in riferimento al DPCM 8 luglio 2003 e al DM del MATTM del 29.05.2008, l'obiettivo di qualità si raggiunge, nel caso peggiore (trasformatore da 6000 kVA), già a circa 4 m (DPA) dalla cabina stessa.

Per quanto riguarda la cabina di consegna, vista la presenza del solo trasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari in BT e l'entità delle correnti circolanti nei quadri 36 kV l'obiettivo di qualità si raggiunge a circa 3,8 m (DPA) dalla cabina stessa. Comunque, considerando che nelle cabine di trasformazione e nella cabina d'impianto non è prevista la presenza di persone per più di 4 ore al giorno e che l'intera area dell'impianto fotovoltaico sarà racchiusa all'interno di una recinzione metallica che impedisce l'ingresso di personale non autorizzato, si può escludere pericolo per la salute umana.