

COMUNE

San Severo



PROVINCIA

Foggia



REGIONE

Puglia



Ubicazione

Comune di San Severo, S. Antonino da Capo
Provincia di Foggia

Oggetto

**PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI TIPO AVANZATO
CON POTENZA NOMINALE PARI 45,56 MWp e 44,16 MW ac
DENOMINATO "SAN SEVERO 1"**

Autorizzazione Unica Art.12, D.Lgs 387/2003 - V.I.A Ministeriale artt.23 e 25 D.Lgs 152/2006

Elaborato

RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Progettazione



GVC
INGEGNERIA

Via Nazario Sauro 126 - 85100 - Potenza

email: info@gvcingegneria.it
website: www.gvcingegneria.it
P.E.C: gvcsrl@gigapec.it
P. IVA 01737760767

Direttore Tecnico:
ing. MICHELE RESTAINO

TEAM DI PROGETTO

ing. GIORGIO MARIA RESTAINO
ing. CARLO RESTAINO
ing. MICHELE RESTAINO
ing. ATTILIO ZOLFANELLI
arch. SERENA MASI
arch. EMANUELA CIUFFI
ing. FRANCESCO VOTTA
dott. GIOVANNI RICCIARDI
ing. DONATO MAURO

Geologia

Geol. ANTONIO DI BIASE
Montescaglioso, 75024
P.zza Padre Prosperino Galgani, 9
P.IVA 00706320777



Studi agronomici

dott. Agr. PAOLO CASTELLI
Palermo, 90144
Via Croce Rossa, 25
P.IVA 0546509826



Indagini in sito

Geological & Geophysical Investigation Service
Geol. Galileo Potenza
Potenza, 85100
Via dei Gerani, 59
P.IVA 01677920764



Studi archeologici

dott. ssa MARTA POLLIO
Caopri, 80073 INA1

DOTT.SSA MARTA POLLIO
- Archeologa Specializzata -
VIA MARINA PICCOLA, 87
80073 CAPRI (NA)
P.I. 09581841210 - C.F. P1118RT90H668696A

Committente

SOLAR DG S.r.l.

via Cavour, 23C
Bolzano, 39100

C.F. e P. iva 03216720213
solar dg srl@legalmail.it

Progetto

PROGETTO DEFINITIVO

Codice elaborato **G19701A01PD**

Scala elaborato **NESSUNA**

Revisione	Redatto da:	Data	Verificato da:	Data	Note
00	CR	04/24	GMR	04/24	

RT-20


Questo disegno é di nostra proprietà riservata a termine di legge e ne é vietata la riproduzione anche parziale senza nostra autorizzazione scritta

RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Impianto agrivoltaico
Regione Puglia, comune di San Severo

PROGETTO DEFINITIVO

Progetto per la realizzazione di un impianto di produzione di energia da fonte rinnovabile di tipo agrivoltaico avanzato di potenza nominale pari a 45,56 MWp e 44,16 MWac
CODICE PROGETTO: G19701A01



Sommario

Sommario	2
1. PREMESSA	4
1.1 Dati tecnici	5
1.2 Caratteristiche generali	5
2. DESCRIZIONE DEL FENOMENO	7
2.1 Sorgenti naturali ed artificiali di campi elettromagnetici	7
2.2 Caratteristiche del campo elettrico e magnetico	7
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
3.1 Leggi e norme tecniche	8
3.2 La legislazione italiana	8
3.3 Obiettivo qualità	9
4. DETERMINAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO	10
4.1 Definizioni	10
4.2 Ulteriori ipotesi di calcolo	12
4.3 Valori limite di riferimento	12
5. CARATTERISTICHE DEGLI ELETTRODOTTI	13
6. CALCOLI RELATIVI ALLE LINEE INTERRATE	14
7. INTERFERENZE ELETTROMAGNETICHE IMPIANTO FOTOVOLTAICO	17
7.1 Moduli FTV	17
7.2 Inverter	17
8. CAMPI ELETTRICI	18
9. RISCHIO DA ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI	19
9.1 Analisi del rischio	19
9.2 Segnaletica	22

9.3	Informazione e formazione dei lavoratori	22
9.4	Sorveglianza sanitaria	23
10.	CONCLUSIONI	24

1. PREMESSA

La presente relazione è relativa al progetto di realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza pari a 45,56 MWp da installarsi in provincia di Foggia, nel territorio comunale di San Severo e descrive complessivamente lo studio della propagazione del campo elettromagnetico prodotto da apparecchiature elettriche o da cavi elettrici percorsi da corrente. Le correlazioni tra campo elettrico e campo magnetico dipendono essenzialmente dalle caratteristiche delle sorgenti, dai mezzi di propagazione, dalle caratteristiche del suolo, dagli ostacoli presenti e dalle frequenze in gioco. La diffusione del campo elettromagnetico è isodirezionale ma bisogna considerare gli eventuali ostacoli che inducono riflessioni, e assorbimento del campo elettromagnetico.

Il soggetto responsabile, così come definito, ex art. 2, comma 1, lettera g, del D.M. 28 luglio 2005 e ss.mm.ii., è la società Solar DG s.r.l. con sede in via Cavour, 32C, Bolzano.

La procedura di VIA si rende necessaria in considerazione della tipologia di intervento da realizzare, rientrante nella categoria d'opera elencata al punto 2 lettera b) dell'Allegato IV alla parte seconda del TUA, così come modificato dalla Legge 108 del 2021, art.31, comma 6: *"impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica con potenza complessiva superiore a 10 MW."*



Figura 1 – Inquadramento su ortofoto delle aree di impianto (elaborato G19701A01-B19)

1.1 Dati tecnici

Luogo di installazione:	Zona San Antonino da Capo - Comune di SAN SEVERO
Potenza di picco:	45,56 MWp
N° moduli fotovoltaici	62.414
Tipo strutture di sostegno:	Strutture fisse
Inclinazione piano dei moduli:	30°
Angolo di azimuth ° (0°Sud – 90°Est):	0° Sud
Angolo di tilt °:	30°
Rete di collegamento:	Alta Tensione 36kV
Gestore della rete:	Terna
Coordinate geografiche:	Latitudine: 41.762052° Longitudine: 15.348837°

1.2 Caratteristiche generali

L'impianto agrovoltaiico di progetto ha una potenza complessiva nominale pari a 45,56 MWp e 44,16 MWac ed è costituito da 62.414 moduli in silicio monocristallino ognuno di potenza pari a 730 Wp. Tali moduli sono collegati tra di loro in modo da costituire stringhe da 22 moduli; i gruppi di stringhe sono collegati, poi, agli inverter e questi ultimi alle cabine di campo.

Nel dettaglio, il progetto prevede la realizzazione/installazione di:

- N.62.414 moduli fotovoltaici da 730 Wp collegati in stringhe installate su strutture di supporto di tipo fisso;
- N.138 inverter di stringa di potenza nominale pari a 350 KWp;
- N.21 cabine di campo all'interno dell'area d'impianto;
- N.21 trasformatori AT/BT potenza nominale variabile da 1.600 kVA a 3.150 kVA;
- Una cabina di raccolta/distribuzione a 36 kV;
- Recinzione esterna perimetrale alle aree di installazione dei pannelli fotovoltaici;
- Cancelli carrai da installare lungo la recinzione perimetrale per gli accessi di ciascuna area campo;
- Realizzazione di viabilità a servizio dell'impianto;
- Un cavidotto AT interrato interno ai singoli campi agrovoltaiici per il collegamento delle cabine di campo alla cabina di raccolta/distribuzione;

- Un cavidotto AT interrato esterno ai campi agrovoltaici per il collegamento della cabina di raccolta/distribuzione a una nuova S.E. della RTN 150/36 kV di TERNA;
- Fascia arbustiva prevista lungo il perimetro esterno della recinzione dei campi agrovoltaici.

2. DESCRIZIONE DEL FENOMENO

2.1 Sorgenti naturali ed artificiali di campi elettromagnetici

I campi elettromagnetici sono presenti ovunque nell'ambiente ma non sono visibili all'occhio umano, ad esempio i campi elettrici sono prodotti dall'accumulo di cariche elettriche in alcuni punti dell'atmosfera e si manifestano nei temporali, mentre ad esempio il campo magnetico terrestre sempre presente permette l'orientamento tramite la bussola.

A differenza dei campi elettromagnetici generati da sorgenti naturali, ci sono campi elettromagnetici generati da sorgenti artificiali. Tra questi possiamo citare tutte le apparecchiature per le trasmissioni radio, macchine diagnostiche quali quelle che producono raggi X, la tomografia computerizzata assiale, i trasformatori elettrici e comunque tutti i cavi percorsi da corrente.

2.2 Caratteristiche del campo elettrico e magnetico

Si può dire che il campo elettrico è generato da differenze di potenziale elettrico, e quindi l'intensità del campo elettrico è proporzionale alla differenza di potenziale. Invece il campo magnetico si crea per la circolazione di corrente elettrica, e più intensa è questa, maggiore è il campo magnetico risultante.

Le caratteristiche principali del campo elettromagnetico sono l'intensità e la frequenza (lunghezza d'onda). I campi elettromagnetici possono essere a bassa o alta frequenza ciascuno ha determinate caratteristiche.

I campi elettromagnetici a bassa frequenza comunemente denominati ELF (Extremely Low Frequency) vengono emessi a frequenze tra 0 [Hz] e 300 [Hz], e generalmente son generati da linee elettriche sia AAT, AT, MT che BT percorse da correnti alla frequenza di 50 [Hz].

I campi elettromagnetici ad alta frequenza vengono emessi a frequenze tra 100 [kHz] e 300 [GHz], quindi radio frequenze e microonde. Le sorgenti che generano questo tipo di ampi elettromagnetici sono gli impianti per la telefonia mobile, per le trasmissioni televisive, sistemi WiFi e WiMax, ponti radio, radar, ecc..

Inoltre i campi elettromagnetici possono essere statici o dinamici a seconda della tipologia di sorgente. Ad esempio correnti continue inducono campi elettromagnetici statici e al contrario di correnti alternate.

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.1 Leggi e norme tecniche

L'elettrodotto in progetto sarà rispondente alle normative ed alle disposizioni di legge vigenti.

In particolare verranno tenute in considerazione le seguenti leggi e normative:

- Legge 22 febbraio 2001, n° 36 – Legge quadro sulle protezioni dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;
- D.P.C.M. 8 luglio 2003 – Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi qualità per la protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 [Hz]) generati dagli elettrodotti;
- D.M. 29 maggio 2008 – Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti;
- Direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici);
- Norma CEI 211-6 "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";
- Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi per il calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dalle linee elettriche";
- Norma CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (art. 6). Parte 1: linee elettriche aeree e in cavo";

3.2 La legislazione italiana

In Italia, la legislazione per la protezione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici a 50 [Hz] si è basata, fino al 1992, sul rispetto delle distanze dagli elettrodotti di edifici adibiti ad abitazione o a qualunque altra attività. Il criterio su cui tali distanze erano fissate era sostanzialmente quello di evitare il rischio di scariche elettriche. Il DPCM (GU, 1992) ha stabilito i "limiti massimi di esposizione ai campi elettrici e magnetici generati alla frequenza industriale nominale di 50 [Hz] negli ambienti abitativi e negli ambienti esterni" con lo scopo di evitare possibili effetti avversi alla salute della popolazione.

Il 14 febbraio 2001 è stata approvata dal Parlamento la "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" n° 36 che, con la sua pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale (GU, 2001) è diventata legge dello stato il 7 marzo 2001. Questa legge stabilisce i principi fondamentali diretti:

- a) Ad assicurare la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici, e della popolazione dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ai sensi e nel rispetto dell'art. 32 della Costituzione;

- b) A promuovere la ricerca scientifica per la valutazione degli effetti a lungo termine e attivare misure di cautela da adottare in applicazione del principio di precauzione di cui all'articolo 174, paragrafo 2, del Trattato istitutivo dell'Unione Europea;
- c) Ad assicurare la tutela dell'ambiente e del paesaggio e promuovere l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l'intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili.

L'8 luglio 2003 sono stati emanati i primi due decreti attuativi della legge n° 36/2001 (GU, 2003a; GU, 2003b). Questi decreti hanno per titolo, rispettivamente, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 [kHz] e 300 [GHz]" e " Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati alla frequenza di 50 [Hz] generati dagli elettrodotti". I due decreti si riferiscono alla protezione della popolazione e adottano il principio di cautela. La legge quadro n° 36/01 introduce il principio di "fasce di rispetto" per gli elettrodotti ai fini della protezione dall'esposizione a campi elettrici e magnetici. Secondo l'art. 4, comma h), di tale legge "all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico sanitario, ovvero ad uso che comporti la permanenza non inferiore a 4 ore".

Sempre la stessa legge quadro all'art. 3 comma e) ed al successivo DPCM 08/07/03 allegato a), individuano l'elettrodotto come "l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione". Si tratta delle linee elettriche aeree esterne di distribuzione, in conduttori nudi o in cavo, oppure interrate, senza alcun riferimento ai valori di tensione.

In base all'Art. 6 del DPCM 08/07/03 "per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità". Per precisare la finalità delle fasce di rispetto è dunque opportuno richiamare.

3.3 Obiettivo qualità

Gli effetti sanitari (danno alla salute) prodotti da un campo elettrico o magnetico sulle persone si suddividono in acuti e cronici.

Gli effetti acuti (a breve termine) scompaiono al cessare dell'esposizione. Gli effetti cronici o differiti (a lungo termine) si possono manifestare dopo anni.

Gli effetti differiti (possibili tumori) sono ipotizzati (non dimostrati) solo per il campo magnetico a 50 [Hz], non per il campo elettrico.

La legge n° 36/01 ha introdotto tre riferimenti (livelli) con il significato di seguito indicato.

- Limite di esposizione (prevenzione di effetti sanitari acuti): 100 [μ T];
- Valore di attenzione (prevenzione di effetti eventuali sanitari differiti): 10 [μ T];
- Obiettivo di qualità: 3 [μ T].

L'obiettivo di qualità, pertanto, si applica ai nuovi elettrodotti e alle nuove costruzioni poste in prossimità di elettrodotti esistenti.

4. DETERMINAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO

4.1 Definizioni

Il DPCM 08/07/03 stabilisce che per la determinazione delle fasce di rispetto si deve fare riferimento alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla norma CEI 11-6 che, in particolare per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 [kV], deve essere dichiarata dal gestore.

Nel 2004, l'APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici – ha stabilito la metodica da usarsi per la determinazione delle fasce di rispetto relative ad una o più linee elettriche aeree o interrate che insistono sulla medesima porzione di territorio. Tale metodica prevede che:

1. Il gestore considera i dati caratteristici delle linee, ivi incluse le eventuali condizioni di fase relativa tra più linee elettriche intersecanti o vicine.
2. si assume come portata in corrente circolante nelle linee la relativa "corrente in servizio normale" così come definita all'interno della norma CEI 11-6. Tale corrente viene definita dal gestore.
3. Le linee possono essere schematizzate così come prevede la norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche", Cap.4.1. Il calcolo può essere eseguito secondo l'algoritmo definito al Cap.4.3;
4. Si calcolano le regioni di spazio definite dal luogo delle superfici di isocampo di induzione magnetica pari a 3 [mT] in termini di valore efficace;
5. Le proiezioni verticali al livello del suolo di suddette superfici determinano le fasce di rispetto. Le relative dimensioni espresse in metri possono essere arrotondate all'intero più vicino".

Il DM 29 maggio 2008 pubblicato sulla G.U. n. 156 del 05/07/2008, infine, stabilisce la metodologia per il calcolo delle fasce di rispetto. In particolare, esso introduce le seguenti importanti specificazioni:

- **Portata in corrente in servizio normale delle linee elettriche aeree esterne a tensione maggiore di 100 [kV]:** è la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili in termini termici, di allungamento e rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate, e di invecchiamento. Essa è definita dalla norma CEI 11-60. In altri termini, come corrente in servizio normale si assume la massima corrente che l'elettrodotto può sopportare.
- **Fascia di rispetto:** è lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzate da una induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

- **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.

Valgono le seguenti definizioni:

- **esposizione:** è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;
- **limite di esposizione:** è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori;
- **valore di attenzione:** è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere, superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate;
- **Elettrodotto:** Insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;
- **Esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici:** è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;
- **Esposizione della popolazione:** è ogni tipo di esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici;
- **Corrente:** Valore efficace dell'intensità di corrente elettrica;
- **Portata in corrente in servizio normale:** Corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento. Essa è definita nella norma CEI 11-60 par. 2.6 e sue successive modifiche e integrazioni;
- **Portata in regime permanente:** Massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato (secondo CEI 11-17 par. 1.2.05);
- **Fascia di rispetto:** Spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità;
- **Distanza di prima approssimazione (Dpa):** Distanza in pianta, sul livello del suolo, misurata dalla proiezione del centro linea fino al limite che garantisce che ogni punto, si trovi all'esterno delle fasce di rispetto ovvero ad una distanza maggiore della Dpa. Per le cabine la Dpa è la distanza in pianta, sul livello del suolo, misurata a partire da tutte le pareti della cabina stessa, tale da garantire i requisiti di cui sopra.”

4.2 Ulteriori ipotesi di calcolo

Come anticipato, la corrente da utilizzare nel calcolo dell'impatto elettromagnetico è la portata in servizio normale, come definita dalla norma CEI 11-6, relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata. Per gli elettrodotti con tensione inferiore a 100 [kV] la portata di corrente in servizio normale viene fissata dai proprietari/gestore in relazione ai carichi attesi con riferimento alle condizioni progettuali assunte per il dimensionamento dei conduttori. Per le linee in cavo la portata da utilizzare è la portata in regime permanente così come definita dalla norma CEI 11-17. Relativamente al calcolo della DPA, il DM 29 maggio 2008 riporta un procedimento semplificato che fa riferimento alla norma CEI 106-11-Parte 1, basato su modello bidimensionale valido per conduttori orizzontali paralleli. Il campo magnetico generato da un elettrodotto in un punto, infine, è la risultante dei campi prodotti in quel punto da tutte le correnti che percorrono i conduttori dell'elettrodotto stesso (paralleli tra loro). Il campo magnetico dipende dalla distanza e dalla posizione reciproca dei conduttori (configurazione geometrica del traliccio). Gli elettrodotti possono essere a semplice terna, oppure a doppia terna. La guida CEI 211-4 fornisce le formule per il calcolo del campo magnetico e la guida CEI 106-11 applica tali formule a diversi tipi di elettrodotti per stabilire le fasce di rispetto. A sufficiente distanza dagli elettrodotti, la superficie su cui l'induzione assume lo stesso valore (superficie isolivello) ha con buona approssimazione la forma di un cilindro avente come asse la catenaria ideale passante per il baricentro dei conduttori. L'intersezione di questa superficie cilindrica con un piano ortogonale alla linea individua una circonferenza (sezione del cilindro). La guida CEI 106-11 fornisce le formule per calcolare il raggio di tale circonferenza.

Per gli elettrodotti in media tensione in cavo cordato (aereo o sotterraneo), anche nelle condizioni più cautelative di conduttore di sezione maggiore e corrente massima di circa 350 [A], l'induzione magnetica scende al di sotto di 3 [μ T] alla distanza di 50 – 60 [cm] dall'asse del cavo stesso. La riduzione del campo magnetico intorno alle linee in cavo è dovuta alla minore distanza tra i conduttori di fase rispetto ai conduttori nudi delle linee aeree.

4.3 Valori limite di riferimento

Nella redazione della relazione tecnica sui campi elettromagnetici e sul contenimento del rischio di elettrocuzione è stato tenuto conto della normativa vigente in materia. In particolare, sono state recepite le indicazioni contenute nel DPCM 08/07/2003, il quale 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.

Per quanto concerne il campo magnetico generato dagli elettrodotti, esistono tre diverse soglie cui fare riferimento, fissate attraverso il DPCM 8/07/2003. L'art. 3 del citato decreto indica come soglie i valori dell'induzione magnetica mostrati in tabella.

5. CARATTERISTICHE DEGLI ELETTRODOTTI

Dal punto di vista elettrico, l'impianto nel suo complesso è funzionalmente diviso in 4 linee AT da:

- Linea n.1 (campi da 1-1 a 1-8) da 18,24 MVA potenza AC;
- Linea n.2 (campi da 2-1 a 3-3) da 8,96 MVA potenza AC;
- Linea n.3 (campi da 4-1 a 4-6) da 11,84 MVA potenza AC;
- Linee n.4 (campi da 5-1 a 6-1) da 5,12 MVA potenza AC;

Per quanto concerne la diffusione di onde elettromagnetiche riconducibili al funzionamento degli inverter, studi e rilevazioni effettuate, hanno dimostrato che propagano onde tali da non arrecare pregiudizio e/o danno per la salute dell'individuo, della flora e della fauna circostante.

Caratteristiche elettriche delle linee di progetto:

- Frequenza: 50 [Hz];
- Tensione nominale: 36 [kV].

Caratteristiche linea interrata – di connessione alla SE TERNA:

- Cavo di connessione tra Cabina di Raccolta e SE Terna di nuova realizzazione;
- Lunghezza: 5400 [m];
- Formazione connessione: 2 cavi interrati tripolari a elica visibile AL 3x1x300 mmq.

Caratteristiche di posa delle linee interrate di progetto:

- Profondità di scavo: circa 1,10-1,20 m strade sterrate o asfaltate;
- Larghezza di scavo alla base: 0,6 [m];
- Letto di sabbia da 25 [cm] entro il quale sono posati i cavidotti di potenza;
- Materiale inerte stabilizzato compatto per circa 80 [cm] con interposizione a -20 [cm] di apposito nastro di segnalazione di colore rosso.

6. CALCOLI RELATIVI ALLE LINEE INTERRATE

Per quel che riguarda il tracciato del cavidotto MT a 36 kV il calcolo è da effettuarsi per l'unica condizione di posa prevista lungo il tracciato. Per tutta la sua lunghezza, il campo magnetico viene calcolato considerando la condizione più "gravosa" ai fini del calcolo, ovvero quella che prevede l'erogazione della massima corrente nel funzionamento a regime del parco fotovoltaico. È stata quindi svolta una valutazione analitica del campo magnetico generato dagli elettrodotti, basata sulle metodologie di calcolo suggerite dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), approvate dal D.M. 29/05/2008, e specificate dalla norma CEI 106-11. Per la valutazione del campo magnetico generato dall'elettrodotto occorre innanzitutto distinguere gli elettrodotti in funzione della tipologia dei cavi utilizzati. Il progetto, infatti, prevede l'utilizzo di cavi del tipo in alluminio schermati in posa a trifoglio a elica visibile per sezioni fino a 300 mm².

Si fa presente che, date le caratteristiche costruttive, i cavi in progetto presentano una configurazione ad elica visibile/in guaina per le sezioni fino a 300 mm². Come noto dalla normativa citata in materia, le particolarità costruttive di questi cavi, ossia la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione dovuta alla cordatura, fanno sì che il campo magnetico prodotto sia notevolmente inferiore a quello prodotto da cavi analoghi posati in piano o a trifoglio. In aggiunta a questa prima considerazione, si fa notare come le metodologie di calcolo suggerite dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), approvate dal D.M. 29/05/2008, con le quali verranno condotti i calcoli nel seguito, fanno esplicito riferimento al caso in questione come un caso per il quale è richiesto un calcolo delle fasce di rispetto. All'art. 3.2 dell'allegato al suddetto decreto viene infatti esplicitato che:

“sono escluse dall'applicazione della metodologia:

.....

- *Le linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);*

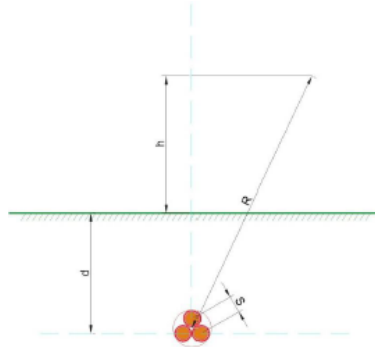
In tutti questi casi le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanza previste dal Decreto interministeriale n. 449/88 e dal decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1991”.

Trattandosi nei casi in questione di un elettrodotto costituito da linee in AT in cavo cordato ad elica, come evidenziato in precedenza, si ritiene a maggior ragione essere necessario uno studio circa i campi magnetici generati dai cavi di sezione 300 mm².

Si riporta di seguito la verifica del campo magnetico per la tipologia di cavo con la sezione maggiore tra i cavidotti AT presenti

Per quanto concerne il caso di una singola terna di cavi sotterranei di alta tensione posati a spirale visibile, la norma CEI 106-11 al cap.7.1 indica che con una profondità di posa pari a DPA= 0,80 m

già al livello del suolo sulla verticale del cavo e nelle condizioni limite di portata si determina una induzione magnetica inferiore a 3 μT . A maggior ragione, considerata una reale profondità di posa pari a 1,10m, risulta al livello del suolo un valore ancora inferiore. A scopo cautelativo, si è comunque effettuato il calcolo analitico dei campi magnetici generati da questa configurazione. Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari, come di seguito riportato.



Mediante modello di calcolo bidimensionale, basato sul metodo standardizzato dal Comitato Elettrotecnico Italiano, per il cavo unipolare interrato posato a trifoglio, il valore dell'induzione magnetica massima, calcolata al livello del suolo, è in prima approssimazione pari a:

$$B = \frac{P * I * 0.1 * \sqrt{6}}{R^2} [\mu T]$$

Con:

P [m] = la distanza fra i conduttori adiacenti (in caso di distanze differenti, P diventa la media delle distanze fra i conduttori esterni e quello centrale);

I [A] = è la corrente, simmetrica ed equilibrata, che attraversa i conduttori;

R = la distanza dal baricentro dei conduttori alla quale calcolare l'induzione magnetica B N.B. la formula è valida per $R' \gg P$

Di seguito si riportano le specifiche dei cavi considerati per il progetto in esame:

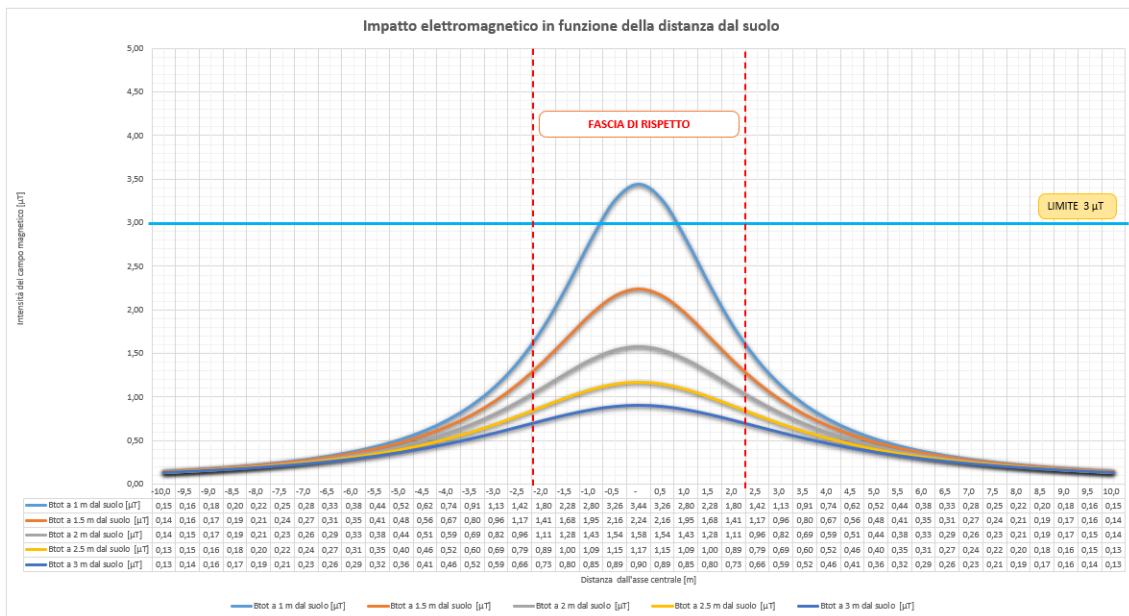
ARE4H5EE 20,8/36kV 1x... SK2															
Type	Conductor diameter nominal	Insulation thickness min.	Insulation diameter nominal	Sheaths thickness nominal	Cable diameter approx	Cable weight indicative	Electrical resistance of conductor			C	Current capacity		Short circuit current		
							at 20 °C - d.c. max	at 90 °C - a.c.	X at 50 Hz		in ground at 20 °C	in free air at 30 °C	conductor Tmax 250°C	screen Tmax 150°C	
n° x mm ²	mm	mm	mm	mm	mm	kg/km	Ω /km	Ω /km	Ω /km	μF /km	A	A	kA x 1,0 s	kA x 0,5 s	
1x120	13,1	7,9	30,7	2,0+2,0	43,8	1.520	0,253	0,325	0,132	0,185	253	334	11,3	2,2	
1x150	14,3	7,6	31,3	2,0+2,0	44,4	1.600	0,206	0,265	0,127	0,201	282	377	14,2	2,2	
1x185	16,0	7,4	32,6	2,0+2,0	45,8	1.740	0,1640	0,211	0,122	0,221	320	432	17,5	2,3	
1x240	18,5	7,1	34,5	2,0+2,0	47,8	1.960	0,1250	0,161	0,116	0,252	370	510	22,7	2,3	
1x300	20,7	6,8	36,1	2,0+2,0	49,5	2.160	0,1000	0,129	0,111	0,283	417	584	28,3	2,4	
1x400	23,5	6,9	39,1	2,0+2,0	52,6	2.510	0,0778	0,101	0,107	0,308	478	681	37,8	2,6	
1x500	26,5	7,0	42,6	2,0+2,0	56,3	2.960	0,0605	0,079	0,104	0,337	545	792	47,2	2,9	
1x630	30,0	7,1	46,3	2,0+2,0	60,2	3.510	0,0469	0,063	0,100	0,367	620	920	59,5	3,0	

e le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli

Profondità di Posa dei cavi	1,1	m
Distanza dall'asse y	0	m
Sezione terna	300	mmq
Portata cavo in terreno a 20°C	417	A
Portata cavo in aereo a 30° C	587	A
S (Diamentro Nominale)	148,5	mm

La tabella che segue mostra i valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m.

Come si evince i valori ottenuti con le condizioni al contorno riportate in precedenza superano i 3mT solamente ad una distanza di 1 m dal suolo e circa 0.5m dall'asse del cavo, si ritiene quindi che una DPA di 2m sia ampiamente cautelativa rispetto all'impatto elettromagnetico.



7. INTERFERENZE ELETTROMAGNETICHE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

7.1 Moduli FTV

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 partedell'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.

7.2 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))

Tra gli altri aspetti queste norme riguardano:

- I livelli armonici: le direttive del gestore di rete prevedono un THD globale (non riferito al massimo della singola armonica) inferiore al 5% (inferiore all'8% citato nella norma CEI 110-10). Gli inverter presentano un THD globale contenuto entro il 3%;
- Disturbi alle trasmissioni di segnale operate dal gestore di rete in superim-posizione alla trasmissione di energia sulle sue linee;
- Variazioni di tensione e frequenza. La propagazione in rete di queste ultime è limitata dai relè di controllo della protezione di interfaccia asservita al dispositivo di interfaccia. Le fluttuazioni di tensione e frequenze sono però causate per lo più dalla rete stessa. Si rendono quindi necessarie finestre abbastanza ampie, per evitare una continua inserzione e disinserzione dell'impianto fotovoltaico.
- La componente continua immessa in rete.

Il trasformatore elevatore contribuisce a bloccare tale componente. In ogni modo il dispositivo di interfaccia di ogni inverter interviene in presenza di componenti continue maggiori dello 0,5% della corrente nominale.

Le questioni di compatibilità elettromagnetica concernenti i buchi di tensione (fino ai 3 s in genere) sono in genere dovute al coordinamento delle protezioni effettuato dal gestore di rete locale

8. CAMPI ELETTRICI

In generale, per il calcolo del campo elettrico si ricorre al principio delle immagini in base al quale il terreno, considerato come piano equipotenziale a potenziale nullo, può essere simulato con una configurazione di cariche immagini. In altre parole per ogni conduttore reale, sia attivo che di guardia, andrà considerato un analogo conduttore immagine la cui posizione è speculare, rispetto al piano di terra, a quella del conduttore reale e la cui carica è opposta rispetto a quella del medesimo conduttore reale.

In particolare il campo elettrico di un conduttore rettilineo di lunghezza infinita con densità lineare di carica costante può essere espresso come:

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

Dove:

λ = densità lineare di carica sul conduttore

ϵ_0 = permittività del vuoto

d = distanza del conduttore rettilineo dal punto di calcolo

u_r = versore unitario con direzione radiale al conduttore

Il calcolo del campo elettrico non risulta essere necessario poiché la configurazione geometrica del cavo utilizzato, funge già di per sé da schermo per i campi elettrici prodotti dal cavo. A tutto ciò va aggiunta l'azione schermante dei materiali coinvolti nella realizzazione delle trincee di posa del cavo quali sabbia, terreno, cemento e manto bituminoso ove previsto.

9. RISCHIO DA ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Nell'ambito della valutazione del rischio da esposizione a campi elettromagnetici, il datore di lavoro dovrà provvedere a controllare, attraverso calcoli o misure, i livelli dei campi elettromagnetici ai quali sono esposti i lavoratori, verificando se vengono superati i valori di azione e, qualora questo avvenisse, controllando che non vengano superati i valori limite di esposizione. Nel procedere alla valutazione si dovrà tener conto dei seguenti elementi:

- Il livello, lo spettro di frequenza, la durata e il tipo di 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 mT;
 - 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.

9.1 Analisi del rischio

Il rischio dei lavoratori all'esposizione dei campi elettromagnetici appartiene alla categoria "**Rischi per la salute**".

Il rischio viene determinato mediante la formula $R = P \times D$, (dove **P** indica la probabilità di accadimento di un determinato evento, mentre **D** indica per il danno per il lavoratore) ed è indicato in forma matriciale in figura 1, avente in ascisse la gravità del danno atteso ed in ordinate la probabilità del suo verificarsi.

P - Probabilità	4	4	8	12	16
	3	3	6	9	12
	2	2	4	6	8
	1	1	2	3	4
		1	2	3	4
		D - Danno			

Figura 2 - Matrice di valutazione del rischio

I rischi che possono provocare i danni più gravi occupano in tale matrice le caselle in alto a destra (probabilità elevata, danno gravissimo), quelli minori le posizioni più vicine all'origine degli assi (danno lieve, probabilità trascurabile), con tutta la serie di posizioni intermedie facilmente individuabili. Nelle successive tabelle sono descritte le scale semiquantitative della "Probabilità" **P** e del "Danno" **D** ed i criteri per l'attribuzione dei valori.

Valore	Livello	Definizioni/criteri
4	Altamente probabile	<ul style="list-style-type: none"> Esiste una correlazione diretta tra la mancanza rilevata ed il verificarsi del danno ipotizzato per i lavoratori. Si sono già verificati danni per la stessa mancanza rilevati nel luogo di lavoro in ambienti simili o situazioni operative simili Il verificarsi del danno conseguente la mancanza rilevata non susciterebbe alcuno stupore tra gli altri lavoratori.
3	Probabile	<ul style="list-style-type: none"> La mancanza rilevata può provocare un danno, anche se non in modo automatico o diretto. E' noto qualche episodio in cui alla mancanza rilevata ha fatto seguito il danno. Il verificarsi del danno ipotizzato, susciterebbe una moderata sorpresa.
2	Poco probabile	<ul style="list-style-type: none"> La mancanza rilevata può provocare un danno al contemporaneo verificarsi di particolari condizioni. Sono noti solo rari episodi già verificatisi. Il verificarsi del danno ipotizzato susciterebbe una discreta sorpresa.
1	Improbabile	<ul style="list-style-type: none"> La mancanza rilevata può provocare un danno per concomitanza di più eventi poco probabili indipendenti. Non sono noti episodi già verificatisi. Il verificarsi del danno susciterebbe incredulità.

Valore	Livello	Definizioni/criteri
4	Gravissimo	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti anche letali o che possono determinare una condizione di invalidità permanente. • Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico croniche con effetti totalmente invalidanti.
3	Grave	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti di invalidità parziale. • Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico croniche con effetti parzialmente invalidanti.
2	Medio	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità reversibile. • Infortunio o patologie di carattere fisico e/o psicofisico croniche con effetti reversibili.
1	Lieve	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità rapidamente reversibile. • Piccoli Infortuni o patologie di carattere fisico rapidamente reversibili.

Figura 3 - Scala delle probabilità e dell'entità

Il valore di **Probabilità** di accadimento di un determinato evento è espresso in una scala di valori da 1 a 4. L'evento che può o potrebbe determinare un **Danno** per il lavoratore è valutato in relazione alla tipologia di rischio. La classificazione del "**Danno**" che un lavoratore potrebbe subire al verificarsi di un dato evento o dovuto a criticità e carenze degli aspetti organizzativi e gestionali viene effettuata mediante una scala di valori variabili da 1 a 4.

Per la determinazione del fattore di rischio il datore di lavoro, al termine della realizzazione dell'impianto fotovoltaico, dovrà redigere un Documentazione di Valutazione del Rischio che tenga conto dei rischi dell'esposizione dei lavoratori agli agenti fisici tra cui quelli dovuti ai campi elettrici e magnetici. Tale valutazione dovrà essere eseguita attraverso misurazioni in campo.

Di seguito una tabella riassuntiva dei luoghi di lavoro, tipologia di lavoratori e valori di campi magnetici ed elettrici entro il metro di distanza dalla sorgente (area di lavoro).

Luogo di lavoro	Tipologia di lavoratori	Campo Magnetico	Campo Elettrico	Fattore di rischio
Cavidotto interno MT	Operai e tecnici per Manutenzione ordinaria e straordinaria	< 3 μ T	Assente	4

I campi magnetici all'interno del campo FTV non superano mai i valori limite espressi nella citata normativa

A seguito della valutazione dei rischi di cui all'articolo 210, qualora risulti che i valori di azione di cui all'articolo 208 sono superati, il datore di lavoro, a meno che la valutazione effettuata a norma dell'articolo 209, comma 2, 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 individuali.

Fermo restando che in nessun caso i lavoratori devono essere esposti a valori superiori ai valori limite di esposizione, se questi risultino superati, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione, 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.

9.2 Segnaletica

I luoghi di lavoro dove i lavoratori, in base alla valutazione del rischio, possono essere esposti a campi elettromagnetici che superano i valori di azione devono essere indicati con un'apposita segnaletica. Se il datore di lavoro dimostra che i valori limite di esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi alla sicurezza, tale obbligo non sussiste. Dette aree sono inoltre identificate e l'accesso alle stesse è limitato, laddove ciò sia tecnicamente possibile e sussista il rischio di superamento dei valori di esposizione.

9.3 Informazione e formazione dei lavoratori

Il datore di lavoro provvede affinché i lavoratori esposti a rischi derivanti da campi elettrici e magnetici sul luogo di lavoro e i loro rappresentanti vengano informati e formati in relazione al risultato della valutazione dei rischi di cui all'articolo 209 con particolare riguardo:

- All'entità e al significato dei valori limite di esposizione e dei valori di azione di cui all'articolo 208, nonché ai potenziali rischi associati;
- Ai risultati della valutazione, misurazione o calcolo dei livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;
- Alle modalità per individuare e segnalare gli effetti negativi dell'esposizione della salute;
- Alle circostanze nelle quali i lavoratori hanno diritto a una sorveglianza sanitaria e agli obiettivi della stessa;
- Alle procedure di lavoro sicure per ridurre al minimo i rischi derivanti dall'esposizione.

9.4 Sorveglianza sanitaria

Sono sottoposti a sorveglianza sanitaria i lavoratori per i quali è stata rilevata un'esposizione superiore ai valori limite di cui all'articolo 208, comma 1. La sorveglianza sanitaria viene effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno. Tenuto conto dei risultati della valutazione dei rischi, il medico competente può effettuarla con periodicità inferiore con particolare riguardo ai lavoratori particolarmente sensibili al rischio.

Rivelato in un lavoratore l'esistenza di un danno alla salute (l'effetto biologico è al di fuori dell'intervallo in cui l'organismo può normalmente compensarlo e ciò porta a qualche condizione di detrimento della salute) il medico competente ne informa il datore di lavoro che procede ad effettuare una nuova valutazione del rischio a norma dell'articolo 209.

10. CONCLUSIONI

Nel rispetto delle vigenti normative in materia (Legge quadro n. 36 /2001, D.P.C.M. 8 luglio 2003, D.M. 29 maggio 2008 e Direttiva 2004/40/CE) e dopo aver applicato le norme tecniche per la valutazione dei campi magnetici generati da linee elettriche e delle fasce di rispetto per gli elettrodotti aerei e in cavo (CEI 211-6; CEI 211-4; CEI 106-11), si evince che l'impianto in progetto dà luogo ad una fascia di rispetto di 2m per lato (asse-lato) essendo i valori del campo elettrico e di induzione magnetica al di sopra dei limiti fissati dalla legge 36/01 e dal DPCM 08/07/03 in tali zone (solo nei primi 50cm dall'asse del cavo).

