



IMPIANTO AGRIVOLTAICO E OPERE DI CONNESSIONE “LA GIAROLA”

POTENZA IMPIANTO 9,11 MWp - COMUNE DI REGGIO EMILIA (RE)

Proponente

ATLAS SOLAR 18 S.R.L.

VIA ANDREUZZI 12 - 33100 UDINE (UD) - P.IVA: 03125930309 - PEC: atlassolar18@pec.it

Progettazione



Ing. Antonello Ruttilio

VIA R. ZANDONAI 4 – 44124 - FERRARA (FE) - P.IVA: 00522150382 – PEC: incico@pec.it

Tel.: +39 0532 202613 – email: a.ruttilio@incico.com

Titolo Elaborato

RELAZIONE ELETTROMAGNETICA

| LIVELLO PROGETTAZIONE | CODICE ELABORATO | FILE NAME | DATA |
|-----------------------|------------------|---|------------|
| DEFINITIVO | PD_REL03 | 24HRO110_PD_REL03.00-Relazione elettromagnetica | 30/06/2025 |

Revisioni

| REV. | DATA | DESCRIZIONE | ESEGUITO | VERIFICATO | APPROVATO |
|------|-------|--------------------------|----------|------------|-----------|
| 0 | 06/25 | EMISSIONE PER PERMITTING | ECA | LBO | ARU |

| | |
|---|---|
| Proponente  HERON ENERGY INVESTMENTS COMPANY | Progettista  incico advanced integrated engineering |
|---|---|

RELAZIONE ELETROMAGNETICA

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. PREMESSA | 1 |
| 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 1 |
| 3. LIMITI DI COMPATIBILITA' ELETTRONICHE NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 2 |
| 4. SORGENTI A BASSA FREQUENZA (ELF) | 3 |
| 5. DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO | 4 |
| 6. CALCOLO DELLA DISTANZA DI PERIMA APPROSSIMAZIONE PER I COMPONENTI IN PROGETTO | 5 |
| CAMPAGNA AGRIVOLTAICO (MODULI FV) | 5 |
| INVERTER DI STRINGA | 5 |
| CABINA DI TRASFORMAZIONE BT/MT 0.8/15KV – TRASFORMATORE BT/MT 0.8/15KV | 6 |
| ELETTRODOTTI INTERRATI DI MEDIA TENSIONE PER COLLEGAMENTI TRA STAZIONI DI TRASFORMAZIONE 0.8/15KV E CABINA D'INTERFACCIA (15KV) | 7 |
| CABINA D'INTERFACCIA | 14 |
| CABINA DI CONSEGNA | 15 |
| ELETTRODOTTO INTERRATO MT DA CABINA ELETTRICA DI INTERFACCIA MT A CABINA DI CONSEGNA DI NUOVA REALIZZAZIONE | 17 |
| 7. CONCLUSIONI | 20 |

1. PREMESSA

Il presente studio è stato redatto al fine di valutare l'impatto elettromagnetico generato dagli impianti elettrici funzionali all'impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare (Agri-voltaico) di potenza pari a 9,11 MWp da realizzarsi presso il comune di Reggio Emilia (RE). Dal punto di vista fisico le onde elettromagnetiche sono un fenomeno 'unitario', cioè i campi e gli effetti che producono si basano su principi del tutto uguali; la grandezza che li caratterizza è la frequenza. In base ad essa è di particolare rilevanza, per i diversi effetti biologici che ne derivano e quindi per la tutela della salute, la suddivisione in:

- ✓ Radiazioni ionizzanti, ossia le onde con frequenza altissima, superiore a 3 milioni di GHz, e dotate di energia sufficiente per ionizzare la materia;
- ✓ Radiazioni non ionizzanti (NIR), ovvero le onde con frequenza inferiore a 3 milioni di GHz, che non trasportano un quantitativo di energia sufficiente a ionizzare la materia. All'interno delle radiazioni non ionizzanti si adotta una ulteriore distinzione in base alla frequenza di emissione:
- ✓ Campi elettromagnetici a bassa frequenza o ELF: (0 - 300 Hz), le cui sorgenti più comuni comprendono ad esempio gli elettrodotti e le cabine di trasformazione, gli elettrodomestici, i computer;
- ✓ Campi elettromagnetici ad alta frequenza o a radiofrequenza RF: (300 Hz - 300 GHz), le cui sorgenti principali sono i radar, gli impianti di telecomunicazione, i telefoni cellulari e le loro stazioni radio base.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le norme costituenti il quadro normativo vigente in materia di inquinamento elettromagnetico derivante da impianti di trasmissione, trasformazione e distribuzione di energia elettrica a frequenza industriale (50 Hz) sono:

- ✓ Legge 22 febbraio 2001, n° 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici";
- ✓ Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri del 08.07.2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti";
- ✓ Decreto ministeriale 29.05.2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti".
- ✓ DM 21 marzo 1988, n. 449 "Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee aeree esterne;
- ✓ CEI EN 50341-2-13/A1 Linee elettriche aeree con tensione superiore a 1 kV in c.a. Parte 2-13: Aspetti Normativi Nazionali (NNA) per l'Italia (basati sulla EN 50341-1:2012);
- ✓ CEI EN 50341-1 Linee elettriche aeree con tensione superiore a 1kV in corrente alternata Parte 1: Prescrizioni generali;
- ✓ CEI 106-11/2 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6), Parte 2: Distanza di prima approssimazione per cabine media-bassa tensione";
- ✓ CEI 106 -12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT;
- ✓ CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche (2008-09)";
- ✓ 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 (2001-01);
- ✓ CEI 11-17; V2 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo".

3. LIMITI DI COMPATIBILITA' ELETROMAGNETICA NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Ai fini della protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati da linee e cabine elettriche, il DPCM 8 luglio 2003 (artt. 3 e 4) fissa, in conformità alla Legge 36/2001 (art. 4, c. 2):

- ✓ I limiti di esposizione del campo elettrico (5 kV/m) e del campo magnetico (100 µT) come Valori efficaci, per la protezione da possibili effetti a breve termine;
- ✓ Il valore di attenzione (10 µT) e l'obiettivo di qualità (3 µT) del campo magnetico da intendersi come mediana nelle 24 ore in normali condizioni di esercizio, per la protezione da possibili effetti a lungo termine connessi all'esposizione nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere (luoghi tutelati).

Nel dettaglio, si riportano le seguenti tabelle con le definizioni ed i limiti di esposizione per basse frequenze:

| | |
|------------------------------|---|
| Limite di esposizione | Valore che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione |
| Limite di attenzione | Valore che non deve essere superato negli ambienti a permanenza prolungata |
| Obiettivi di qualità | Limite da rispettare per installazioni future |

| DPCM 8 luglio 2003 – Basse frequenza (< 100 kHz) | | |
|--|-----------------|---------------------|
| | Campo elettrico | Induzione magnetica |
| Limite di esposizione | 5000 V/m | 100 µT |
| Valore di attenzione (media 24 h) | | 10 µT |
| Obiettivi di qualità (media 24 h) | | 3 µT |

Il valore di attenzione si riferisce ai luoghi tutelati esistenti nei pressi di elettrodotti esistenti; l'obiettivo di qualità si riferisce, invece, alla progettazione di nuovi elettrodotti in prossimità di luoghi tutelati esistenti o alla progettazione di nuovi luoghi tutelati nei pressi di elettrodotti esistenti.

Il DPCM 8 luglio 2003, all'art. 6, in attuazione della Legge 36/01 (art. 4 c. 1 lettera h), introduce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto, definita nell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti). Detta fascia comprende tutti i punti nei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti prevede una procedura semplificata di valutazione (par. 5.1.3 del Decreto 29 maggio 2008) con l'introduzione della Distanza di Prima Approssimazione (DPA), nel rispetto dell'obiettivo di qualità di 3 µT del campo magnetico.

Le definizioni di DPA e Fascia di rispetto sono, infatti, così definite:

- ✓ 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; e 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;
- ✓ 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 una induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità (3 µT).

4. SORGENTI A BASSA FREQUENZA (ELF)

Le basse frequenze, o ELF (Extremely Low Frequency), consistono in campi elettrici e magnetici di che si formano in corrispondenza di elettrodotti (a bassa, media ed alta tensione), e di tutti i dispositivi alimentati a corrente elettrica, di intensità decisamente inferiore, quali elettrodomestici, videoterminali, etc.

Gli altri componenti del sistema di trasmissione e distribuzione che sono diffusi sul territorio, cioè le stazioni e le cabine, non sono in pratica delle importanti sorgenti di campo elettrico dal punto di vista dell'esposizione della popolazione.

Il campo elettrico generato dalle linee elettriche aeree in un determinato punto dello spazio circostante dipende principalmente dal livello di tensione e dalla distanza del punto dai conduttori della linea (altri fattori che influenzano l'intensità del campo elettrico sono poi la disposizione geometrica dei conduttori nello spazio e la loro distanza reciproca).

Alle basse frequenze le caratteristiche fisiche dei campi sono più simili a quelle dei campi statici rispetto a quelle dei campi elettromagnetici veri e propri; è per questo che per le ELF il campo elettrico e il campo magnetico possono essere considerati e valutati come entità a sé stanti.

Si distinguono due principali tipologie di sorgenti in base alle diverse caratteristiche del campo emesso:

- ✓ Quelle deputate al trasporto e distribuzione dell'energia elettrica;
- ✓ Quelle degli apparecchi che utilizzano energia elettrica.

Nella situazione in esame si tratta di elettrodotti cioè sorgenti di campo elettromagnetico a frequenza industriale (50 – 60 Hz). Per elettrodotto si intende l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.

Le cabine di trasformazione rappresentano un problema molto minore dal punto di vista dell'inquinamento elettromagnetico, poiché a pochi metri di distanza i campi elettrici e magnetici sono già trascurabili.

Le linee elettriche portano energia elettrica dai centri di produzione agli utilizzatori (industrie, abitazioni, etc.) mentre le cabine di trasformazione trasformano la corrente prodotta dalle centrali in tensioni più basse per l'utilizzazione nelle applicazioni pratiche.

Le tensioni di esercizio delle linee elettriche in Italia si distinguono in 6 KV, 15 KV, 20 KV e 30KV per la media tensione, 36,132, 220 e 380 KV per l'alta ed altissima tensione.

5. DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO

Il generatore agrivoltaico in progetto sarà composto da moduli fotovoltaici al silicio monocristallino, collegati in serie tra loro formando un certo numero di stringhe.

Gli inverter saranno posti in prossimità delle strutture porta modulo in campo.

La stazione di trasformazione sarà realizzata con soluzione in skid compatta plug-in prefabbricata, progettata per elevare l'energia dall'impianto agrivoltaico alle sottostazioni elevatrici. Sarà dotata di componenti di distribuzione dell'energia:

- ✓ Quadro elettrico di media tensione (15kV),
- ✓ Trasformatore in olio (BT/MT 0.8/15kV),
- ✓ Quadro BT (800V) e cabinato ausiliari.

In uscita da ciascuna stazione BT/MT, dipartirà una linea interrata in MT (15 kV) che conduce alla cabina elettrica d'Interfaccia, prefabbricata in c.a.v., nella quale alloggia il quadro di arrivo in Media Tensione dove saranno attestate le linee MT provenienti dalle suddette stazioni di campo.

In cabina d'interfaccia, sarà prevista l'installazione di un trasformatore di spillamento di 100 kVA per il funzionamento di tutti i sistemi ausiliari.

Tramite un cavidotto MT 15kV sarà realizzato il collegamento tra la suddetta cabina e la nuova cabina di consegna "784257 FV Zanichelli", punto di interfaccia con la rete di distribuzione.

La Soluzione Tecnica Minima Generale, codice rintracciabilità n. 399868589, prevede che l'impianto sarà allacciato alla rete di Distribuzione tramite realizzazione di una nuova cabina di consegna collegata in antenna da cabina primaria AT/MT Reggio Sud.

Il cavidotto attraverserà il comune di Reggio Emilia (RE) ed avrà una lunghezza di circa 5km.

Il cavidotto uscirà dalla cabina di consegna "784257 FV Zanichelli" e si estenderà in direzione nord-est per circa 2.5km verso la nuova cabina di sezionamento "784258 Sez. to V.Frank".

Da questa cabina partirà un ulteriore tratto di linea lungo circa 2.3km fino al punto di connessione alla rete di distribuzione "CP DE001383987 Reggio Sud".

Il primo tratto del cavidotto sarà realizzato con una doppia terna in cavo interrato in AL sez. 240mmq dalla cabina di consegna fino all'incrocio con la S.P.66 (Via A.Frank).

Successivamente, procederà in singola terna verso sinistra in direzione della cabina di sezionamento e verso destra per un tratto di circa 60m, fino a collegarsi con C.S. esistente per completare la chiusura.

A partire dalla cabina di sezionamento si realizzerà un breve tratto di cavidotto BT che permetterà l'alimentazione della linea esistente, previa demolizione di linea MT esistente e parte elettromeccanica del PTP e installazione di armadietti SZ BT.

Di seguito si riporta in tabella la denominazione, potenza nominale di picco (DC) e potenza di immissione in rete (AC) dell'impianto Agri-voltaico:

| CARETTERISTICHE D'IMPIANTO | |
|-------------------------------------|--------|
| POTENZA NOMINALE DC (MWP) | 9,11 |
| POTENZA MAX DI IMMISSIONE MW(AC) | 7,50 |
| MODULI INSTALLATI (715W) | 12.740 |
| NUMERO STRINGHE (28 MODULI) | 455 |
| NUMERO INVERTER DI STRINGA (250kVA) | 30 |

Tabella 5-1 Caratteristiche elettriche

6. CALCOLO DELLA DISTANZA DI PERIMA APPROSSIMAZIONE PER I COMPONENTI IN PROGETTO

Le apparecchiature elettriche presenti in impianto, sorgenti di campo elettromagnetico, sono le seguenti:

- 1) Campo Agrivoltaico (moduli fotovoltaici);
- 2) Inverter di stringa;
- 3) Cabina di trasformazione - Trasformatore innalzatore BT/MT 0.8/15 KV;
- 4) Elettrodotti interrati di media tensione (MT) tra Stazione di trasformazione e Cabina elettrica di Interfaccia (MT);
- 5) Cabina elettrica di Interfaccia MT (15kV);
- 6) Elettrodotto interrato MT per collegamento tra cabina elettrica di Interfaccia MT e nuova Cabina di consegna “784257 FV Zanichelli”.

Di seguito, le analisi ed i calcoli per ciascuna sorgente.

CAMPO AGRIVOLTAICO (MODULI FV)

Il campo agrivoltaico risulta formato dall'insieme delle stringhe di moduli fotovoltaici, e dai rispettivi cavi elettrici in c.c. (tipo HIZ2Z2-K) che conducono all'ingresso inverter di stringa.

Considerato che i moduli fotovoltaici lavorano in corrente continua, 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), peraltro di brevissima durata. Nella certificazione dei moduli fotovoltaici secondo la Norma CEI 82-58 (IEC 61215) non sono pertanto menzionate prove di compatibilità elettromagnetica poiché assolutamente irrilevanti.

Considerato che:

- ✓ Nel caso di una buona esecuzione delle opere, i cavi con diversa polarizzazione (+ e -) sono posti a contatto, con l'annullamento quasi totale dei campi magnetici statici prodotti in un punto esterno;
- ✓ I cavi relativi alle dorsali principali, ovvero gli unici che trasportano un valore di corrente significativo sono molto distanti dai confini dell'impianto (almeno 30 m);
- ✓ Le linee dati, per il monitoraggio e la trasmissione dati, sono realizzate normalmente in cavo schermato e quindi interessate da correnti di valore estremamente modesto;

si può escludere il superamento dei limiti di riferimento dei valori di campo elettromagnetico.

INVERTER DI STRINGA

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 IEC 62109-1/2, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, EN50549-2

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 3 (inferiore all'8% citato nella norma CEI 110-10).
- ✓ Gli inverter presentano un THD globale contenuto entro il 3%;
- ✓ i disturbi alle trasmissioni di segnale operate dal gestore di rete in sovrapposizione alla trasmissione di energia sulle proprie linee;

- ✓ le variazioni di tensione e frequenza. Gli effetti sulla in rete di tali variazioni sono limitati dai relè di controllo della protezione di interfaccia asservita al dispositivo di interfaccia.

Tuttavia, le fluttuazioni di tensione e frequenza hanno per lo più origine dalla rete stessa; si rendono quindi necessarie finestre di taratura abbastanza ampie per evitare una continua inserzione e disinserzione dell'impianto agrivoltacico.

La presenza del trasformatore elevatore permette di bloccare tale componente. Ad ogni modo, anche 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.

CABINA DI TRASFORMAZIONE BT/MT 0.8/15KV – TRASFORMATORE BT/MT 0.8/15KV

Per le cabine elettriche di campo la principale sorgente di emissione è il trasformatore BT/MT 0.8/15kV.

Nel caso specifico la taglia dei trasformatori, ciascuno alloggiato in una delle cabine di trasformazione, è pari a 3.500 KVA (CT2) e 5.000 KVA (CT1).

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

$$Dpa = 0.40942 * x^{0.5241} * \sqrt{I}$$

1° CASO CABINA DI TRASFORMAZIONE "1" TR=5.000KVA

in cui:

I = corrente nominale (secondaria del trasformatore – lato BT) [A];

x = diametro reale (conduttore + isolante) dei cavi in uscita dal trasformatore – lato BT [m].

Nel caso di più cavi per ciascuna fase in uscita dal trasformatore va considerato il cavo unipolare di diametro maggiore.

Considerato che la potenza nominale del trasformatore BT/MT installato è di 5.000kVA, la corrente nominale lato BT sarà pari a 3.802 A.

Considerando la sezione del cavo BT (tipo FG16R16 o similare) 240mmq, con un diametro esterno del singolo conduttore 30,2 mm (0,0302 m), risulta un diametro totale del cavo (x) = 215.0 mm (0.224 m).

Sostituendo i valori:

$$DPA = 0,40942 \cdot (0,215)^{0.5241} \cdot \sqrt{3.802} = 11,27 \text{ m}$$

Considerato che l'algoritmo proposto dal DM 29/5/2008 prevede l'arrotondamento al mezzo metro superiore, risulta una DPA=12,0m, da intendersi come distanza dal filo esterno della stazione in Skid.

2° CASO CABINA DI TRASFORMAZIONE "2" TR=3.500KVA

in cui:

I = corrente nominale (secondaria del trasformatore – lato BT) [A];

x = diametro reale (conduttore + isolante) dei cavi in uscita dal trasformatore – lato BT [m].

Nel caso di più cavi per ciascuna fase in uscita dal trasformatore va considerato il cavo unipolare di diametro maggiore.

Considerato che la potenza nominale del trasformatore BT/MT installato è di 3.500kVA, la corrente nominale lato BT sarà

pari a 2.662 A.

Considerando la sezione del cavo BT (tipo FG16R16 o similare) 240mmq, con un diametro esterno del singolo conduttore 30,2 mm (0,0302 m), risulta un diametro totale del cavo (x) = 178.0 mm (0.178 m).

Sostituendo i valori:

$$DPA = 0,40942 \cdot (0,178)^{0,5241} \cdot \sqrt{2.662} = 8,55 \text{ m}$$

Considerato che l'algoritmo proposto dal DM 29/5/2008 prevede l'arrotondamento al mezzo metro superiore, risulta una DPA=9,0m, da intendersi come distanza dal filo esterno della stazione in Skid.

ELETTRODOTTI INTERRATI DI MEDIA TENSIONE PER COLLEGAMENTI TRA STAZIONI DI TRASFORMAZIONE 0.8/15KV E CABINA D'INTERFACCIA (15KV)

Tra ciascuna stazione di trasformazione BT/MT e la cabina elettrica di Interfaccia si realizzerà un collegamento in elettrodotto MT (15 kV) interrato, in cavo tipo unipolare RG26H1M16 12/20 KV o similare.

A favore di sicurezza, per contenere la caduta di tensione della linea, si prevede l'adozione di cavi con sez. 3x1x185mmq, posa a trifoglio, tamponato, schermo semiconduttivo sul conduttore, isolamento in speciale gomma ad alto modulo di qualità G26, schermo in fili di rame rosso, con nastro di rame in contro-spirale, guaina esterna in termoplastica speciale di qualità M16, colore rosso.

Nel caso di cavi MT, la situazione impiantistica più diffusa è rappresentata da una terna di cavi unipolari posati ad una profondità di circa 1,0÷1,5 m. I cavi possono essere posati in piano distanziati di circa 0,15-0,25 m, ovvero a contatto in piano o ai vertici di un triangolo equilatero (posa a “trifoglio”).

Per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29/05/08 "Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche" si deve considerare la portata di corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata e, nel caso in esame di cavi a 15 kV, si considera un valore di corrente pari a al limite di portata per il conduttore di sezione maggiore.

Nel calcolo, essendo il valore dell'induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione la portata massima, adottando la posa dei cavi a trifoglio ad una profondità di 1,2m, considerando una resistività termica del terreno di 1 K*m/W ed il valore di portata della corrente massima del cavo adottato per il calcolo.

Si è inoltre considerato la configurazione dell'elettrodotto in assenza di schermature, con il campo magnetico calcolato al suolo. Secondo quanto riportato nel DM del MATTM del 29.05.2008, il calcolo delle fasce di rispetto può essere effettuato usando le formule della norma CEI 106-11, che prevedono l'applicazione dei modelli semplificati della norma CEI 211-4.

Pertanto, il calcolo della fascia di rispetto si può intendere in via cautelativa pari al raggio della circonferenza che rappresenta il luogo dei punti aventi induzione magnetica pari a 3 μ T.

Di seguito sono riportati i calcoli per il collegamento con singola e doppia terna in cavo unipolare di sezione pari a 95mmq.

SINGOLA TERNA SEZ. CAVO 3X1X95MMQ

La formula da applicare per una singola terna è la seguente, in quanto si considera la posa dei conduttori a trifoglio:

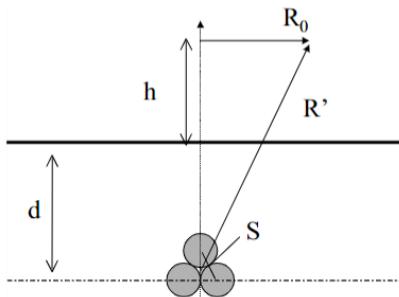


Figura 6-1 Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa a trifoglio oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità (d è la profondità del centro del conduttore)

La formula da applicare è la seguente, in quanto si considera la posa dei conduttori a trifoglio:

$$R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \text{ (m)}$$

Pertanto, ponendo:

$$S = 0,0345 \text{ m (uguale al diametro esterno del cavo pari a 34,5 mm)}$$

$$I = 342 \text{ A}$$

Si ottiene:

$$R' = 0,98 \text{ m}$$

che arrotondato al metro, fornisce un valore della fascia di rispetto pari a 1 m per parte, rispetto all'asse del cavidotto. Come anticipato non si ravvisano ricettori all'interno della suddetta fascia.

La formula semplificata per il calcolo diretto della distanza R_0 dall'asse della linea al livello del suolo ($h=0$) oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto del valore di 3 μT è la seguente:

$$R_0 = \sqrt{0,082 * S * I - d^2}$$

Dove applicando la formula indicata nella norma CEI 106-11, prendendo in esame le condizioni più gravose, (sia la profondità di posa minore tra quelle normalmente utilizzate, sia considerando i conduttori di sezione maggiore con i rispettivi limiti di portata) si ottengono i risultati dei calcoli riportati in figura 6:

$$R_0 = \sqrt{0,082 * 0,0364 * 389 - 1,0^2}$$

$$R_0 = 0,40 \text{ m}$$

Considerato che l'algoritmo proposto prevede l'arrotondamento al metro superiore, risulta che:

$$\underline{DPA = 1 \text{ m}}$$

A favore di sicurezza si è proceduto al calcolo anche con il software BE CALC della società StudioIngSapone.

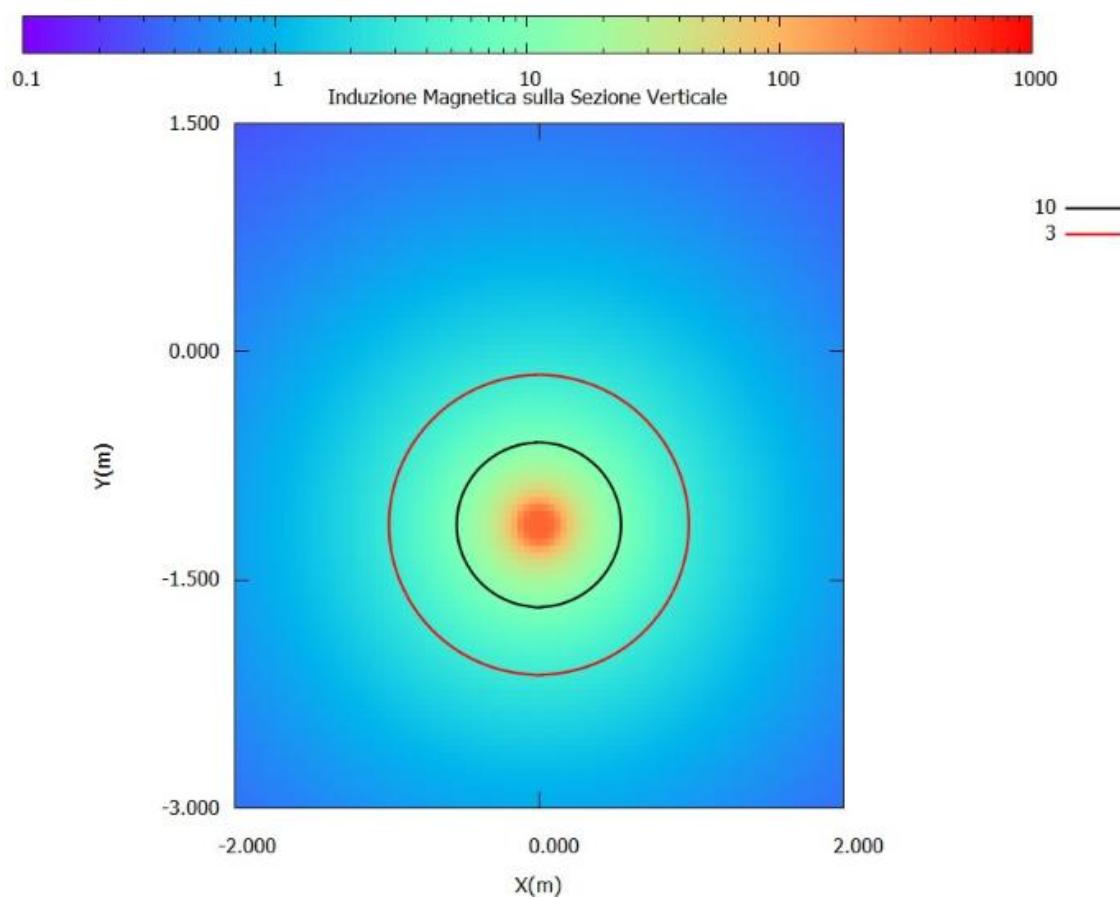


Figura 6-2 Curve isolivello dell'induzione magnetica prodotta da singola terna in cavo MT 3x1x95mm²

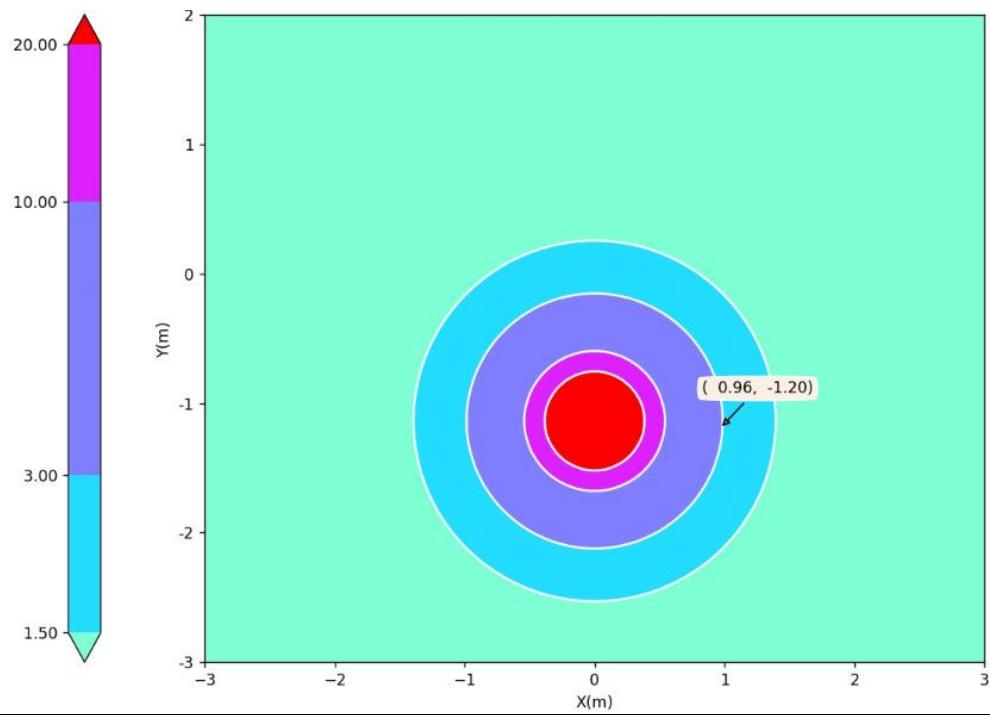


Figura 6-3 Induzione magnetica (micro Tesla) su Piano Verticale prodotta da singola terna in cavo MT 3x1x95mm²

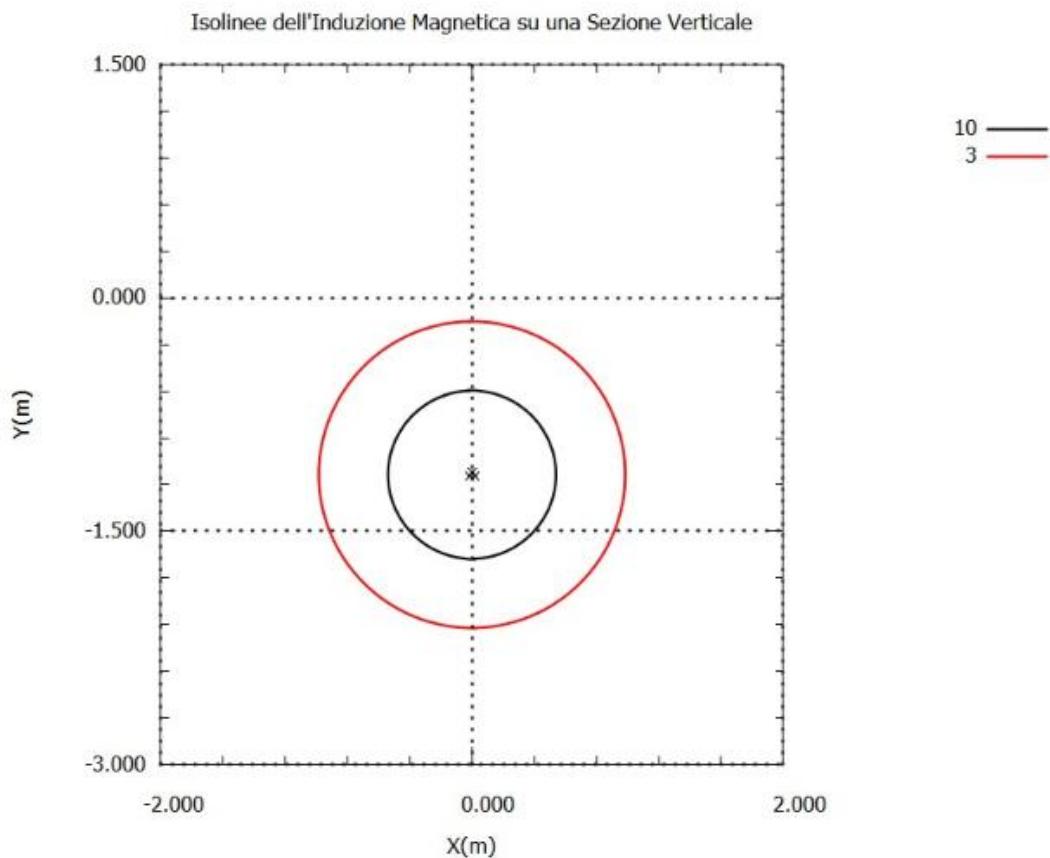


Figura 6-4 – Isolinee dell'Induzione Magnetica su una sezione verticale prodotta da singola terna in cavo MT 3x1x95mmq

DOPPIA TERNA SEZ. CAVO 3X1X95MMQ

A titolo altamente cautelativo si prenderà in considerazione come valore di corrente "I", la somma della portata massima dei cavi, in questo caso quindi $342+342 = 684\text{A}$

La formula da applicare per una singola terna è la seguente, in quanto si considera la posa dei conduttori a trifoglio:

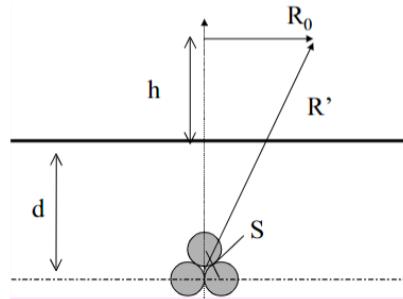


Figura 6-5 Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa a trifoglio oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità (d è la profondità del centro del conduttore)

La formula da applicare è la seguente, in quanto si considera la posa dei conduttori a trifoglio:

$$R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \text{ (m)}$$

Pertanto, ponendo:

$$S = 0,0345 \text{ m} \text{ (uguale al diametro esterno del cavo pari a } 34,5 \text{ mm)}$$

$$I = 684 \text{ A}$$

Si ottiene:

$$R' = 1,39 \text{ m}$$

che arrotondato al metro, fornisce un valore della fascia di rispetto pari a 2 m per parte, rispetto all'asse del cavidotto.

Come anticipato non si ravvisano ricettori all'interno della suddetta fascia.

La formula semplificata per il calcolo diretto della distanza R_0 dall'asse della linea al livello del suolo ($h=0$) oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto del valore di $3 \mu\text{T}$ è la seguente:

$$R_0 = \sqrt{0,082 * S * I - d^2}$$

Dove applicando la formula indicata nella norma CEI 106-11, prendendo in esame le condizioni più gravose, (sia la profondità di posa minore tra quelle normalmente utilizzate, sia considerando i conduttori di sezione maggiore con i rispettivi limiti di portata) si ottengono i risultati dei calcoli riportati in figura 6:

$$R_0 = \sqrt{0,082 * 0,0364 * 778 - 1,0^2}$$

$$R_0 = 1,15 \text{ m}$$

Considerato che l'algoritmo proposto prevede l'arrotondamento al metro superiore, risulta che:

$$\underline{DPA = 2 \text{ m}}$$

A favore di sicurezza si è proceduto al calcolo anche con il software BE CALC della società StudioIngSapone.

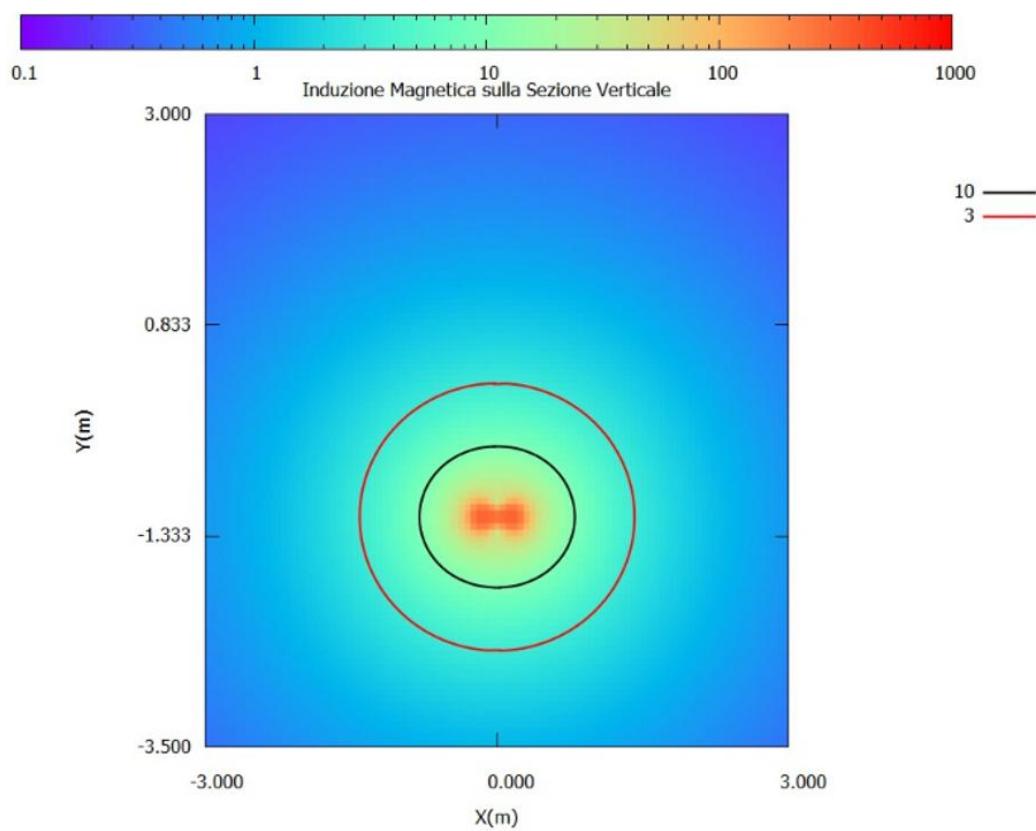


Figura 6-6 Curve isolivello dell'induzione magnetica prodotta da doppia terna in cavo MT 2(3x1x95) mmq

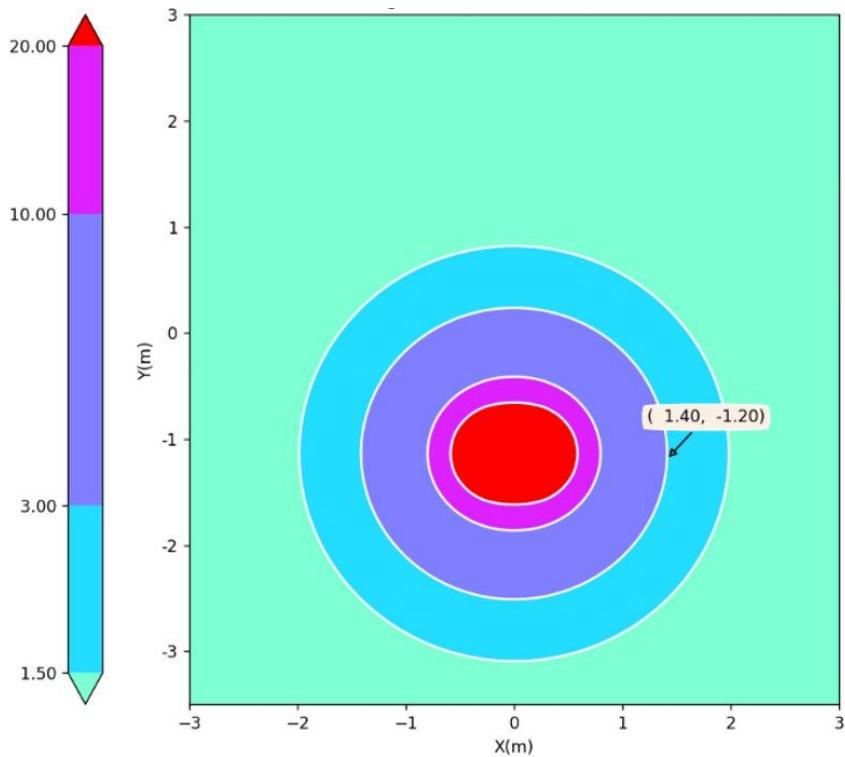


Figura 6-7 Induzione magnetica (micro Tesla) su Piano Verticale prodotta da doppia terna in cavo MT 2(3x1x95) mmq

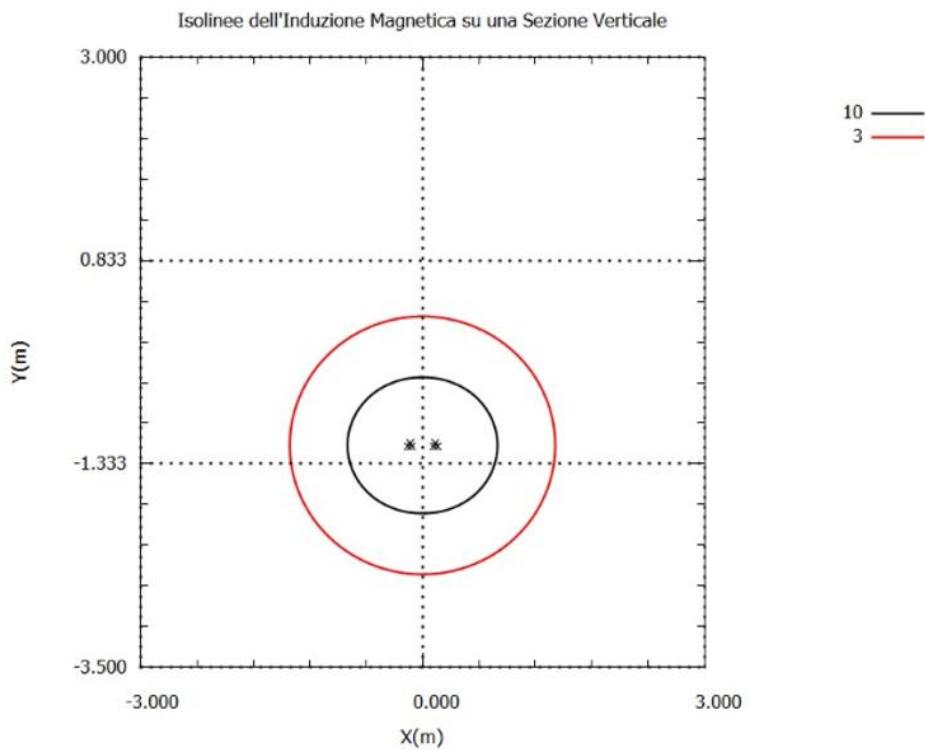


Figura 6-8 – Isolinee dell'Induzione Magnetica su una sezione verticale prodotta da doppia terna in cavo MT 2(3x1x95) mmq

CABINA D'INTERFACCIA

La cabina d'interfaccia di media tensione che raccoglie l'energia elettrica proveniente dal campo (da cabine BT/MT) risulta del tipo "a box", realizzata con elementi prefabbricati in cemento armato vibrato.

In essa sarà presente, oltre agli scomparti MT, n.1 trasformatore MT/BT (15/0.4 kV) con potenza nominale 100kVA per consentire l'alimentazione dei servizi ausiliari all'impianto (illuminazione, prese, ventilatori, condizionamento, circuito telecamere, allarme, centralina rivelazione fumi).

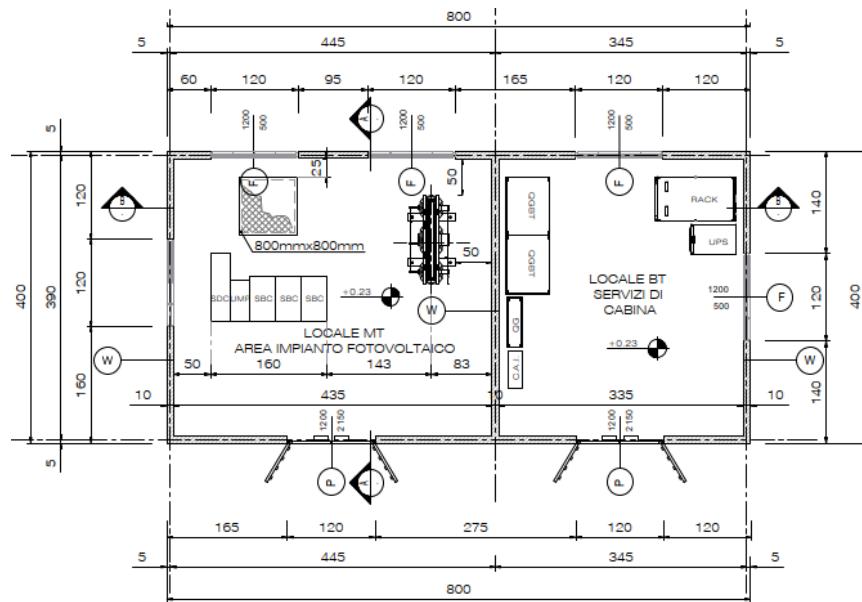


Figura 6-9 – Pianta Cabina d’interfaccia

Oggetto del calcolo sarà il trasformatore TR AUX 100kVA.

Applicando la seguente formula:

$$Dpa = 0.40942 * x^{0.5241} * \sqrt{I}$$

in cui:

I = corrente nominale (secondaria del trasformatore – lato BT) [A];

x = diametro reale (conduttore+isolante) dei cavi in uscita dal trafo – lato BT [m];

Considerato che la potenza nominale del trasformatore MT/BT installato è di 100 kVA, la corrente nominale lato BT sarà pari a 160A.

Considerando la sezione del cavo BT (tipo FG16R16 o similare) 50 mm², con un diametro esterno del singolo conduttore 16.4 mm (0,0164 m), risulta un diametro totale del cavo (x) = 82.2 mm (0,0822 m).

Sostituendo i valori:

$$DPA = 0.40942 \cdot (0.0822)^{0.5241} \cdot \sqrt{160} = 1.39 \text{ m}$$

Considerato che l'algoritmo proposto dal DM 29/5/2008 prevede l'arrotondamento al metro superiore, risulta che $DPA=2m$, da intendersi come distanza dal filo esterno del cabinato.

CABINA DI CONSEGNA

Per la determinazione della DPA associata alla cabina di consegna, alla cabina utente si applica la metodologia riportata nell'allegato al DM del 29/5/2008, paragrafo 5.2.1. In tale paragrafo si fornisce il metodo di determinazione delle DPA riferite a tipologie standard di cabine elettriche, in particolare cabine a pannelli di dimensioni mediamente LxPxH 4,5mx3,2mx2,8m, e dotate di un unico trasformatore di potenza 250-400-630kVA, che costituiscono quelle maggiormente diffuse sul territorio nazionale.

All'interno della Cabina di consegna non è previsto, allo stato attuale del progetto, nessun trasformatore. Tuttavia, il disegno unificato di Enel Distribuzione DG2061 Ed.9 utilizzato per la progettazione in oggetto, prevede un possibile futuro adeguamento tecnico della cabina attraverso l'installazione di un trasformatore di potenza massima 630kVA utile per l'alimentazione locale di carichi in bassa tensione da parte di Enel Distribuzione.

Pertanto ai fini della determinazione delle DPA della cabina di consegna si fa riferimento direttamente a tale situazione potenziale futura, prevedendo all'interno della cabina di consegna un trasformatore di 630kVA.

Risulta evidente che il procedimento di calcolo suddetto individua nel trasformatore e nel suo circuito di bassa tensione, l'elemento critico in riferimento alla generazione dei campi magnetici, zona nella quale si registra un addensamento di tale valore.

Si procede pertanto al calcolo della DPA associata alla suddetta cabina attraverso l'applicazione della seguente formula analitica:

$$Dpa = 0.40942 * x^{0.5241} * \sqrt{I}$$

in cui:

I = corrente nominale (secondaria del trasformatore – lato BT) [A];

x = diametro reale (conduttore+isolante) dei cavi in uscita dal trafo – lato BT [m];

Considerato che la potenza nominale del trasformatore MT/BT installato è di 630 kVA, la corrente nominale lato BT sarà pari a 958A.

Il cavo BT in uscita dal trasformatore che Enel potrebbe installare in futuro all'interno della cabina di consegna, può essere di sezione variabile; il valore del diametro standard è variabile da 20 mm a 27mm, tale valore è attinto dal documento tecnico Enel Distribuzione Spa denominato "Linea Guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.5.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche", in particolare dalla scheda B10 che si riporta in fig.6-11.

Pertanto si assume il massimo valore per la variabile x:

$$x = \text{diametro del cavo} = 27 \text{ mm} = 0,027 \text{ m}$$

In funzione di tali dati si determina la DPA in oggetto:

$$Dpa = 0.40942 * (0.027)^{0.5241} * \sqrt{958}$$

$$DPA = 1.91 \text{ m}$$

Considerato che l'algoritmo proposto dal DM 29/5/2008 prevede l'arrotondamento al metro superiore, risulta che DPA=2m, da intendersi come distanza dal filo esterno del cabinato.

Si noti che tale valore ottenuto dal calcolo analitico del modello proposto DM 29/5/2008 coincide con il valore indicato dalla scheda B10 (Rif. B10 c) del documento di Enel Distribuzione richiamato e riportato in Fig.6-10.



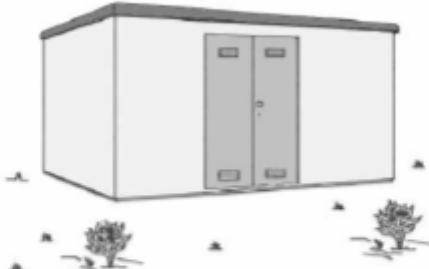
| B10 – CABINA SECONDARIA TIPO BOX O SIMILARI, ALIMENTATA IN CAVO SOTTERRANEO – TENSIONE 15 KV O 20 KV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|--------------|--------------------------------|--------|-----------------------|-------------------------------|--------------|--------------------------------|--------|---------------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|   | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>DIAMETRO DEI CAVI (m)</th> <th>TIPOLOGIA TRASFORMATORE (KVA)</th> <th>CORRENTE (A)</th> <th>DPA (m) filo parete esterna</th> <th>RIF.TO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Da 0,020 a 0,027</td> <td>250</td> <td>361</td> <td>1,5</td> <td>B10a</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>578</td> <td>1,5</td> <td>B10b</td> </tr> <tr> <td>630</td> <td>909</td> <td>2,0</td> <td>B10c</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | DIAMETRO DEI CAVI (m) | TIPOLOGIA TRASFORMATORE (KVA) | CORRENTE (A) | DPA (m) filo parete esterna | RIF.TO | Da 0,020 a 0,027 | 250 | 361 | 1,5 | B10a | 400 | 578 | 1,5 | B10b | 630 | 909 | 2,0 | B10c |
| DIAMETRO DEI CAVI (m) | TIPOLOGIA TRASFORMATORE (KVA) | CORRENTE (A) | DPA (m) filo parete esterna | RIF.TO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Da 0,020 a 0,027 | 250 | 361 | 1,5 | B10a | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 400 | 578 | 1,5 | B10b | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 630 | 909 | 2,0 | B10c | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 6-10 "Linea Guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.5.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche" di Enel Distribuzione SpA - Scheda tecnica B10

ELETRODOTTO INTERRATO MT DA CABINA ELETTRICA DI INTERFACCIA MT A CABINA DI CONSEGNA DI NUOVA REALIZZAZIONE

Il collegamento tra Cabina di Interfaccia e Cabina di Consegna sarà realizzato tramite un elettrodotto MT in cavo unipolare con posa a trifoglio di sezione pari a 95mmq (tipo RG26H1M16 12/20 kV o similare), posato in tubo corrugato Ø 160mm, interrato ad una profondità di circa 1,2m. La distanza tra le cabine non sarà superiore ai 20m.

La tipologia di cavidotto prevede l'utilizzo di cavi unipolari posati a trifoglio, per i quali vale quanto riportato nella norma CEI 106-11 e nella norma CEI 11-17.

Nel calcolo, essendo il valore dell'induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, sono stati presi in considerazione i seguenti parametri:

- ✓ la posa dei cavi a trifoglio;
- ✓ una resistività termica del terreno di 1 K*m/W,
- ✓ il valore limite di portata del conduttore è pari a 342 A.

Il tracciato di posa dei cavi è tale per cui intorno ad esso non vi sono ricettori sensibili (zone in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata) per distanze molto più elevate di quelle calcolate.

Non è rappresentato il calcolo del campo elettrico prodotto dalla linea in cavo, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo.

Secondo quanto riportato nel DM del MATTM del 29.05.2008, il calcolo delle fasce di rispetto può essere effettuato usando le formule della norma CEI 106-11, che prevedono l'applicazione dei modelli semplificati della norma CEI 211-4.

Pertanto, il calcolo della fascia di rispetto si può intendere in via cautelativa pari al raggio della circonferenza che rappresenta il luogo dei punti aventi induzione magnetica pari a 3 μ T.

La formula semplificata da applicare è la seguente, in quanto si considera la posa dei conduttori a trifoglio:

La formula da applicare per una singola terna è la seguente, in quanto si considera la posa dei conduttori a trifoglio:

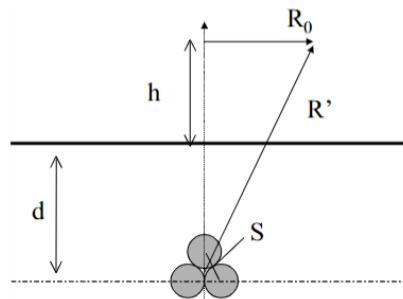


Figura 6-11 Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa a trifoglio oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità (d è la profondità del centro del conduttore)

La formula da applicare è la seguente, in quanto si considera la posa dei conduttori a trifoglio:

$$R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \text{ (m)}$$

Pertanto, ponendo:

$$S = 0,0345 \text{ m}^2 \text{ (uguale al diametro esterno del cavo pari a 34,5 mm)}$$

$$I = 342 \text{ A}$$

Si ottiene:

$$R' = 0,98 \text{ m}$$

che arrotondato al metro, fornisce un valore della fascia di rispetto pari a 1 m per parte, rispetto all'asse del cavidotto. Come anticipato non si ravvisano ricettori all'interno della suddetta fascia.

La formula semplificata per il calcolo diretto della distanza R_0 dall'asse della linea al livello del suolo ($h=0$) oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto del valore di $3 \mu\text{T}$ è la seguente:

$$R_0 = \sqrt{0,082 * S * I - d^2}$$

Dove applicando la formula indicata nella norma CEI 106-11, prendendo in esame le condizioni più gravose, (sia la profondità di posa minore tra quelle normalmente utilizzate, sia considerando i conduttori di sezione maggiore con i rispettivi limiti di portata) si ottengono i risultati dei calcoli riportati in figura 6:

$$R_0 = \sqrt{0,082 * 0.0364 * 389 - 1.0^2}$$

$$R_0 = 0.40 \text{ m}$$

Considerato che l'algoritmo proposto prevede l'arrotondamento al metro superiore, risulta che:

$$\underline{DPA = 1 \text{ m}}$$

A favore di sicurezza si è proceduto al calcolo anche con il software BE CALC della società StudioIngSapone.

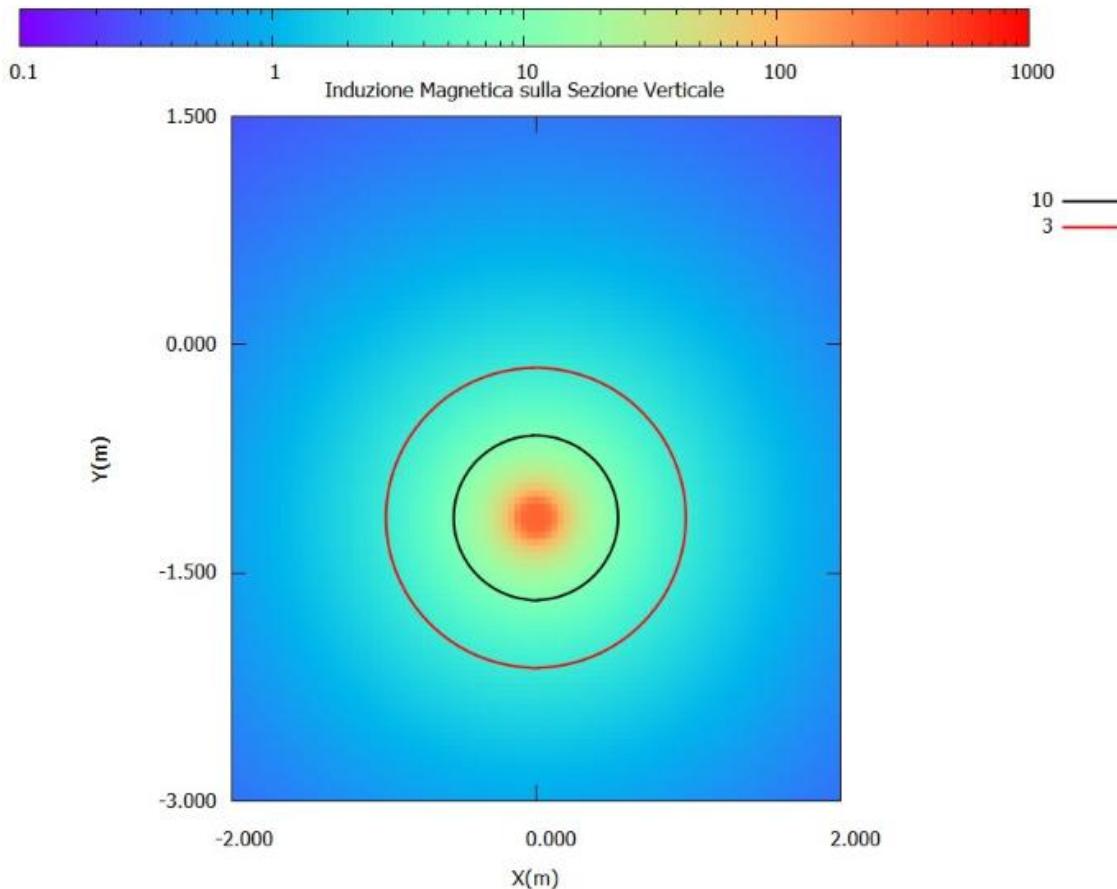


Figura 6-12 Curve isolivello dell'induzione magnetica prodotta da cavo MT 3x1x95mmq

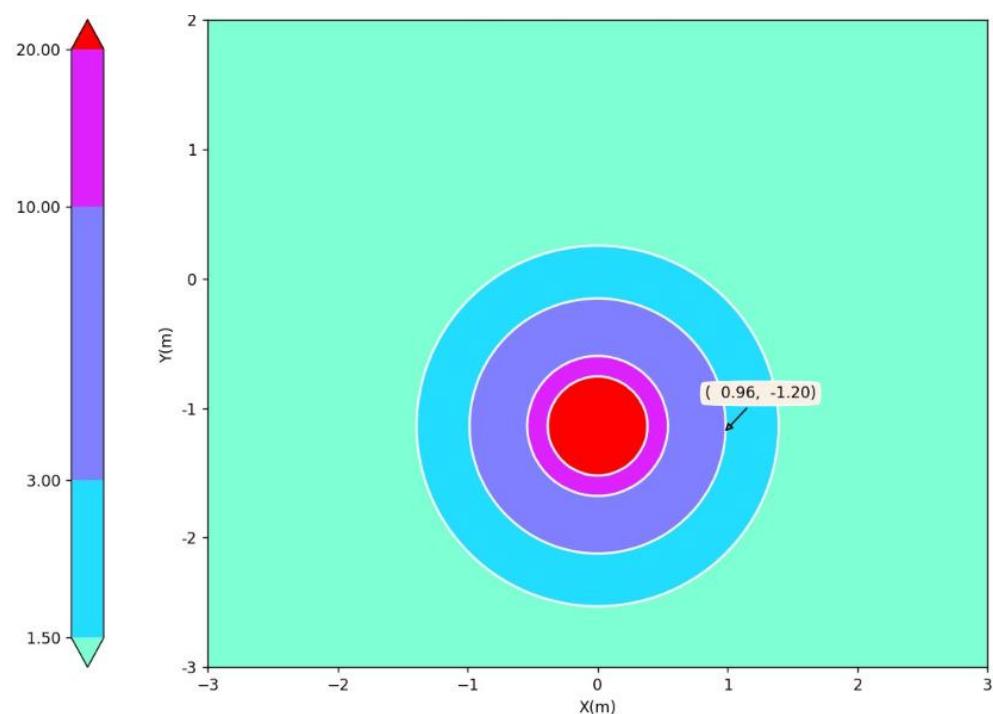


Figura 6-13 Induzione magnetica (micro Tesla) su Piano Verticale prodotta da cavo MT 3x1x95mmq

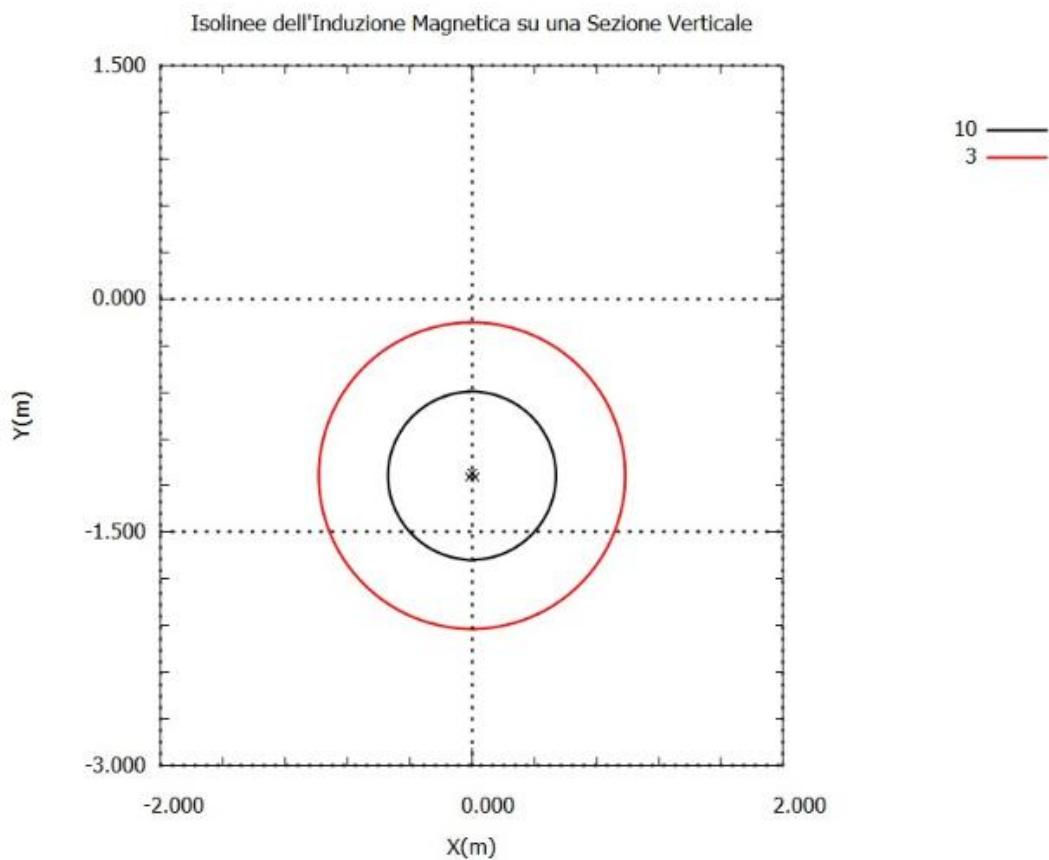


Figura 6-14 – Isolinee dell'Induzione Magnetica su una sezione verticale prodotta da cavo MT 3x1x95mmq

7. 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 esso è notevolmente inferiore a 5kV/m (valore imposto dalla normativa).

Mentre per quel che riguarda il campo di induzione magnetica il calcolo nelle varie sezioni di cavidotti 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.

Sulla base dell'analisi condotta e dei risultati emersi si può concludere quanto segue:

- ✓ I valori di campo magnetico indotto dai cavidotti interrati in MT garantiscono l'obiettivo di qualità (3 μ T) per una fascia di rispetto di ampiezza massima di 2,0 m da asse cavo;
- ✓ La Distanza di Prima Approssimazione (D.P.A.) calcolata per i cabinati di trasformazione BT/MT 0.8/15kV, compresa l'approssimazione per eccesso, risulta pari a 12,0 m, da considerarsi dal filo esterno della stazione di trasformazione con TR da 5.000KVA, e 9,0m per la stazione BT/MT che contiene un trasformatore da 3.500KVA. In entrambi i casi è rispettata la fascia di rispetto vista l'assenza di ricettori sensibili entro l'area D.P.A.;
- ✓ Per la cabina di Interfaccia, avendo solo un trasformatore di potenza pari a 100KVA al suo interno, la DPA risulta essere pari a 2,0 m, la fascia di rispetto verso ricettori sensibili è rispettata;
- ✓ Per la cabina di Consegnna, avendo solo un trasformatore di potenza pari a 630KVA al suo interno, la DPA risulta essere pari a 2,0 m, la fascia di rispetto verso ricettori sensibili è rispettata.

La tipologia delle apparecchiature utilizzate e la loro posizione nell'area garantiscono il rispetto dei limiti per la popolazione nelle aree accessibili al pubblico all'interno del campo AGRFV.

L'area compresa all'interno delle fasce di rispetto non comprende luoghi destinati alla permanenza di persone per più di 4 ore/giorno e sarà accessibile per esigenze di manutenzione, saltuariamente e per limitati periodi di tempo ai soli soggetti professionalmente esposti.