

REGIONE SICILIA

Provincia di CALTANISSETTA

Comune di BUTERA

Società: Mediterranean Wind OffShore S.r.l.



PROGETTO: CONNESSIONE ALLA RTN DEL “PARCO EOLICO OFF-SHORE DEL GOLFO DI GELA” DA 163,8 MVA DI BUTERA (CL), CON STAZIONE DI TRASFORMAZIONE 30/150 kV E CONSEGNA 220(380)/150 kV (TERNA) SITA NEL COMUNE DI BUTERA (CL)

CODICE ELABORATO: 97758_ESER027

NOME ELABORATO: STUDIO ELETTROMAGNETICO CAVIDOTTI MT 45 kV

I Tecnici
della Società
Eco Service Consulting S.r.l.

Dott. Ing. Vincenzo Vergelli

Dott. Ing. Corrado Rossi



Data 26/03/2013

REV.00



PREMESSA

La popolazione ed i lavoratori sono esposti a campi elettromagnetici prodotti da una grande varietà di sorgenti che utilizzano l'energia elettrica a varie frequenze. Tali campi, variabili nel tempo, occupano la parte dello spettro elettromagnetico che si estende dai campi statici alle radiazioni infrarosse.

In questa gamma di frequenze (0 Hz - 300 GHz) i fenomeni di ionizzazione nel mezzo interessato dai campi sono trascurabili: pertanto le radiazioni associate a queste frequenze rientrano in quelle cosiddette radiazioni non-ionizzanti.

Alle più basse frequenze, quando i campi sono caratterizzati da variazioni lente nel tempo, per esempio alle frequenze industriali di 50/60 Hz, o, più in generale, quando l'esposizione ai campi elettromagnetici avviene a distanze dalla sorgente piccole rispetto alla lunghezza d'onda, i campi elettrici e i campi magnetici possono essere considerati indipendentemente.

Alle frequenze più alte o, più in generale, a distanze elevate rispetto alla lunghezza d'onda, i campi elettrici e i campi magnetici sono strettamente correlati tra di loro: dalla misura di uno di essi si può in genere risalire all'altro.

Contrariamente a quanto succede con le radiazioni ionizzanti, per le quali il contributo delle sorgenti naturali rappresenta la porzione più elevata dell'esposizione della popolazione, per le radiazioni non-ionizzanti le sorgenti di campi elettromagnetici realizzati dall'uomo tendono a diventare sempre più predominanti rispetto alle sorgenti naturali.

In alcune parti dello spettro di frequenza, quali quelle utilizzate per la distribuzione dell'energia elettrica e per la radiodiffusione, i campi elettromagnetici prodotti dall'uomo sono molte migliaia di volte superiori a quelli naturali prodotti dal Sole o dalla Terra.

Negli ultimi decenni l'uso dell'elettricità è aumentato considerevolmente, sia per la distribuzione dell'energia elettrica sia per lo sviluppo dei sistemi di telecomunicazione, con conseguente aumento dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici.

I campi variabili nel tempo più comuni a cui le persone sono permanentemente esposte sono quelli derivanti dai sistemi di generazione, trasmissione, distribuzione ed utilizzazione dell'energia elettrica a 50/60 Hz, dai sistemi di trazione ferroviaria (0 Hz, 16 2/3 Hz e 25 Hz), dai sistemi di trasporto pubblico (da 0 Hz a 3 kHz) e dai sistemi di telecomunicazione (trasmettitori radiofonici e televisivi, ponti radio a microonde, stazioni radiobase per telefonia mobile, radar, ecc.), che interessano frequenze più elevate.

La popolazione è anche esposta a campi di bassa intensità prodotti da apparecchiature domestiche (forni a microonde, televisori, videoterminali, ecc.) o industriali (azionamenti elettrici, apparecchi ad induzione, automobili elettriche, ecc.).

Esposizioni a livelli relativamente più elevati possono essere causate, normalmente per brevi periodi, dall'uso, nelle estreme vicinanze del corpo, di telefoni cellulari, sistemi di sicurezza, ecc.



Eco Service Consulting S.r.l.

Sede Legale ed Operativa: Via Mazzini, 151 – 67051 AVEZZANO (AQ)

Tel. n° 0863.33313 Fax n° 0863.440126

I campi generati dalle diverse sorgenti possono essere di vario tipo. La forma d'onda può essere sinusoidale, modulata in ampiezza (AM) o in frequenza (FM) nel caso di comunicazioni radio, o modulata ad impulsi come nei radar dove l'energia delle microonde viene trasmessa in brevi pacchetti di impulsi della durata di microsecondi.

L'esposizione umana dipende non solo dall'intensità dei campi elettromagnetici generati, ma anche dalla distanza dalla sorgente: generalmente le intensità dei campi prodotti dalle sorgenti sopra menzionate decrescono rapidamente con la distanza.

Per proteggere la popolazione e i lavoratori dagli eventuali effetti biologici dell'esposizione ai campi elettromagnetici prodotti da tali sorgenti, sono stati sviluppati in ambiti nazionali e internazionali diversi tipi di linee-guida: esse sono generalmente basate sull'individuazione di valori da non superare per alcune grandezze di base, derivanti da valutazioni di grandezze interne al corpo (quali la densità di corrente e la potenza elettromagnetica assorbita per unità di massa corporea), cui corrispondono altre grandezze derivate esterne, facilmente misurabili, quali il campo elettrico e il campo magnetico.

RICHIAMI DI ELETTROMAGNETISMO

Un qualsiasi elettrodotto è sede di campi elettrici e magnetici legati ai valori di potenza da trasportare e alla tipologia della linea (aerea o interrata).

Il campo elettrico prodotto da una linea in un dato punto dipende in primo luogo dal livello di tensione e dalla distanza del punto dalla linea e in seconda istanza dalla configurazione della linea stessa.

A parità di configurazione, ovviamente il campo elettrico cresce all'aumentare della tensione e diminuisce all'aumentare della distanza.

I parametri legati alla configurazione che influenzano maggiormente il campo elettrico al suolo sono: l'altezza o la profondità della linea, la distanza tra le fasi e la loro disposizione.

Il campo elettrico presenta un massimo nella zona circostante la linea, ma decresce abbastanza rapidamente all'allontanarsi dall'asse della linea stessa.

Le linee elettriche sono inoltre sorgenti di campo magnetico a bassa frequenza.

Esso dipende in primo luogo dal valore della corrente transitante in linea, dalla distanza del punto dalla linea e in seconda istanza dalla configurazione della linea stessa.

Il campo magnetico cresce all'aumentare della corrente e diminuisce all'aumentare della distanza.

Va ancora sottolineato che il campo magnetico prodotto dalle linee elettriche, dipende dalla corrente che, a differenza della tensione, varia notevolmente al variare delle condizioni di carico delle linee stesse.



RIFERIMENTI LEGISLATIVI

NORMATIVA EUROPEA

- Raccomandazione n. 99/519/CE del 12 Luglio 1999: “Raccomandazione del Consiglio relativa alla limitazione dell’esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz”. Tramite questa raccomandazione gli stati membri sono stati invitati ad adottare le misure necessarie ad assicurare un elevato livello di protezione della salute della popolazione dall’esposizione ai campi elettromagnetici.

NORMATIVA NAZIONALE

- DPCM del 23 aprile 1992: “Limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale (50 Hz) negli ambienti abitativi e nell’ambiente esterno”. Questo decreto è stato abrogato nell’art. 8 del DPCM 8/07/2003 relativo agli elettrodotti.
- DPCM 28 settembre 1995:” Norme tecniche procedurali di attuazione del DPCM 23 Aprile 1992 relativamente agli elettrodotti”.
- DM 10 settembre 1998, n. 381: “Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana”.
- Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001: “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”. Essa da attuazione in modo organico e adeguato alla Raccomandazione del Consiglio della Comunità Europea 1999/519/CE del 12 Luglio 1999.
- DPCM dell’ 8 luglio 2003: “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”.
Questo decreto, riguardo i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità sui campi elettromagnetici alla frequenza di 50 Hz, ha stabilito quanto segue:

100μT per l’induzione magnetica e **5 kV/m** per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

A titolo di misura cautelativa per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l’esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50Hz), nelle aree gioco per l’infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolatici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l’induzione



Eco Service Consulting S.r.l.

Sede Legale ed Operativa: Via Mazzini, 151 – 67051 AVEZZANO (AQ)

Tel. n° 0863.33313 Fax n° 0863.440126

magnetica il valore di attenzione di $10\mu\text{T}$, da intendersi come mediana dei valori nell'arco di 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

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

| | Intensità del campo elettrico (kV/m) | Intensità del campo di induzione magnetica (μT) |
|-----------------------|---|--|
| Limiti di esposizione | 5 | 100 |
| Valore di attenzione | / | 10 |
| Obiettivo di qualità | / | 3 |

Limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità fissati dal DPCM 8/07/2003

(G. U. Serie Generale n.199 del 28/8/03)

ANALISI QUANTITATIVA

L'opera oggetto del nostro interesse ha riguardato l'analisi dei campi elettrico ed elettromagnetico di un elettrodotto interrato in media tensione a 45 kV per il vettoriamento dell'energia prodotta della centrale eolica da 136,8 MVA, di proprietà della Società "Mediterranean Wind off-shore S.r.l."

L'elettrodotto MT in oggetto, risulta composto da n° 4 linee in cavo del tipo ARE4H5E.

Cavo tipo ARE4H5E

| Cross-section of conductor | Diameter of conductor | Insulation thickness | Diameter over insulation | Cross-section of screen | Outer diameter of cable | Cable weight (Al-conductor) | Cable weight (Cu-conductor) | Capacitance | Charging current per phase at 50 Hz | Inductance | | Surge impedance |
|---|-----------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|-------------------------------------|------------|-------|-----------------|
| | | | | | | | | | | ••• | •••• | |
| mm ² | mm | mm | mm | mm ² | mm | kg/m | kg/m | µF/km | A/km | mH/km | mH/km | Ω |
| Single-core cables, nominal voltage 45 kV ($U_m = 52$ kV) | | | | | | | | | | | | |
| 95 | 11.2 | 8.0 | 28.8 | 25 | 37.0 | 1.4 | 2.0 | 0.17 | 1.4 | 0.43 | 0.69 | 33.3 |
| 120 | 12.6 | 8.0 | 30.2 | 25 | 39.0 | 1.6 | 2.4 | 0.18 | 1.5 | 0.41 | 0.67 | 30.3 |
| 150 | 14.2 | 8.0 | 31.8 | 35 | 41.0 | 1.9 | 2.8 | 0.20 | 1.6 | 0.40 | 0.65 | 27.5 |
| 185 | 15.8 | 8.0 | 33.4 | 35 | 42.0 | 2.1 | 3.2 | 0.21 | 1.7 | 0.38 | 0.63 | 25.8 |
| 240 | 18.1 | 8.0 | 35.7 | 35 | 45.0 | 2.3 | 3.8 | 0.23 | 1.9 | 0.37 | 0.60 | 23.1 |
| 300 | 20.4 | 8.0 | 38.0 | 35 | 48.0 | 2.6 | 4.5 | 0.25 | 2.1 | 0.36 | 0.59 | 21.2 |
| 400 | 23.2 | 8.0 | 40.8 | 35 | 51.0 | 3.0 | 5.5 | 0.28 | 2.3 | 0.35 | 0.57 | 18.8 |
| 500 | 26.2 | 8.0 | 44.4 | 35 | 54.0 | 3.5 | 6.6 | 0.31 | 2.5 | 0.33 | 0.55 | 16.9 |
| 630 | 29.8 | 8.0 | 48.0 | 35 | 58.0 | 4.0 | 8.0 | 0.34 | 2.8 | 0.32 | 0.53 | 15.3 |
| 800 | 33.7 | 8.0 | 51.9 | 35 | 63.0 | 4.9 | 10.0 | 0.38 | 3.1 | 0.31 | 0.51 | 13.6 |
| 1000 | 37.9 | 8.0 | 56.1 | 35 | 67.0 | 5.7 | 12.1 | 0.41 | 3.4 | 0.30 | 0.49 | 12.4 |
| 1200 | 44 | 8.0 | 64.0 | 35 | 74.0 | 6.6 | 14.2 | 0.48 | 3.9 | 0.29 | 0.47 | 10.1 |
| 1400 | 49 | 8.0 | 69.0 | 35 | 81.0 | 7.4 | 16.2 | 0.53 | 4.3 | 0.29 | 0.46 | 10.0 |
| 1600 | 52 | 8.0 | 72.0 | 35 | 84.0 | 8.1 | 18.2 | 0.55 | 4.5 | 0.28 | 0.45 | 10.1 |
| 2000 | 56 | 8.0 | 76.0 | 35 | 88.0 | 9.6 | 22.3 | 0.59 | 4.8 | 0.28 | 0.44 | 9.2 |

Il parco eolico risulta suddiviso in n° 4 cluster di generazione, ad ogni cluster è assegnata una linea MT di vettoriamento dell'energia prodotta.

Le linee n° 1 e 2 trasporteranno una potenza pari a 36 MW e le linee n° 3 e 4, una potenza pari a 32,4 MW (per un totale di 136,8 MW che corrisponde alla potenza nominale di generazione del parco eolico in esame).

Le n° 4 linee poste nello stesso scavo sono di seguito descritte:

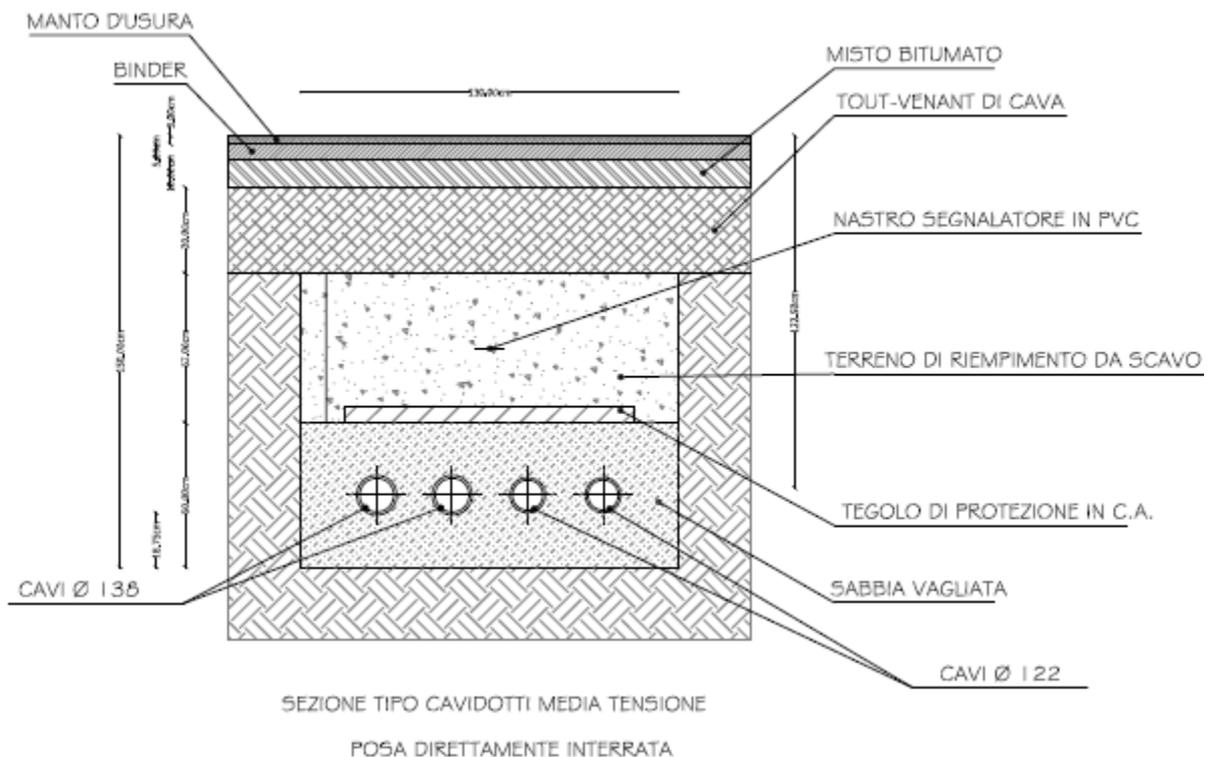
Linea 1 e Linea 2

Tensione nominale: 45 kV
Corrente massima di esercizio del collegamento: 513,8 A
Formazione dei conduttori: 630 mmq Al
Tipo di posa: cavo interrato

Linea 3 e Linea 4

| | |
|---|----------------|
| Tensione nominale: | 45 kV |
| Corrente massima di esercizio del collegamento: | 462,4 A |
| Formazione dei conduttori: | 400 mmq Al |
| Tipo di posa: | cavo interrato |

Di seguito viene anche riportata la sezione “tipo” di posa del cavidotto in esame.



La norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6, prima edizione, guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana, stabilisce che le linee elettriche in cavo non producono campo elettrico all'esterno, in quanto, le guaine metalliche dei cavi costituiscono un'efficace schermatura nei riguardi di tale tipo di campo (par. 7.3.1).

Contrariamente a quanto avviene per il campo elettrico, le linee in cavo interrato sono sorgenti di campo magnetico, in quanto le guaine dei cavi non costituiscono un'efficace schermatura a tale riguardo.

Il campo magnetico prodotto dalle linee trifase bilanciate diminuisce approssimativamente secondo $1/r^2$, qualora r (distanza dal centro linea) sia molto maggiore della distanza tra i conduttori.

Quindi nel caso di un sistema trifase bilanciato, come quello in esame, considerando le caratteristiche dell'elettrodotto (cavi interrati disposti a trifoglio in tubo, ad una profondità di

1,2 m) ad una distanza verticale di 1,5 metri dal centro linea (altezza uomo) si avranno le condizioni determinate nelle tabelle seguenti.

Linea L1 e Linea L2

| caratteristiche della linea | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|
| tensione nominale | corrente nominale | tipologia | distanza tra i conduttori | sezione conduttori |
| [V] | [A] | | [mm] | [mmq] |
| 45000 | 513,8 | linea interrata trifase | 50 | 630 |
| distanza dai conduttori | | | | |
| distanza [m] | 2,7 | | | |
| contributo del cavidotto | | | | |
| campo elettrico [kV/m] | 0,0 | | | |
| limite campo elettrico [kV/m] | 5 | | | |
| esito verifica | Soddisfatta | | | |
| campo magnetico [μ T] | 1,219 | | | |
| limite di esposizione [μ T] | 100 | | | |
| valore di attenzione [μ T] | 10 | | | |
| valore di qualità [μ T] | 3 | | | |
| esito verifica | Soddisfatta | | | |

Linea L3 e Linea L4

| caratteristiche della linea | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|
| tensione nominale | corrente nominale | tipologia | distanza tra i conduttori | sezione conduttori |
| [V] | [A] | | [mm] | [mmq] |
| 45000 | 462,4 | linea interrata trifase | 50 | 400 |
| distanza dai conduttori | | | | |
| distanza [m] | 2,7 | | | |
| contributo del cavidotto | | | | |
| campo elettrico [kV/m] | 0,0 | | | |
| limite campo elettrico [kV/m] | 5 | | | |
| esito verifica | Soddisfatta | | | |
| campo magnetico [μ T] | 1,097 | | | |
| limite di esposizione [μ T] | 100 | | | |
| valore di attenzione [μ T] | 10 | | | |
| valore di qualità [μ T] | 3 | | | |
| esito verifica | Soddisfatta | | | |

Il DPCM 8 luglio 2003 stabilisce i limiti di esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti. L'art.3 del suddetto decreto dice che non deve essere superato il limite di esposizione di 100 microTesla per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico.

Il limite di legge deve essere rispettato dalla totalità delle sorgenti che concorrono alla determinazione del campo elettromagnetico totale. Nel caso in esame, non è stato necessario eseguire delle misure di fondo al fine di determinare il campo elettromagnetico preesistente,

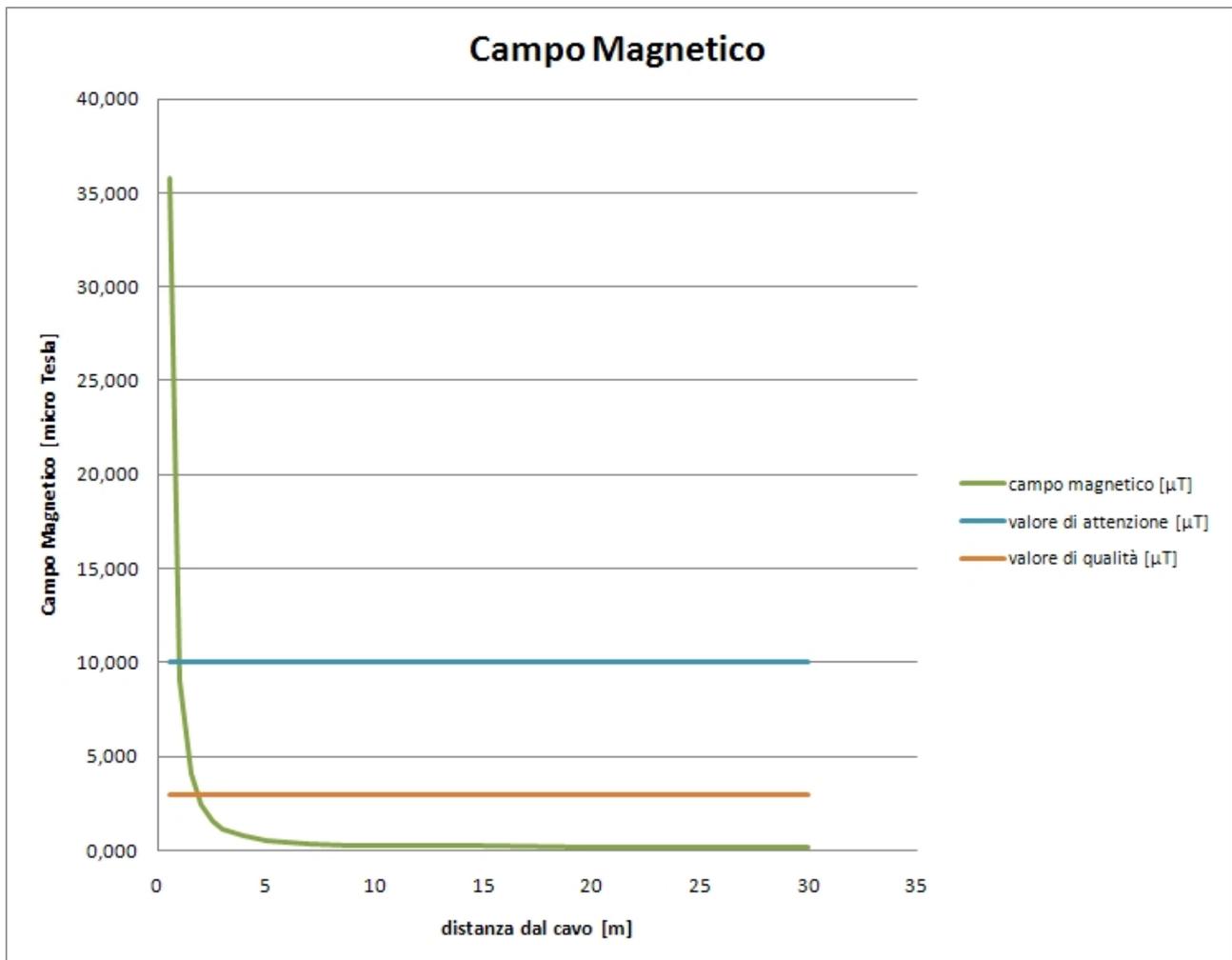
in quanto il tracciato del cavidotto non interessa aree abitate e non presenta intersezioni e/o parallelismi con linee elettriche di alta tensione o comunque in grado di generare un contributo significativo al campo magnetico stimato.

Per maggior cautela si è assegnato al campo elettromagnetico di fondo, un valore pari a 0,183 microTesla.

Di seguito viene riportato l'andamento del campo magnetico complessivo "post operam" in funzione della distanza dal cavidotto per ciascuna delle 4 linee afferenti:

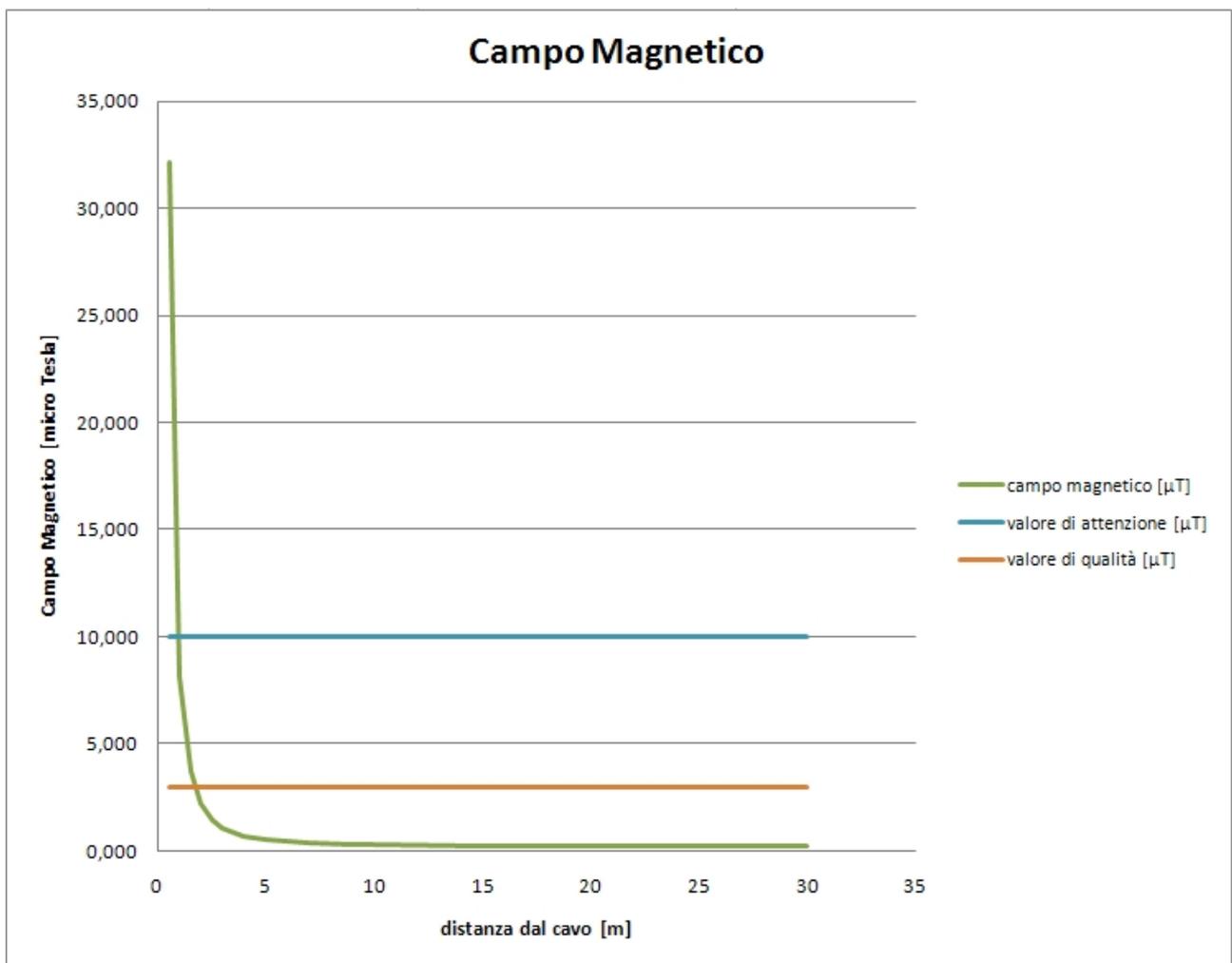
Linea L1 e Linea L2

| variazione dei campi con la distanza | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--|
| distanza [m] | campo elettrico [kV] | limite campo elettrico [kV/m] | campo magnetico [μ T] | limite di esposizione [μ T] | valore di attenzione [μ T] | valore di qualità [μ T] | |
| 0,5 | 0,0 | 5 | 35,738 | 100 | 10 | 3 | |
| 1 | 0,0 | 5 | 9,072 | 100 | 10 | 3 | |
| 1,5 | 0,0 | 5 | 4,134 | 100 | 10 | 3 | |
| 2 | 0,0 | 5 | 2,405 | 100 | 10 | 3 | |
| 2,5 | 0,0 | 5 | 1,605 | 100 | 10 | 3 | |
| 3 | 0,0 | 5 | 1,171 | 100 | 10 | 3 | |
| 4 | 0,0 | 5 | 0,739 | 100 | 10 | 3 | |
| 5 | 0,0 | 5 | 0,539 | 100 | 10 | 3 | |
| 7 | 0,0 | 5 | 0,364 | 100 | 10 | 3 | |
| 9 | 0,0 | 5 | 0,293 | 100 | 10 | 3 | |
| 10 | 0,0 | 5 | 0,272 | 100 | 10 | 3 | |
| 15 | 0,0 | 5 | 0,223 | 100 | 10 | 3 | |
| 20 | 0,0 | 5 | 0,205 | 100 | 10 | 3 | |



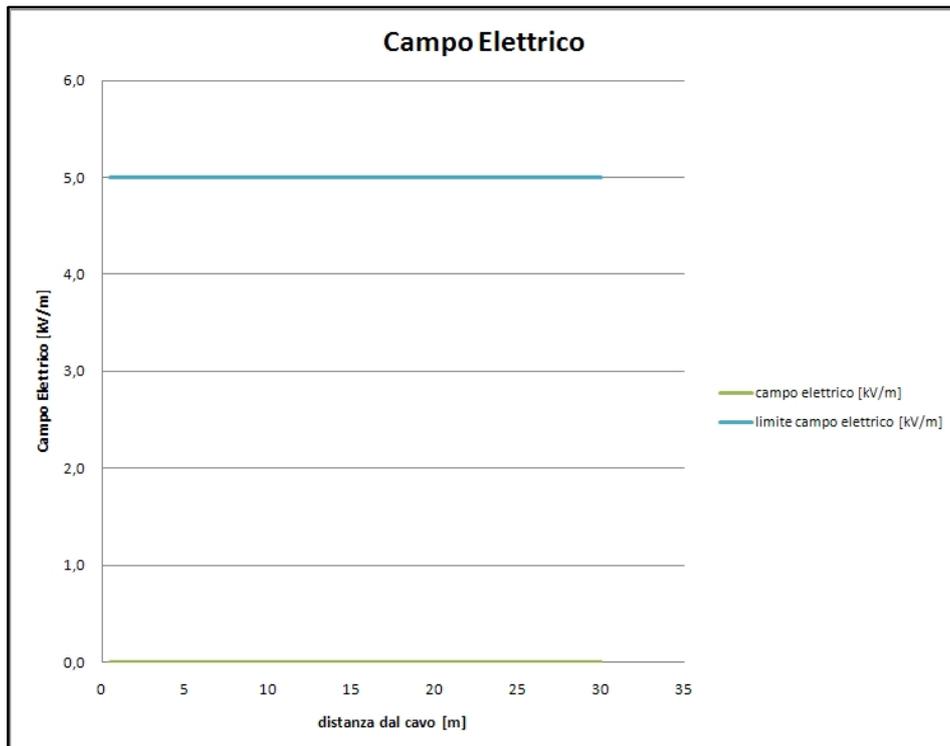
Linea L3 e Linea L4

| variazione dei campi con la distanza | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| distanza [m] | campo elettrico [kV] | limite campo elettrico [kV/m] | campo magnetico [μ T] | limite di esposizione [μ T] | valore di attenzione [μ T] | valore di qualità [μ T] |
| 0,5 | 0,0 | 5 | 32,181 | 100 | 10 | 3 |
| 1 | 0,0 | 5 | 8,183 | 100 | 10 | 3 |
| 1,5 | 0,0 | 5 | 3,738 | 100 | 10 | 3 |
| 2 | 0,0 | 5 | 2,183 | 100 | 10 | 3 |
| 2,5 | 0,0 | 5 | 1,463 | 100 | 10 | 3 |
| 3 | 0,0 | 5 | 1,072 | 100 | 10 | 3 |
| 4 | 0,0 | 5 | 0,683 | 100 | 10 | 3 |
| 5 | 0,0 | 5 | 0,503 | 100 | 10 | 3 |
| 7 | 0,0 | 5 | 0,346 | 100 | 10 | 3 |
| 9 | 0,0 | 5 | 0,282 | 100 | 10 | 3 |
| 10 | 0,0 | 5 | 0,263 | 100 | 10 | 3 |
| 15 | 0,0 | 5 | 0,219 | 100 | 10 | 3 |
| 20 | 0,0 | 5 | 0,203 | 100 | 10 | 3 |

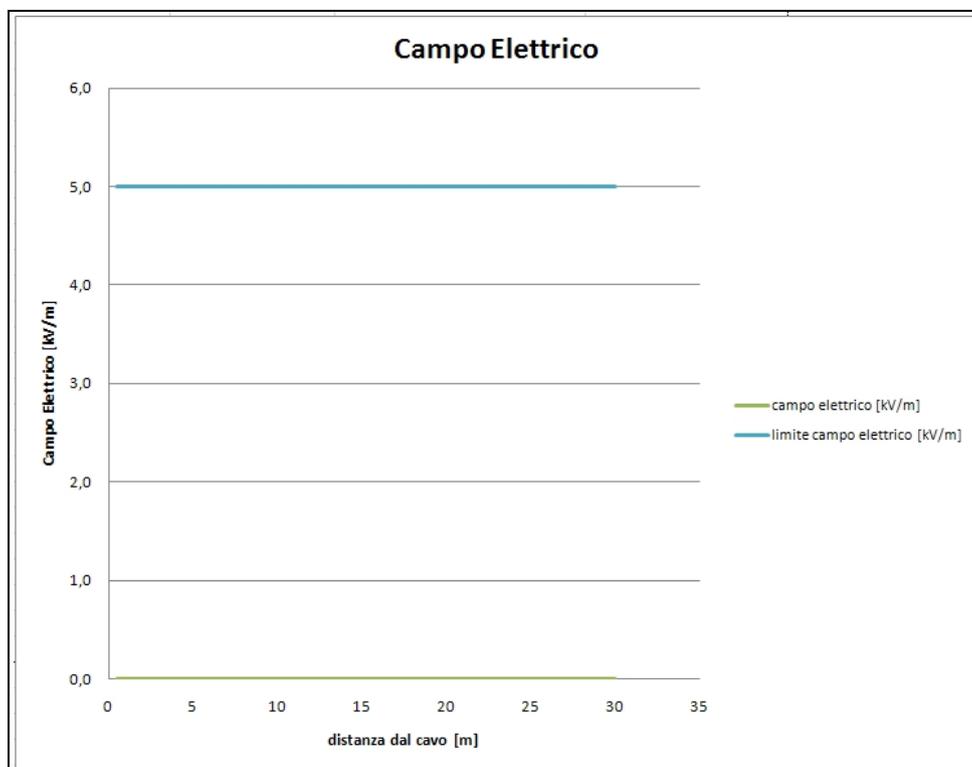


Inoltre, per completezza, è doveroso anche riportare l'andamento del campo elettrico per ciascuna delle linee in oggetto, anche se il suo contributo è pari a zero.

Linea L1 e L2

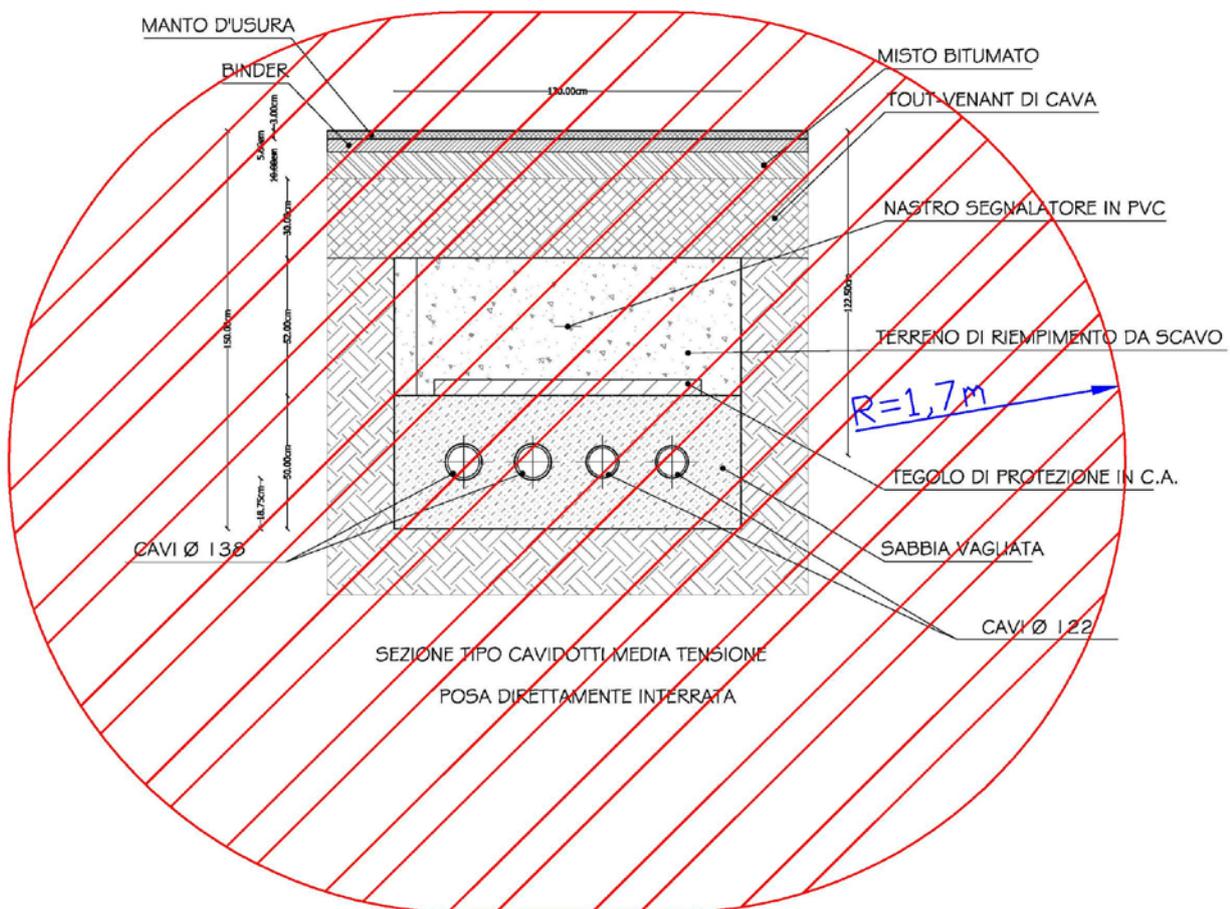
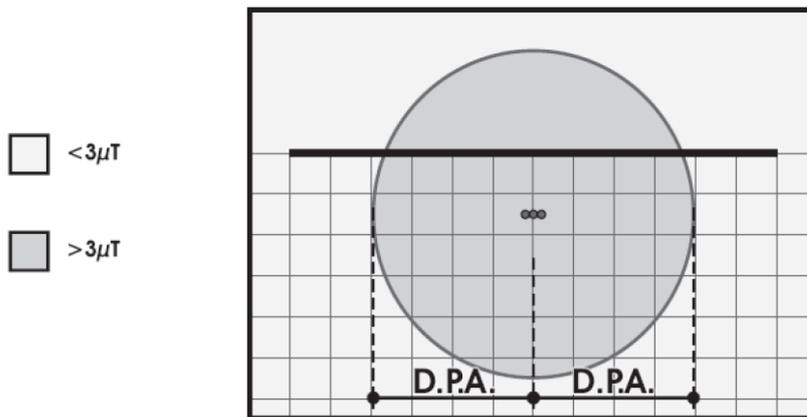


Linea L3 e L4



Si può concludere che il campo elettromagnetico complessivo “post operam” presenterà ad altezza d’uomo un valore inferiore al limite di normativa di $3 \mu\text{T}$ a circa 1,7m. Pertanto sarà stabilita una DPA pari a + 1,7m a destra e a sinistra dell’asse dei cavi più esterni nello scavo.

RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.





Eco Service Consulting S.r.l.

Sede Legale ed Operativa: Via Mazzini, 151 – 67051 AVEZZANO (AQ)

Tel. n° 0863.33313 Fax n° 0863.440126

Il rischio elettromagnetico è pertanto da considerarsi molto basso, anche in considerazione dei seguenti aspetti:

- il cavidotto non è mai percorso dalla massima corrente teorica;
- ad una distanza di 5-6 metri dall'asse del cavidotto il contributo al campo magnetico è praticamente nullo;
- il cavidotto interessa aree lontane da abitazioni e luoghi dove non è ragionevole supporre una permanenza in prossimità o al di sopra di esso di persone per più di 4 ore al giorno e per periodi prolungati.

Infine poiché i lavori di manutenzione verranno tutti effettuati in assenza di tensione, si può ritenere nullo l'impatto sui lavoratori addetti alla manutenzione.

Per la Società Incaricata
Eco Service Consulting S.r.l.

I Progettisti

Dott. Ing. Vincenzo Vergelli

Dott. Ing. Corrado Rossi

Avezzano, lì 03.04.2013