



Comune di
Buddusò
Regione Sardegna



Comune di
Alà dei Sardi
Regione Sardegna



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "BUDDUSO' SUD I" NEL TERRITORIO DEI COMUNI DI BUDDUSO' E ALA' DEI SARDI (SS)

PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE

AEI WIND PROJECT XII S.R.L.

Via Savoia n. 78
00198 - Roma
PEC: aeiwindprojectxii@legalmail.it



OGGETTO

9 - OPERE ELETTRICHE

RELAZIONE ELETTROMAGNETICA

TIMBRI E FIRME



**STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI**

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO
VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI
TEL. +39 011 43 77 242
studiorosso@legalmail.it
info@sria.it
www.sria.it

dott. ing. Giorgio Efisio DEMURTAS
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cagliari
Posizione n.5500
Cod. Fisc. DMR GGF 75L27 E441L

dott. ing. Luca DEMURTAS
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cagliari
Posizione n.6062
Cod. Fisc. DMR LCU 77E10 E441L

dott. ing. Roberto SESENNA
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n.8530J
Cod. Fisc. SSN RRT 75B12 C665C

CONSULENZA

Coordinatore e responsabile delle attività: Dott. ing. Giorgio Efisio DEMURTAS

Consulenza studi ambientali: dott. for. Piero RUBIU

SIATER s.r.l. VIA CASULA N. 7 - 07100 - SASSARI



Studio Gioed
VIA IS MIRRIONIS N. 178 - 09121 - CAGLIARI

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE
DATA	DIC/2023
COD. LAVORO	629/SR
TIPOL. LAVORO	D
SETTORE	9
N. ATTIVITA'	-
TIPOL. ELAB.	RT
TIPOL. DOC.	E
ID ELABORATO	03
VERSIONE	0

REDATTO

ing. Giorgio Efisio DEMURTAS

CONTROLLATO

ing. Luca DEMURTAS

APPROVATO

ing. Roberto SESENNA

ELABORATO

D.9.3

INDICE

1	OGGETTO.....	2
2	CONSIDERAZIONI PRELIMINARI.....	2
3	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
4	DEFINIZIONI.....	5
5	LIMITI DI ESPOSIZIONE E VALORI DI ATTENZIONE	6
6	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	7
7	MODELLO DI CALCOLO	8
7.1	PREMESSA	8
7.2	BASE TEORICA	8
7.3	CALCOLO DEL CAMPO MAGNETICO.....	10
8	CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO GENERATO DAL CAVIDOTTO 36 KV	11
8.1	CAVIDOTTO INTERNO AL PARCO.....	11
8.2	CABINA DI CONSEGNA E CAVIDOTTO DI CONSEGNA TRA CABINA UTENTE E STAZIONE RTN	11
9	RISULTATI DEI CALCOLI.....	12
9.1	EMISSIONE CAVIDOTTO PARCO:.....	12
9.2	EMISSIONE CABINA E CAVIDOTTO DI CONSEGNA:.....	12
9.3	GRAFICI.....	12

1 OGGETTO

Il presente studio è finalizzato al calcolo preventivo delle emissioni elettromagnetiche non ionizzanti determinate dalle installazioni elettriche previste dal progetto di un nuovo impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica della potenza di 52,8 MW.

L'impianto verrà installato nei comuni di Buddusò ed Alà dei Sardi (SS).

2 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

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.

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 esposti 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.).

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

Per proteggere la popolazione dagli eventuali effetti nocivi 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 biologiche (grandezze interne al corpo, quali la densità di corrente e la sovratemperatura corporea),

cui corrispondono altre grandezze derivate esterne, facilmente misurabili e calcolabili, quali il campo elettrico e il campo magnetico.

L'esposizione umana dipende non solo dall'intensità dei campi elettromagnetici generati, ma anche dalla distanza dalla sorgente.

Nel caso specifico, non esistendo sorgenti di emissione ad alta frequenza, si analizza l'entità del campo elettromagnetico generato dalle installazioni elettriche al fine di verificare che i valori di campo siano minori di quelli ammessi dalla legge per salvaguardare la salute pubblica.

In particolare poiché gli elettrodotti e sottostazione di trasformazione e distribuzione produrranno campi elettromagnetici a bassa frequenza verranno valutati gli effetti delle radiazioni alle frequenze industriali di 50 Hz.

3 RIFERIMENTI NORMATIVI

- Legge 22 Febbraio 2001, n. 36 – “Legge quadro sulla protezione 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 di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”.
- D.M. 29/05/2008 (G.U. del 05/07/2008) – “Ministero dell’Ambiente e della tutela del territorio e del mare – Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”;
- Allegato al D.M. 29/05/2008 (G.U. del 05/07/2008) – “Agenzia per la protezione dell’ambiente e per i servizi tecnici (APAT) - Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”.
- Legge Regionale 12 Giugno 2006, N.9 (Art.54) “Conferimento di funzioni e compiti agli enti locali”.
- Delibera regionale del 25 Marzo 2010, N 12/24 “avente per oggetto “Direttive regionali in materia di inquinamento elettromagnetico”.
- “CEI ENV 50166-1 1997-06 - Esposizione umana ai campi elettromagnetici Bassa frequenza (0-10 kHz)”.
- “CEI 11-60 2000-07 - Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV”.
- “CEI 211-6 2001-01 - 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”.
- “CEI 106-11 2006-02 - 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 o in cavo.
- “CEI 211-4 2008-09 - Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche”.

4 DEFINIZIONI

Per quanto riguarda la definizione delle grandezze elettromagnetiche di interesse si fa riferimento alla 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 kHz - 10 KHz, con riferimento all'esposizione umana».

Per quanto riguarda le definizioni di esposizione, limite di esposizione, valore di attenzione, obiettivo di qualità, elettrodotto, valgono le definizioni contenute all'art. 3 della Legge 22 febbraio 2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 55 del 7 marzo 2001.

a) esposizione: è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;

b) 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 per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettera a)

c) 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 per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettere b) e c). Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge;

d) obiettivi di qualità sono: 1) i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali secondo le competenze definite dall'articolo 8; 2) i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato secondo le previsioni di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), ai fini della progressiva mitigazione dell'esposizione ai campi medesimi;

e) elettrodotto: è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;

f) 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;

g) esposizione della popolazione: è ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici;

Le frequenze industriali che verranno valutate (50 Hz) sono attualmente regolamentate dal D.P.C.M. 08/07/2003, il quale stabilisce i limiti di esposizione in base agli effetti acuti e alle distanze minime degli elettrodotti dalle abitazioni e dagli ambienti a permanenza prolungata e i criteri di risanamento in tutte quelle situazioni che non rispettano i limiti di esposizione.

5 LIMITI DI ESPOSIZIONE E VALORI DI ATTENZIONE

Le disposizioni del DPCM del 8/07/2003 fissano i limiti di esposizione e valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti.

Nel medesimo ambito, il decreto stabilisce anche un obiettivo di qualità per il campo magnetico, ai fini della progressiva minimizzazione delle esposizioni.

L'Art 3 definisce i limiti di esposizione ed i valori di attenzione:

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

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

L'Art 4 definisce gli obiettivi di qualità:

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

6 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il parco eolico oggetto della presente relazione, posto nei comuni di Buddusò ed Alà dei Sardi (SS) sarà costituito da 8 aerogeneratori eolici per una potenza totale di 52,8 MW.

Gli aerogeneratori saranno collegati, attraverso 2 linee elettriche in cavo a 36 kV (circuiti) ad un quadro sempre a 36 kV nella cabina di consegna utente sita nelle vicinanze della stazione RTN come indicato nelle planimetrie allegate..

I circuiti saranno costituiti da cavi interrati il cui percorso ricalcherà i tracciati di viabilità esistente e/o quelli di nuova realizzazione per l'accesso agli aerogeneratori stessi.

L'impianto sarà costituito da un'unica sezione a 36 kV comprendente la rete in media tensione che convoglierà l'energia dai singoli aerogeneratori verso la stazione di consegna utente che permetterà il collegamento dell'impianto in antenna a 36 kV con una nuova stazione elettrica (SE) a 380/150/36 kV da collegare tramite un elettrodotto a 380 kV alla futura sezione 380 kV di Taloro e da raccordare alla linea 150 kV della RTN "Buddusò – Siniscola 2".

7 MODELLO DI CALCOLO

7.1 PREMESSA

Si analizza l'entità del campo elettromagnetico generato dalle installazioni elettriche al fine di verificare che il valori di campo siano minori di quelli ammessi dalla legge per salvaguardare la salute pubblica.

Alla frequenza di 50 Hz il campo elettrico (misurato in V/m) e quello magnetico (misurato in T) possono essere considerati disaccoppiati, e analizzati, dal punto di vista fisico-matematico, separatamente.

Per sua natura (costante dielettrica notevolmente diversa da quella dell'aria) il corpo umano ha eccellenti capacità schermanti nei confronti del campo elettrico. Il campo elettrico quindi ha, per i valori di campo generato da qualsiasi installazione elettrica convenzionale, effetti del tutto trascurabili (si consideri a tal proposito che solo in prossimità di linee AT a 400kV, tensione non raggiunta in Italia in nessuna linea di trasmissione AT, si raggiungono valori di 4kV/m prossimi al limite di legge per zone frequentate, valore che si abbatta in maniera esponenziale all'aumentare della distanza del conduttore). Il campo elettrico risulta essere proporzionale alla tensione dell'installazione elettrica.

Il corpo umano, avendo permeabilità magnetica relativa pari a quella dell'aria, non ha capacità schermanti contro il campo magnetico, il quale lo attraversa completamente rendendo i suoi effetti più pericolosi di quelli del campo elettrico. Il campo magnetico è proporzionale al valore di corrente che circola nei conduttori elettrici ed i valori di corrente che si possono avere nelle ordinarie installazioni elettriche possono generare campi magnetici che possono superare i valori imposti dalle norme

7.2 BASE TEORICA

Quando una corrente elettrica attraversa un conduttore produce un campo magnetico. La densità del flusso è il flusso magnetico prodotto per unità di superficie.

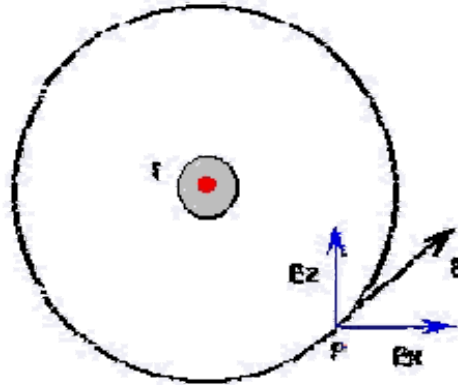
La densità di flusso magnetico B in un punto P prodotta da un conduttore lineare di lunghezza infinita e distante dal punto stesso, è espressa tramite la legge di Biot e Savart:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad [T]$$

Dove B_x e B_y , possono anche essere calcolati usando le seguenti equazioni:

$$B_x = B \cos \theta_x \qquad B_y = B \cos \theta_y$$

Le funzioni trigonometriche sono calcolate secondo i riferimenti mostrati nelle figure seguenti:



essendo :

B – Induzione magnetica (Tesla = T) ($T = \text{Wb} / \text{m}^2$)

μ – permeabilità magnetica : $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$

ne segue:

$$B = \frac{2 \cdot I \cdot 10^{-7}}{r}$$

Calcolo

Nel caso in esame si hanno conduttori nei quali scorre un sistema di correnti trifasi:

$$I_1 = \sqrt{2} \cdot I \cdot \text{sen}(wt)$$

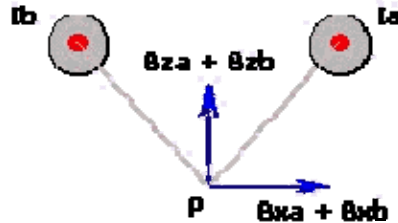
$$I_2 = \sqrt{2} \cdot I \cdot \text{sen}(wt + 120)$$

$$I_3 = \sqrt{2} \cdot I \cdot \text{sen}(wt - 120)$$

Con: $I = I_{\text{efficace}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$

Il campo totale nel punto considerato sarà la somma vettoriale dei campi generati dalle tre correnti. Poiché il campo magnetico è una entità vettoriale, le componenti secondo ciascun asse devono essere calcolate vettorialmente.

Nella figura seguente si riporta un esempio per due conduttori.



Il vettore induzione magnetica è dunque espresso dalla seguente equazione:

$$\vec{B} = \vec{B}_x \cos(\omega t + \theta_x) \cdot \hat{x} + \vec{B}_y \cos(\omega t + \theta_y) \cdot \hat{y} + \vec{B}_z \cos(\omega t + \theta_z) \cdot \hat{z}$$

il modulo di tale vettore è:

$$|\vec{B}| = \sqrt{\{B_x \cos(\omega t + \theta_x)\}^2 + \{B_y \cos(\omega t + \theta_y)\}^2 + B_z \cos(\omega t + \theta_z)\}^2}$$

Con le formule precedenti si calcola il valore istantaneo del campo, per ottenere il valore efficace si calcola il valore per differenti intervalli di tempo nel periodo.

$$B = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} B(t)^2 dt}$$

7.3 CALCOLO DEL CAMPO MAGNETICO

Il procedimento utilizzato si basa sui metodi standardizzati dal comitato Elettrotecnico Italiano (CEI 211-4 2008-09 - Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche)

Per i cavi interrati si è utilizzato un modello bidimensionale visto il carattere rettilineo dei condotti stessi.

I valori massimi delle correnti circolanti nelle diverse parti dell'impianto sono pertanto:

corrente massima 36 kV

847 A

Le assunzioni fatte appaiono abbastanza cautelative in quanto la corrente degli aerogeneratori può ridursi notevolmente in funzione della variabilità delle condizioni di vento nell'arco della giornata (secondo il citato DPCM i limiti del campo sono da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore giornaliere nelle normali condizioni di esercizio).

8 CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO GENERATO DAL CAVIDOTTO 36 KV

8.1 CAVIDOTTO INTERNO AL PARCO

Il campo elettrico generato dal cavidotto a 36 kV ha valori minori di quelli imposto dalla legge.

Questa affermazione deriva dalle seguenti considerazioni:

- I cavi utilizzati sono costituiti da un'anima in alluminio (il conduttore elettrico vero e proprio), da uno strato di isolante+semiconduttore, da uno schermo elettrico in rame, e da una guaina in PVC. Lo schermo elettrico in rame confina il campo elettrico generato nello spazio tra il conduttore e lo schermo stesso.
- Il terreno ha un ulteriore effetto schermante
- Il campo elettrico generato da una installazione a 36 kV è minore di quello generato da una linea, con conduttore non schermato (crudo), a 400 kV, il quale è minore ai limiti imposti dalla legge.

Non si effettua quindi un'analisi puntuale del campo generato ritenendolo trascurabile.

Si considera per il calcolo cavidotto interrato supponendo una unica terna sulla quale passi la piena potenza del parco. In tale terna ipotetica circola una corrente che la più alta che si possa avere in nella rete MT del parco, quindi rappresenta la situazione più sfavorevole dal punto di vista della generazione del campo magnetico. Nei circuiti reali si avranno correnti minori e di conseguenza campi magnetici minori.

Si considera quindi la potenza di $8 \times 6,6 = 52,8$ MW, e una corrente sul singolo conduttore di 847 A alla tensione di 36kV

Nell'analisi si trascura inoltre l'effetto schermante del terreno.

Il valore calcolato, illustrato nei grafici allegati, sarà quindi sicuramente maggiore di quello effettivo.

8.2 CABINA DI CONSEGNA E CAVIDOTTO DI CONSEGNA TRA CABINA UTENTE E STAZIONE RTN

In entrambi i casi andremo ad effettuare le stesse considerazioni fatte per il cavidotto a 36 kV del parco eolico, ossia andando a supporre un'unica terna sulla quale passi la piena potenza del parco. In tale terna ipotetica circola una corrente che la più alta che si possa avere in nella rete MT del parco, quindi rappresenta la situazione più sfavorevole dal punto di vista della generazione del campo magnetico.

Il valore del campo magnetico sarà pertanto uguale al caso precedente.

9 RISULTATI DEI CALCOLI

Solamente nel caso del cavidotto a 36 kV è stato calcolato il campo magnetico e successivamente la relativa DPA, mentre per i trasformatori delle Power Station è stata calcolata direttamente la DPA utilizzando le formule semplificate.

9.1 EMISSIONE CAVIDOTTO PARCO:

Campo Magnetico massimo (al suolo): $16 < 100 \mu\text{T}$

Campo Elettrico: trascurabile

9.2 EMISSIONE CABINA E CAVIDOTTO DI CONSEGNA:

Campo Magnetico massimo (al suolo): $16 < 100 \mu\text{T}$

Campo Elettrico: trascurabile

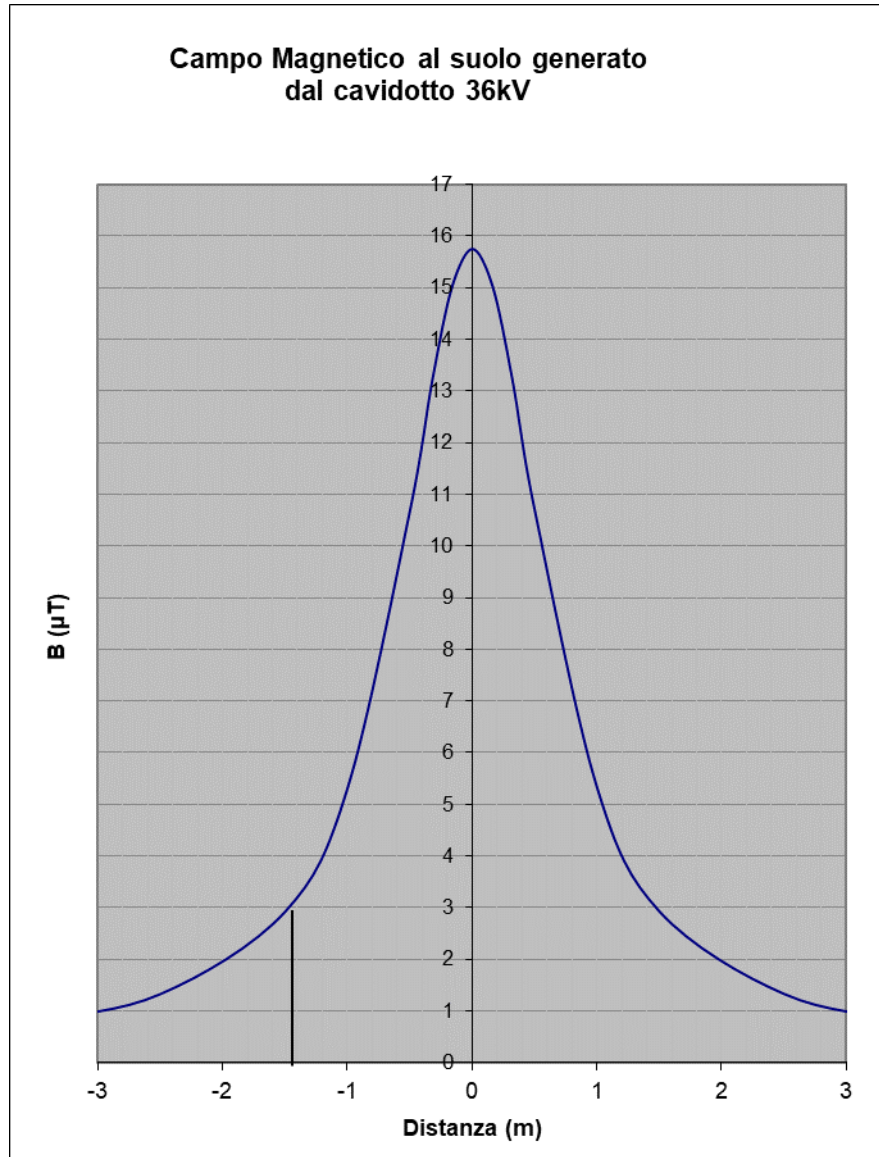
L'installazione soddisfa i limiti di esposizione imposti dalla normativa vigente.

NB: Si noti come a circa 1,5 metri dall'asse del cavidotto a 36 kV del parco si raggiunge l'obiettivo di qualità dei 3 μT .

Nella fascia di rispetto dei 3 μT non risultano punti sensibili così come definiti dal DPCM del 8/07/2003 e vengono pertanto rispettati anche gli obiettivi di qualità oltre che i limiti legislativi;

9.3 GRAFICI

Di seguito vengono riportati i grafici con evidenziata la distanza in cui viene raggiunto l'obiettivo di qualità.



L'obiettivo di qualità dei 3 μT si raggiunge a circa 1,5 m.