



COMUNE DI BADIA TEDALDA

REGIONE  
TOSCANA



REGIONE TOSCANA

COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA - IMPIANTO DENOMINATO "BADIA WIND" UBICATO IN AGRO DEL COMUNE DI BADIA TEDALDA.

**ELABORATO: RELAZIONE IMPATTO ELETTROMAGNETICO**

**COMMITTENTE**  
**SCS INNOVATIONS**  
Via GEN ANTONELLI 3 - MONOPOLI

PROGETTAZIONE



PROGETTAZIONE



PROGETTAZIONE



**REVISIONI**

REV	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
	APRILE 2023		DOTT.FRANCESCO ANTONUCCI	ING.EMANUELE VERDOSCIA	

## Sommario

Oggetto .....	3
Premessa .....	3
1. Quadro Normativo .....	3
2. Campo elettrico.....	5
a. Linee AT .....	5
b. Cavidotti .....	5
3. Campo magnetico .....	5
a. Base teorica generale.....	5
b. Linee in cavo a 36 kV .....	8
a. Determinazione della distanza di prima approssimazione (DPA) .....	14
c. CABINA DI RACCOLTA DELL'IMPIANTO EOLICO .....	14
4. Conclusioni .....	16

## Oggetto

La presente relazione è finalizzata a verificare che i valori di campo elettrico e magnetico generati dai cavidotti del parco eolico “BADIA WIND”, da realizzare nel comune di Badia Tedalda in provincia di Arezzo, siano conformi ai limiti imposti dal quadro normativo di riferimento.

Detto parco eolico sarà composto complessivamente da 9 aerogeneratori, ciascuno della potenza unitaria pari a 6 MW, per una potenza complessiva di 54 MW.

La società proponente è la SCS 09 SOCIETA' A RESPONSABILITA' LIMITATA, con sede in Via Gen. Antonelli, 3, 70043 Monopoli (BA). Gli aerogeneratori saranno collegati tra loro attraverso un cavidotto a 36kV interrato che convoglierà l'energia elettrica prodotta da ciascun aerogeneratore verso la futura realizzazione della Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione a 150/36 kV della RTN denominata “Badia” nella rete di AT di proprietà della società TERNA – Rete Elettrica Nazionale SpA (TERNA).

## Premessa

L'esposizione ai campi elettromagnetici, o radiazioni non ionizzanti, tende sempre a crescere a causa dell'introduzione nell'ambiente di nuove sorgenti artificiali, mentre le radiazioni ionizzanti, al contrario, mantengono un contributo relativamente costante, in quanto legato a fenomeni naturali. Il continuo aumento delle esigenze delle telecomunicazioni ha portato ad un aumento del numero di dispositivi di telefonia cellulare, televisiva e radiofonica installati ormai ovunque. A tale situazione si aggiunge la presenza di linee elettriche utilizzate per il trasporto di energia elettrica.

## 1. Quadro Normativo

La Legge Quadro 22/02/01 n° 36 (LQ 36/01) “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” è la normativa di riferimento che regola, in termini generali, l'intera materia della protezione dai campi elettromagnetici negli ambienti di vita e di lavoro. Il DPCM 08/07/03 “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” (GU n. 200 del 29/08/03) ai sensi della LQ 36/01, art. 4 comma2, fissa i limiti di esposizione per la protezione della popolazione dai campi elettrico e magnetico ed il valore di attenzione e l'obiettivo qualità dell'induzione magnetica generati a 50 Hz dagli elettrodotti:

	CAMPO ELETTRICO [kV/M]	INDUZIONE MANGNETICA [ $\mu$ T]
Limite di esposizione	5	100
Valore di attenzione	-	10
Obiettivo di qualità	-	3

Il limite di esposizione è il valore di campo elettrico e di campo magnetico da non superare in nessuna condizione di esposizione.

Il valore di attenzione per l'induzione magnetica, introdotto come misura di cautela per la protezione dai possibili effetti a lungo termine, si applica alle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere.

L'obiettivo di qualità per l'induzione magnetica, introdotto al fine della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi, si applica 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 4 ore, nonché nella progettazione dei nuovi insediamenti e nelle nuove aree in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti sul territorio.

Le fasce di rispetto degli elettrodotti, previste al par. 5.1.1. della LQ 36/01, devono essere determinate in base all'obiettivo qualità di 3  $\mu$ T in corrispondenza della portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto (art. 6, comma 1, del DPCM 08/07/03) che deve essere dichiarata dal gestore al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV ed alle Regioni per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV.

La portata in corrente in servizio normale è, per le linee aeree con tensione > 100 kV, calcolata ai sensi della norma CEI 11-60, mentre per le linee in cavo è la portata in regime permanente definita dalla norma CEI 11-17.

La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto è stata definita con il DM 29/05/08 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti" (SO n°160 alla GU n°156 del 05/07/08).

Il DPCM 08/07/03 prescrive che il proprietario/gestore comunichi alle autorità competenti l'ampiezza delle fasce di rispetto ed i dati utilizzati per il loro calcolo. Il calcolo dell'induzione magnetica deve essere basato sulle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea nella campata in esame e deve tener conto della presenza di altri elettrodotti che ne modifichino il risultato.

## 2. Campo elettrico

### a. Linee AT

Il campo elettrico prodotto da una linea è proporzionale alla tensione di linea. Considerando che per una linea di 400 kV si ottiene un valore 4 kV/m prossimo al limite di 5 kV/m, quello emesso dalla linea a 36 kV risulta essere molto minore dei limiti di emissione imposti dalla normativa. In particolare il valore tipico associato ad una linea a 36 kV è minore di 1 kV/m.

Per quanto concerne il campo elettrico nelle stazioni elettriche, i valori massimi si presentano in corrispondenza delle uscite delle linee AT con punte di circa 12 kV/m che si riducono a meno di 0,5 kV/m già a circa 20 m di distanza dalla proiezione dell'asse della linea.

### b. Cavidotti

Il campo elettrico generato dal cavidotto MT ha valori minori di quelli imposti 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 (corda), a 400 kV, il quale è minore ai limiti imposti dalla legge.

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

## 3. Campo magnetico

### a. Base teorica generale

Quando una corrente elettrica attraversa un conduttore produce un campo magnetico.

L'induzione magnetica  $B$  in un punto  $P$  prodotta da un conduttore lineare di lunghezza infinita è espressa tramite la legge di Biot e Savart:

$$B = \frac{\mu_0 * I}{2 * \mu_0 * r} [T]$$

Essendo:

- B** induzione magnetica [Tesla = T = Wb /m<sup>2</sup>]
- μ<sub>0</sub>** permeabilità magnetica nel vuoto, pari a 4\*π\*10<sup>-7</sup> H/m
- I** corrente elettrica percorrente il conduttore espressa in Ampere [A]
- r** distanza radiale “r” del punto P dal conduttore[m]

Ne deriva che l’induzione magnetica assume la seguente forma:

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

Per il calcolo dei campi elettromagnetici è stato utilizzato un software il cui algoritmo di calcolo fa uso del seguente modello semplificato:

- tutti i conduttori costituenti la linea sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
- i conduttori sono considerati di forma cilindrica con diametro costante;
- la tensione e la corrente su ciascun conduttore attivo sono considerati in fase tra di loro;
- la distribuzione della carica elettrica sulla superficie dei conduttori è considerata uniforme;
- il suolo è considerato piano e privo di irregolarità, perfettamente conduttore dal punto di vista elettrico, perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico;
- viene trascurata la presenza dei tralicci o piloni di sostegno, degli edifici, della vegetazione e di qualunque altro oggetto si trovi nell’area interessata.

Le condizioni sopraesposte permettono di ridurre il calcolo ad un problema piano, poiché la situazione è esattamente la stessa su qualunque sezione normale della linea, dove con "sezione normale" si intende, qui e nel seguito, quella generata da un piano verticale ortogonale all’asse longitudinale della linea (cioè alla direzione dei conduttori che la costituiscono) passante per il punto dove si vogliono calcolare i campi.

Indicato con P il punto dove si vuole determinare il campo, definiamo sezione normale il piano verticale passante per P e ortogonale ai conduttori. Indichiamo quindi con Q<sub>k</sub> il punto dove il generico conduttore C<sub>k</sub> interseca la sezione normale. L’induzione magnetica B generata da NR conduttori filiformi, numerati da 0 a (NR-1), può essere calcolata con l’espressione seguente:

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \int_{C_k} \frac{i}{r^3} \vec{r} \times d\vec{l}$$

Le ipotesi adottate consentono di eseguire l'integrazione ed ottenere (asse Z nella direzione dei conduttori):

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \frac{i_k \vec{z} \times (Q - P_k)}{|Q - P_k|^2}$$

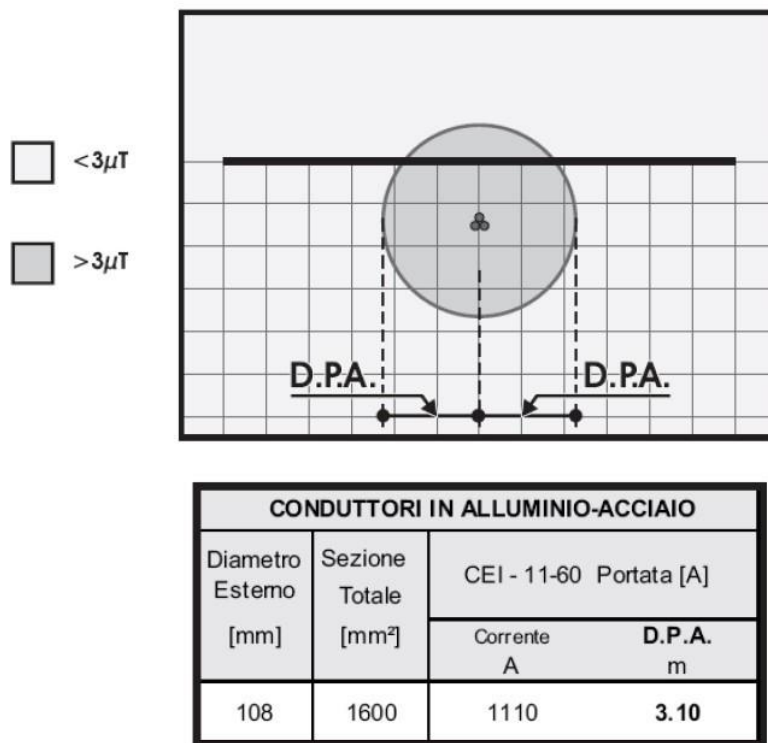
L'architettura della stazione di trasformazione è conforme ai moderni standard di stazioni AT, sia per quanto riguarda le apparecchiature sia per quanto concerne le geometrie dell'impianto.

Per tali impianti sono stati effettuati rilievi sperimentali per la misura dei campi magnetici al suolo nelle diverse condizioni di esercizio con particolare riguardo ai punti ove è possibile il transito di personale (viabilità interna). Per quanto concerne il campo magnetico al suolo, questo risulta massimo sempre in corrispondenza delle uscite delle linee AT.

Così come espresso all'art. 5.2.2 "Stazioni primarie" del DM 29/05/08, si può concludere che le fasce di rispetto di questa tipologia di impianti rientrano nei confini dell'area di pertinenza dei medesimi. Il campo elettromagnetico alla recinzione è sostanzialmente riconducibile ai valori generati dalle linee entranti.

È comunque facoltà dell'Autorità competente richiedere il calcolo, qualora lo ritenga opportuno, delle fasce di rispetto relativamente agli elementi perimetrali (es. portali, sbarre, ecc).

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


**b. Linee in cavo a 36 kV**

Per i tratti di cavidotto all'interno del parco eolico "BADIA WIND", dove:

- sono presenti cavi di minima sezione,
  - le tratte sono per la maggioranza dei casi costituite da singole terne ad elica visibile,
  - le potenze trasportate sono legate al numero di aerogeneratori collegati a monte delle linee,
- si può affermare che già al livello del suolo ed in corrispondenza della verticale del cavo si determina una induzione magnetica inferiore a 3  $\mu\text{T}$  e che pertanto non è necessario stabilire una fascia di rispetto (art. 3.2 DM 29/05/08, art. 7.1.1 CEI 106-11).

Per il calcolo è pertanto stato utilizzato un software (di cui al modello descritto al par. 3.3.1) utilizzando le seguenti assunzioni:

- portata dei cavi in regime permanente (cavi in alluminio): 281 A per la terna da 150 mm<sup>2</sup>, 418 A per la terna da 240 mm<sup>2</sup>, 543 A per la terna da 400 mm<sup>2</sup>, 621 A per la terna da 500 mm<sup>2</sup>, 706 A per la terna da 630 mm<sup>2</sup>;
- disposizione geometrica piana delle terne;
- cavi di una medesima terna a contatto;



- interasse tra le terne pari a 30 cm;
- disposizione delle fasi non ottimizzata (RST – RST – RST);
- profondità di posa pari a 120 cm.

**Caratteristiche tecniche/Technical characteristics**  
**U max: 36 kV**

Formazione Size	Ø indicativo conduttore Approx. conduct. Ø	Spessore medio isolante Average insulation thickness	Ø esterno max Max outer Ø	Peso indicativo cavo Approx. cable weight	Portata di corrente Current rating			
					A			
					in aria In air		interrato* buried*	
n° x mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	kg/km	a trifoglio trefoil	in piano flat	a trifoglio trefoil	in piano flat
1 X 35	7,0	8,0	33,5	1030,0	144,0	152,0	142,0	149,0
1 x 50	8,1	8,0	34,1	1150,0	174,0	183,0	168,0	177,0
1 x 70	9,7	8,0	36,2	1300,0	218,0	229,0	207,0	218,0
1 x 95	11,4	8,0	38,2	1450,0	266,0	280,0	247,0	260,0
1 x 120	12,9	8,0	40,0	1650,0	309,0	325,0	281,0	296,0
1 x 150	14,3	8,0	41,0	1800,0	352,0	371,0	318,0	335,0
1 x 185	16,0	8,0	43,1	2020,0	406,0	427,0	361,0	380,0
1 x 240	18,3	8,0	45,0	2300,0	483,0	508,0	418,0	440,0
1 x 300	21,0	8,0	47,0	2620,0	547,0	576,0	472,0	497,0
1 x 400	23,6	8,0	51,1	3080,0	640,0	674,0	543,0	572,0
1 x 500	26,5	8,0	53,0	3630,0	740,0	779,0	621,0	654,0
1 x 630	30,1	8,0	60,2	4250,0	862,0	907,0	706,0	743,0

\*Resistività termica del terreno 100°C cm/W  
 \* Ground thermal resistivity 100°C cm/W

Si precisa che, i cavi MT ad elica visibile (di tipo pre-cordato) sono esclusi dalla metodologia di calcolo prevista dalla normativa di riferimento. Tuttavia al fine di dare evidenza dei rischi dovuti all'induzione magnetica ed al campo elettrico vengono di seguito esposti i risultati anche per cavi di questa tipologia.

Per la realizzazione dei cavidotti di collegamento, sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettromagnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee in MT interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno; inoltre la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne cosiddette "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo in prossimità dei cavi.

In dettaglio saranno simulati i seguenti tratti di cavidotto alla tensione nominale di **36 kV**:

Id. WTG (tratti)	n° turbine	lunghezza	Ic	Sez. cavo (mmq)	n° terne in
	collegate	linea MT (ml)	(A)		trincea
Da SEZ2 a SSE (S1)	9	980	1500	500	3
Da SEZ1 a SEZ1 (S2)	6	12200	1000	500	2

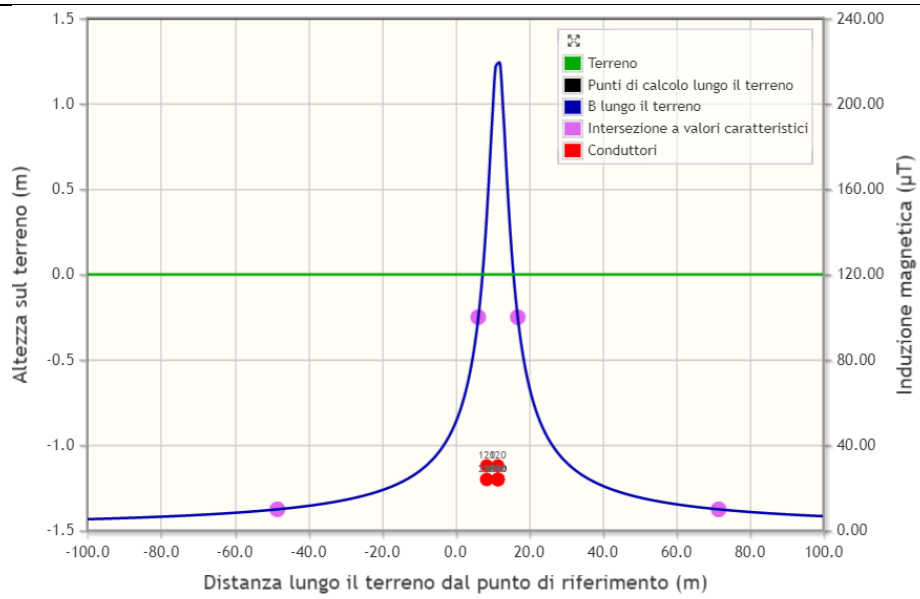
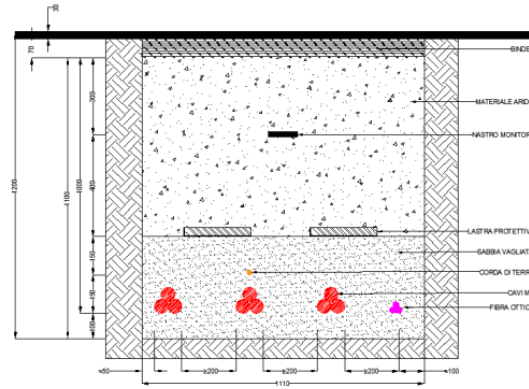
WTG 7-8-9 (S3)	3	4800	500	500	1
WTG 4-5-6 (S3)	3	3660	500	500	1
WTG 1-2-3 (S3)	3	10120	500	500	1

- S1: TRE terne di conduttori disposti a trifoglio di sezione 500 mm<sup>2</sup> percorsa da corrente massima pari a 1500 A ed interrate ad una profondità di 1,20 m
- S2: DUE terne di conduttori disposti a trifoglio di sezione 500 mm<sup>2</sup> percorsa da corrente massima pari a 1000 A per terna ed interrate ad una profondità di 1,20 m;
- S3: una terna di conduttori di sezione 500 mm<sup>2</sup> disposti a trifoglio, percorse da corrente massima pari a 500 A ed interrata ad una profondità di 1,2 m

I valori del campo magnetico sono stati misurati ad altezza conduttori, al suolo e ad 1,20 m dal suolo. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori e l'andamento del campo magnetico su di un asse ortogonale all'asse dei conduttori.

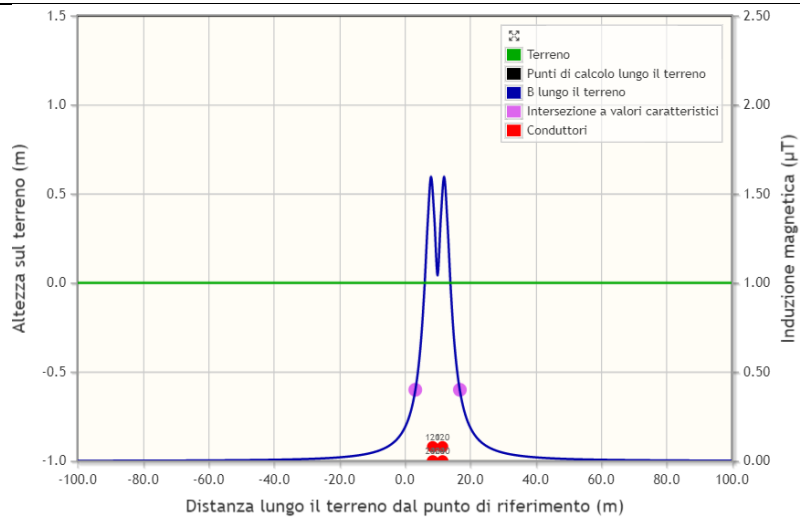
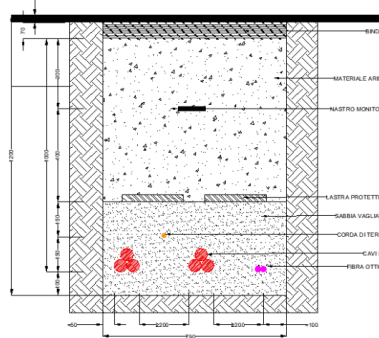
S1: TRE terne di conduttori disposti a trifoglio di sezione  $500 \text{ mm}^2$  percorsa da corrente massima pari a 1500 A ed interrate ad una profondità di 1,20 m

TRINCEA SU STRADA ASFALTATA TIPO - 3 CIRCUITI



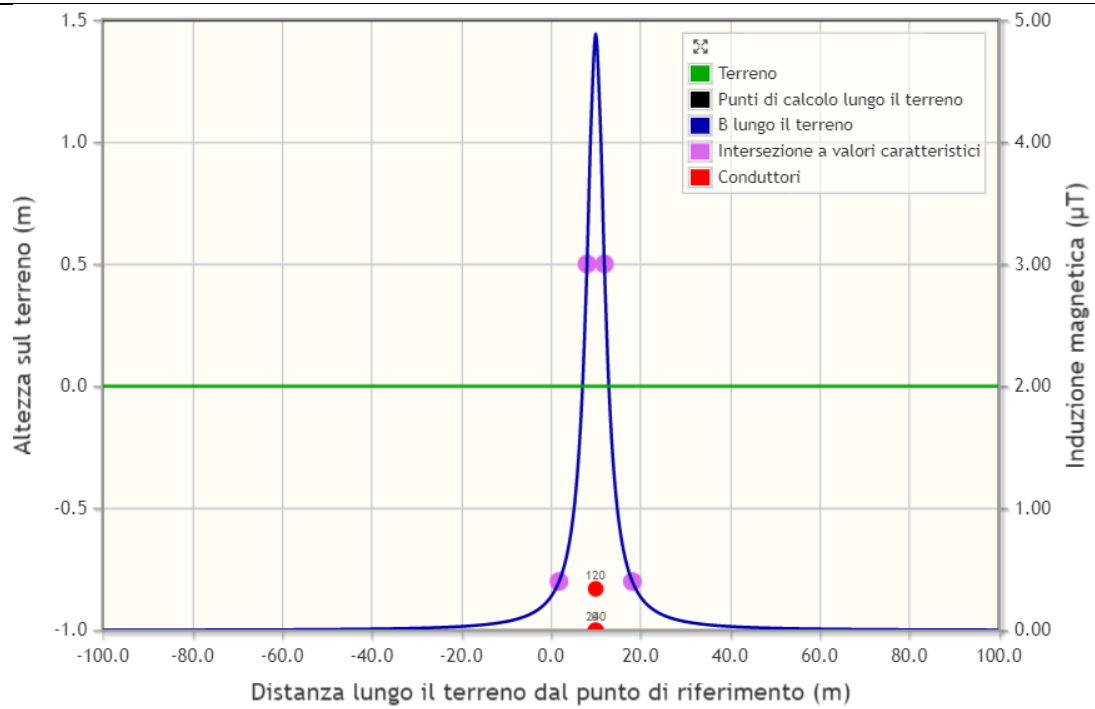
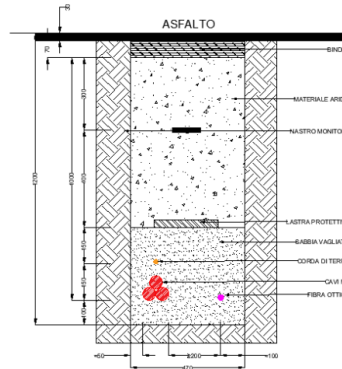
S2: due terne di conduttori disposti a trifoglio di sezione 500 mm<sup>2</sup> percorsa da corrente massima pari a 500 A per terna ed interrata ad una profondità di 1,20 m;

TRINCEA SU STRADA ASFALTATA - 2 CIRCUITI



S3: una terna di conduttori di sezione 500 mm<sup>2</sup> disposti a trifoglio, percorse da corrente massima pari a 500 A ed interrata ad una profondità di 1,2 m

TRINCEA SU STRADA ASFALTATA - 1 CIRCUITO



#### a. Determinazione della distanza di prima approssimazione (DPA)

Il calcolo della DPA per i cavidotti di collegamento in MT simulati si traduce graficamente nell'individuazione di una distanza che ha origine dal punto di proiezione dall'asse del cavidotto al suolo e ha termine in un punto individuato sul suolo il cui valore del campo magnetico risulta essere uguale o inferiore ai 3  $\mu$ T. Si riportano nella seguente tabella le distanze di prima approssimazione per i tratti di cavidotto presi in esame:

CASO STUDI O	N.TERN E	SEZIONI	TIPOLOGI A CAVO	TENSION E	DP A
S1	3	3x(3x1x50 0)	Posa a trifoglio	30	2
S2	2	2x(3x1x50 0)	Posa a trifoglio	30	2
S3	1	3x1x500	Posa a trifoglio	30	1

Le DPA sono state calcolate con una approssimazione non superiore al metro così come indicato nel paragrafo 5.1.2 della guida allegata al DM del 29/05/2008.

#### c. CABINA DI RACCOLTA DELL'IMPIANTO EOLICO

Il calcolo del campo elettrico e magnetico per la cabina di raccolta dell'impianto, è stato effettuato sulle sbarre a 36 kV dei quadri in MT. I parametri geometrici utilizzati per il calcolo risultano i seguenti:

- Altezza delle sbarre: 1.60 m;
- Distanza tra le sbarre: 0.3 m;

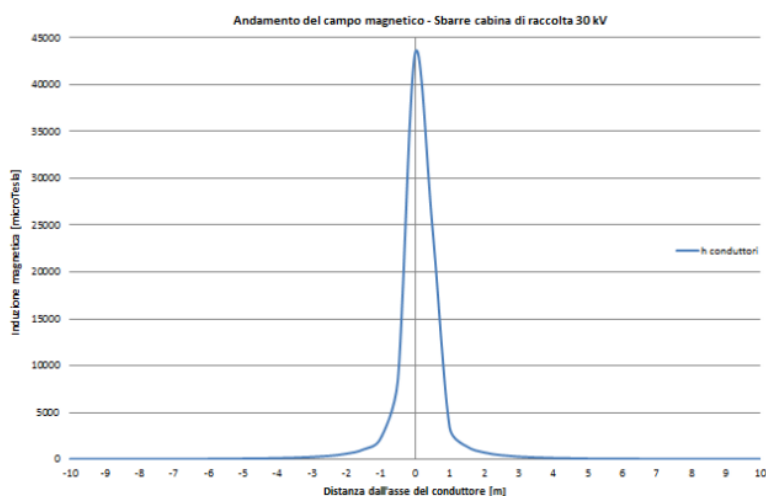
I parametri elettrici riportati nel software risultano, invece, i seguenti:

- Valore massimo della corrente che può transitare sulle sbarre a piena potenza alla tensione 36 kV: 660 A;
- Valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 17341 V;

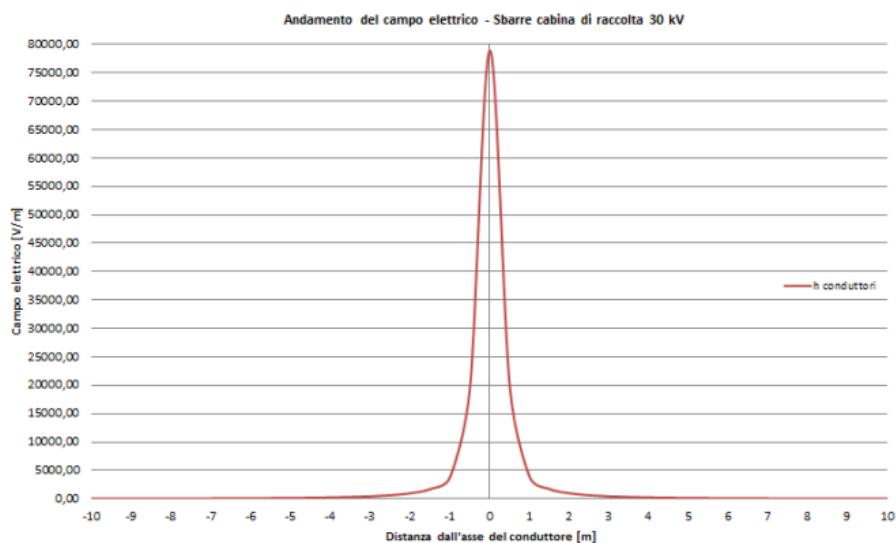
A favore della sicurezza, i valori di corrente utilizzati nella simulazione di calcolo sono quelli relativi alle

correnti termiche nominali delle sbarre a 36 kV.

I valori di campo magnetico sono stati calcolati ad altezza conduttori, più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse delle sbarre e su di un asse ortogonale alle stesse.



Distanza dall'asse [m]	Valori di campo magnetico [ $\mu T$ ]
	Altezza conduttori
-10,00	0,88
-9,00	1,09
-8,00	1,38
-7,00	1,81
-6,00	2,46
-5,00	3,55
-4,00	5,55
-3,00	9,92
-2,00	22,62
-1,00	97,22
0,00	1766,69
1,00	97,22
2,00	22,62
3,00	9,92
4,00	5,55
5,00	3,55
6,00	2,46
7,00	1,81
8,00	1,38
9,00	1,09
10,00	0,88



Come si evince dalla simulazione del calcolo i valori di campo magnetico ad altezza conduttori restano al di sotto dei 3  $\mu\text{T}$  ad una distanza di circa 6 m dal muro perimetrale della cabina. Tale valore di induzione magnetica è indicato nel DPCM 08/07/2003 come obiettivo di qualità previsto per le aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi, negli ambienti scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 ore al giorno.

#### 4. Conclusioni

Per quanto illustrato precedentemente si può affermare che l'installazione del cavidotto MT nonché la realizzazione della Stazione Elettrica di Trasformazione con relativo raccordo in AT non generano, ad altezze dalla superficie del terreno prossime a 1,5÷2 m, emissioni al di sopra dei limiti imposti per legge; ciò equivale a dire che qualsiasi punto sensibile, inteso come abitazione, zona di transito per le persone che sia situata a distanze ridotte dal cavidotto e dalla sottostazione è escluso dall'esposizione di campi elettromagnetici superiori ai limiti di legge.

In particolare dagli studi riportati nella presente relazione emerge che:

1. per punti prossimi al cavidotto (2 metri) il campo magnetico è già inferiore ai 100  $\mu\text{T}$  imposti dalla legge.
2. lo stesso dicasi per il campo elettrico, in tal caso data la tensione ridotta (36 kV) il campo elettrico generato dal cavo è trascurabile già sulla superficie del terreno al di sopra del cavo.
3. per quel che riguarda il campo magnetico generato dalla sottostazione, anche qui si registrano, in prossimità della stazione valori ancora più ridotti di quelli generati dal cavidotto (ciò a causa della ridotta corrente che interessa il sistema in AT). Ad esempio a 20 metri dall'asse della terna in alta tensione il campo magnetico risulta pari a 1  $\mu\text{T}$ , contro i 100  $\mu\text{T}$  imposti dalla legge.

In conclusione con riferimento al sito di "BADIA WIND", in cui i punti sensibili (abitazioni, strade



densamente frequentate, ecc.) sono a distanza dell'ordine delle centinaia di metri dalle apparecchiature elettriche installate, si può affermare che tali punti sensibili risultano esposti a campi elettromagnetici nettamente inferiori ai valori limiti imposti dalla legge ai sensi del DPCM del 08/07/2003.

Carmiano, 22/04/2023	Ing. Emanuele Verdoscia
	