



REGIONE
PUGLIA

AUTORIZZAZIONE UNICA AI SENSI DEL d.lgs. 29/12/2003 N. 387 RELATIVA ALLA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA - IMPIANTO DENOMINATO "SAN PANCRAZIO WIND" UBICATO NEI COMUNI DI SAN PANCRAZIO SALENTINO - MESAGNE - TORRE SANTA SUSANNA.

ELABORATO: Relazione di impatto elettromagnetico

PROGETTAZIONE



Ing. Emanuele Verdoscia
Iscritto all'ordine ingegneri
provincia Lecce al n.2825
Classe industriale



REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
01	SET 2021	Relazione di impatto elettromagnetico	Ing. Emanuele Verdoscia		

Sommario

1. OGGETTO	2
2. PREMESSA	2
3. QUADRO NORMATIVO	2
4. CAMPO ELETTRICO	4
a. Linee AT e stazione MT/AT	4
b. Cavidotti	4
5. CAMPO MAGNETICO	4
a. Base teorica generale	4
b. Linea in cavo a 150 kV	6
a. Linee in cavo a 30 kV	7
a. Determinazione della distanza di prima approssimazione (DPA)	14
b. CABINA DI RACCOLTA DELL'IMPIANTO EOLICO	14
c. Sottostazione	17
d. LINEA IN CAVO INTERRATO IN AT	21
e. Aerogeneratore	22
f. Cabine elettriche interne all'aerogeneratore	22
6. Conclusioni	24

1. OGGETTO

La presente relazione è finalizzata a verificare che i valori di campo elettrico e magnetico generati dai cavidotti e dalla stazione elettrica di trasformazione MT/AT del parco eolico “SAN PANCRAZIO WIND”, da realizzare nel comune di San Pancrazio-Torre Santa Susanna - Mesagne in provincia di Brindisi, 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.

Gli aerogeneratori saranno collegati tra loro attraverso un cavidotto a 30 kV interrato che convoglierà l'energia elettrica prodotta da ciascun aerogeneratore verso una sottostazione di trasformazione 30/150 kV che consegnerà l'energia prodotta dal parco eolico (PE) nella rete di AT di proprietà della società TERNA – Rete Elettrica Nazionale SpA (TERNA).

La connessione alla rete AT avverrà per mezzo di un collegamento in antenna su un futuro ampliamento della Stazione Elettrica di Trasformazione (SE) a 380/150 kV denominata “ERCHIE”, di proprietà di TERNA.

2. 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.

3. 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 magnetica [μ 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 μ 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.

4. CAMPO ELETTRICO

a. Linee AT e stazione MT/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 150 kV e dalle sbarre a 30 kV risulta essere molto minore dei limiti di emissione imposti dalla normativa. In particolare il valore tipico associato ad una linea a 150 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 30 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.

5. 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:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \mu_0 \cdot r} \quad [\text{T}]$$

Essendo:

B induzione magnetica [Tesla = T = Wb / m²]

μ_0 permeabilità magnetica nel vuoto, pari a $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ 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:

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

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_k il punto dove il generico conduttore C_k 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.

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

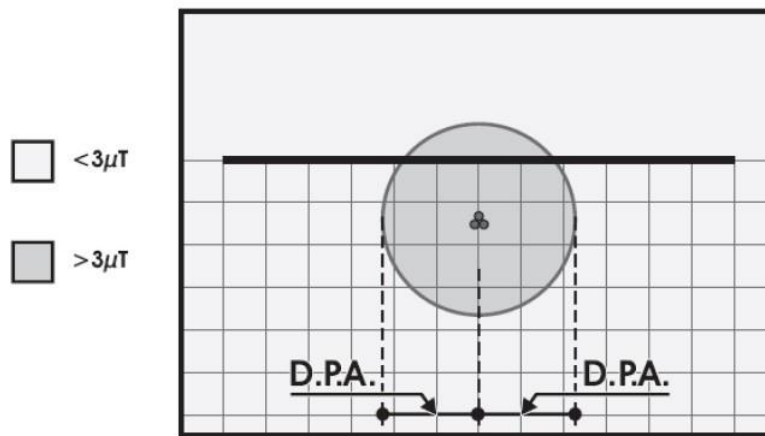
b. Linea in cavo a 150 kV

La linea di connessione in cavo a 150 kV è costituita da una semplice terna di cavi interrati disposti a trifoglio. Essendo:

- I=1110 A (CEI 11-60),
- S = 630 mm²,
- d = 108 mm;

si ottiene: **R'=Dpa=3,1 m**

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



CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO			
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm ²]	CEI - 11-60 Portata [A]	
		Corrente A	D.P.A. m
108	1600	1110	3.10

a. Linee in cavo a 30 kV

Per i tratti di cavidotto all'interno del parco eolico "SAN PANRAZIO 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 $3 \mu T$ 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).

Non è possibile affermare lo stesso per il tratto di collegamento tra il parco eolico e la stazione di trasformazione MT/AT, costituito da un cavidotto composto da n°3 terne.

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): 330 A per la terna da 150 mm², 435 A per la terna da 240 mm², 560 A per la terna da 400 mm², 735 A per la terna

da 630 mm²;

- 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.

Sezione conduttore	Diametro conduttore	Spessore isolante	Diametro cavo	Portata al limite termico
[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
3x1x95	11,4	8	34,6	212
3x1x185	15,8	8	41,4	364
3x1x300	20,8	8	47,4	475
3x1x400	23,8	8	50,7	543

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.

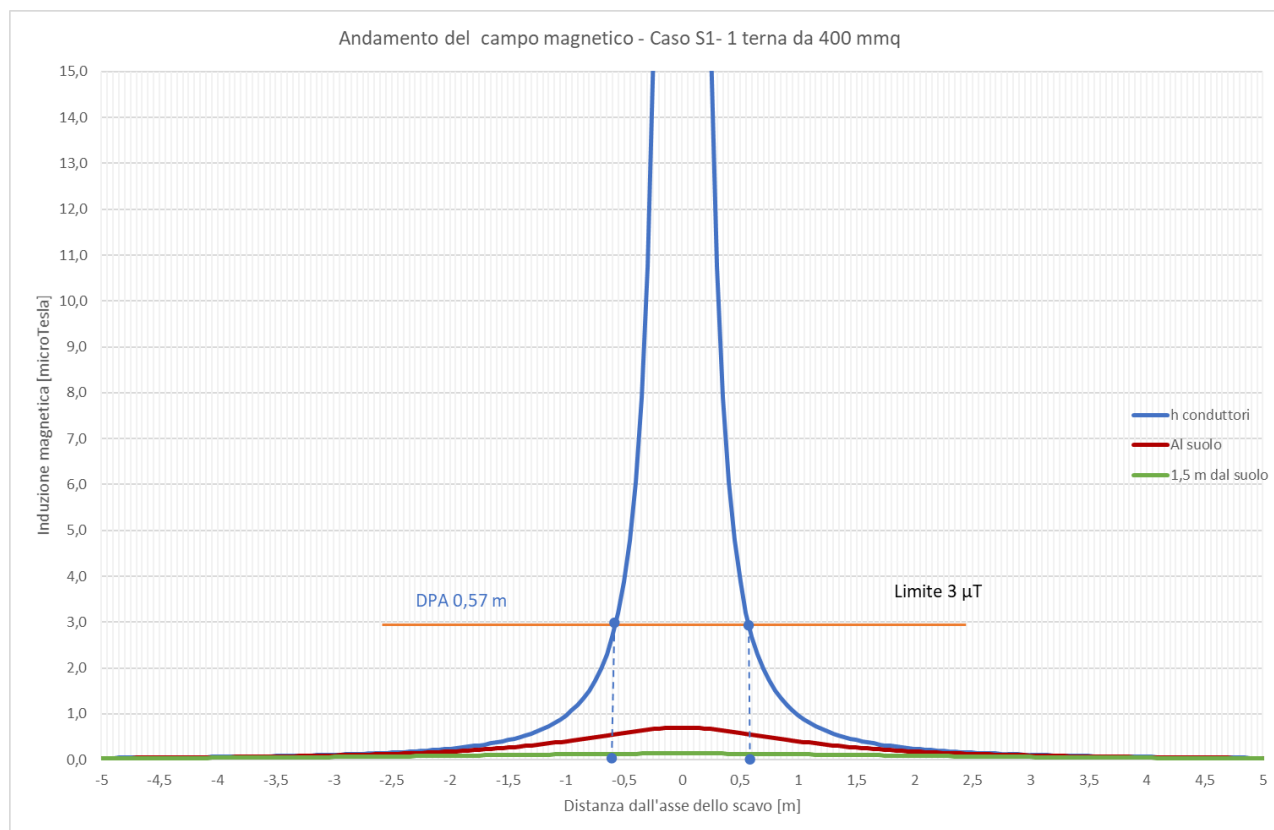
Per la realizzazione dei cavidotti di collegamento, sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettromagnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee in MT interrate permette di eliminare la componente elettrica 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 30 kV:

Casi di studio	N. di terne	Portata in servizio nominale	Sezione conduttore	Diametro conduttore	Spessore isolante	Diametro cavo	Portata al limite termico del cavo ⁽¹⁾
	N.	[A]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
S1	1	121,5	3x1x400	23,8	7,0	46	433
S2	2	364,6	3x1x630	30,5	7,5	54	562
		364,6	3x1x630	30,5	7,5	54	562
S3	3	243,1	3x1x630	30,5	7,5	54	562
		364,6	3x1x630	30,5	7,5	54	562
		121,5	3x1x400	23,8	7,0	46	433

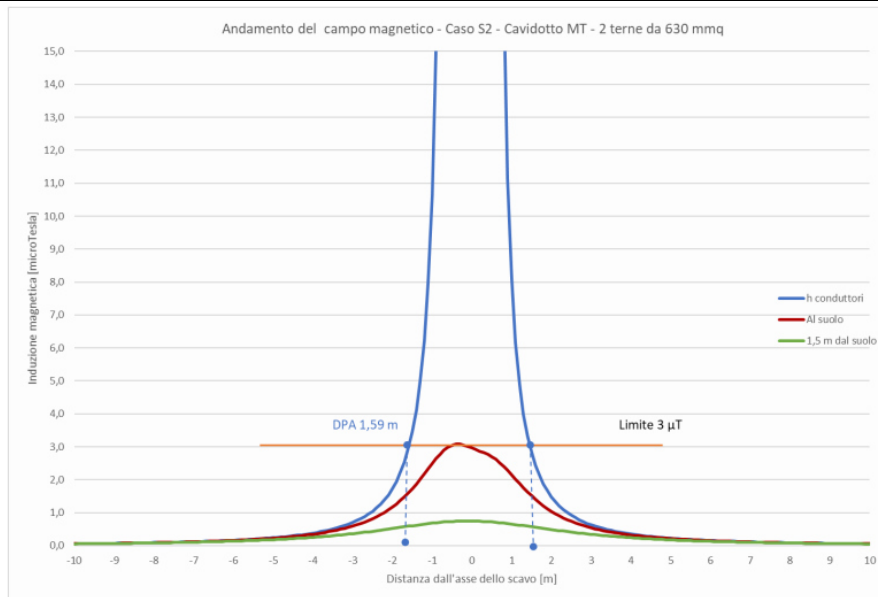
I valori del campo magnetico sono stati misurati ad altezza conduttori, al suolo e ad 1,20 m dal suolo. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori e l'andamento del campo magnetico su di un asse ortogonale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

S1: una terna di conduttori disposti a trifoglio di sezione 400 mm² percorsa da corrente massima pari a 121.5 A ed interrata ad una profondità di 1,20 m



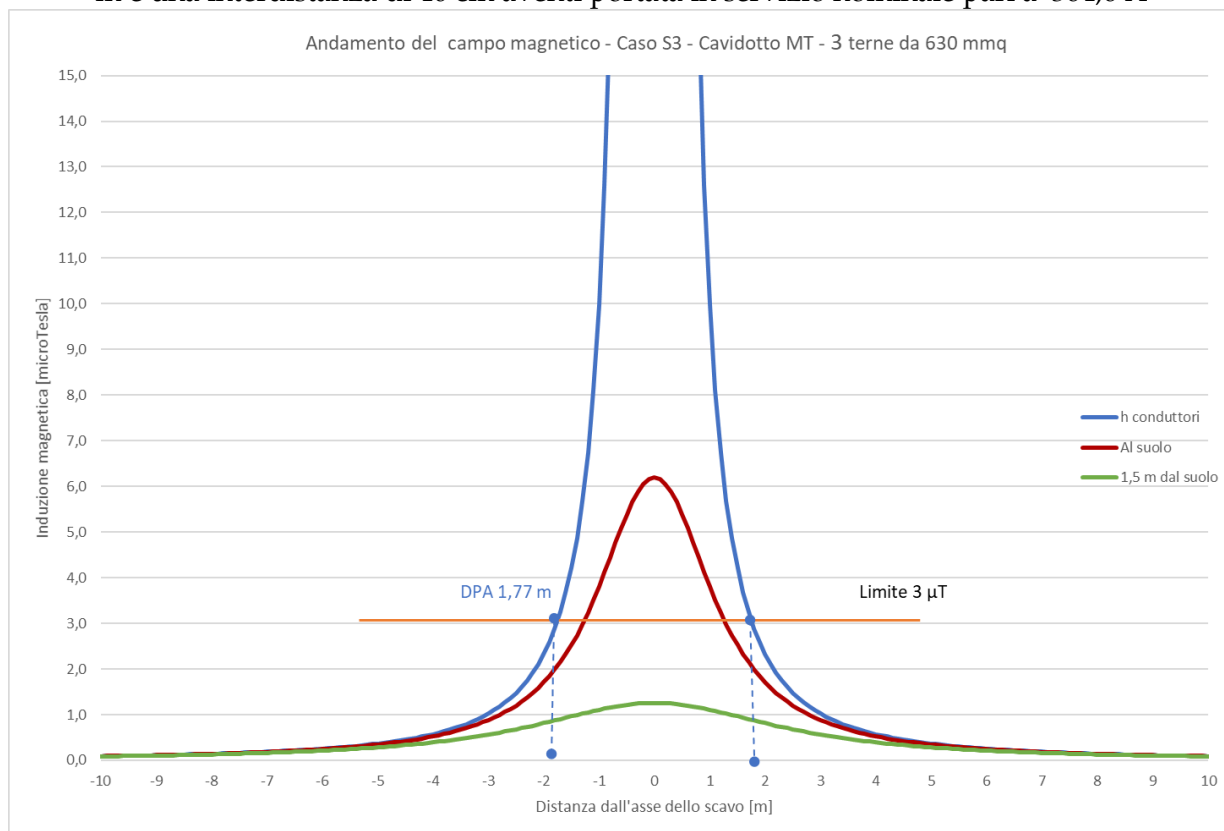
Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μ T]	Al suolo [μ T]	A 1,5 m dal suolo [μ T]
-5	0,039	0,037	0,030
-4,5	0,048	0,045	0,035
-4	0,061	0,056	0,042
-3,5	0,079	0,071	0,050
-3	0,108	0,093	0,060
-2,5	0,155	0,127	0,072
-2	0,242	0,180	0,087
-1,5	0,430	0,266	0,103
-1	0,968	0,406	0,119
-0,5	3,872	0,592	0,131
0	914,975	0,699	0,135
0,5	3,872	0,592	0,131
1	0,968	0,406	0,119
1,5	0,430	0,266	0,103
2	0,242	0,180	0,087
2,5	0,155	0,127	0,072
3	0,108	0,093	0,060

S2 - due terne di conduttori disposti a trifoglio di sezione pari a 630 mm² interrate ad una profondità di 1,20 m, interdistanza di 40 cm e portata in servizio nominale di 364,6 A



Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Al suolo [μT]	A 1,5 m dal suolo [μT]
-10	0,058	0,057	0,054
-9	0,072	0,071	0,066
-8	0,091	0,089	0,082
-7	0,120	0,116	0,104
-6	0,164	0,158	0,136
-5	0,239	0,226	0,183
-4	0,381	0,347	0,255
-3	0,702	0,593	0,364
-2	1,728	1,171	0,519
-1	10,634	2,488	0,683
0	35,242	2,966	0,746
1	8,068	2,153	0,655
2	1,482	1,040	0,490
3	0,632	0,541	0,343
4	0,352	0,323	0,241
5	0,225	0,213	0,174
6	0,156	0,150	0,130
7	0,115	0,111	0,100
8	0,088	0,086	0,079
9	0,069	0,068	0,064
10	0,056	0,055	0,053

S3 - tre terne di conduttori disposti a trifoglio di sezione 630 mm² interrate ad una profondità di 1,20 m e una interdistanza di 40 cm aventi portata in servizio nominale pari a 364,6 A



Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Al suolo [μT]	A 1,5 m dal suolo [μT]
-10	0,091	0,090	0,085
-9	0,112	0,111	0,103
-8	0,142	0,139	0,128
-7	0,186	0,181	0,162
-6	0,253	0,244	0,211
-5	0,365	0,346	0,284
-4	0,572	0,526	0,394
-3	1,021	0,883	0,564
-2	2,327	1,707	0,815
-1	9,977	3,806	1,108
0	1398,825	6,200	1,258
1	9,979	3,807	1,108
2	2,328	1,707	0,815
3	1,022	0,883	0,564
4	0,572	0,526	0,394
5	0,365	0,346	0,284

6	0,253	0,244	0,211
7	0,186	0,181	0,162
8	0,142	0,139	0,128
9	0,112	0,111	0,103
10	0,091	0,090	0,085

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 $3 \mu\text{T}$. Si riportano nella seguente tabella le distanze di prima approssimazione per i tratti di cavidotto presi in esame:

CASO DI STUDIO	N° TERNE	SEZIONI [mm ²]	TIPOLOGIA CAVO	TENSIONE [kV]	DPA [m]
S1	1	3x1x400	ARE4H5E	30	1
S2	2	3x1x630	ARE4H5E	30	2
		3x1x630	ARE4H5E	30	
S3	3	3x1x630	ARE4H5E	30	2
		3x1x630	ARE4H5E	30	
		3x1x630	ARE4H5E	30	

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.

b. 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 30 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;

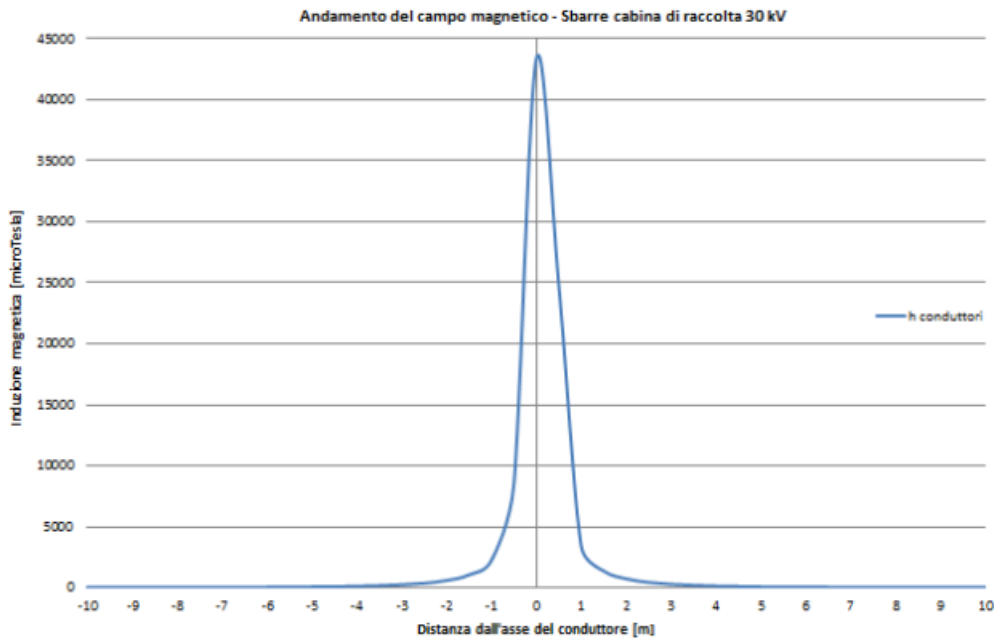
I parametri elettrici riportati nel software risultano, invece, i seguenti:

- Valore massimo della corrente che può transitare sulle sbarre a piena potenza alla tensione 30 kV: 660 A;
- Valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 17341 V;

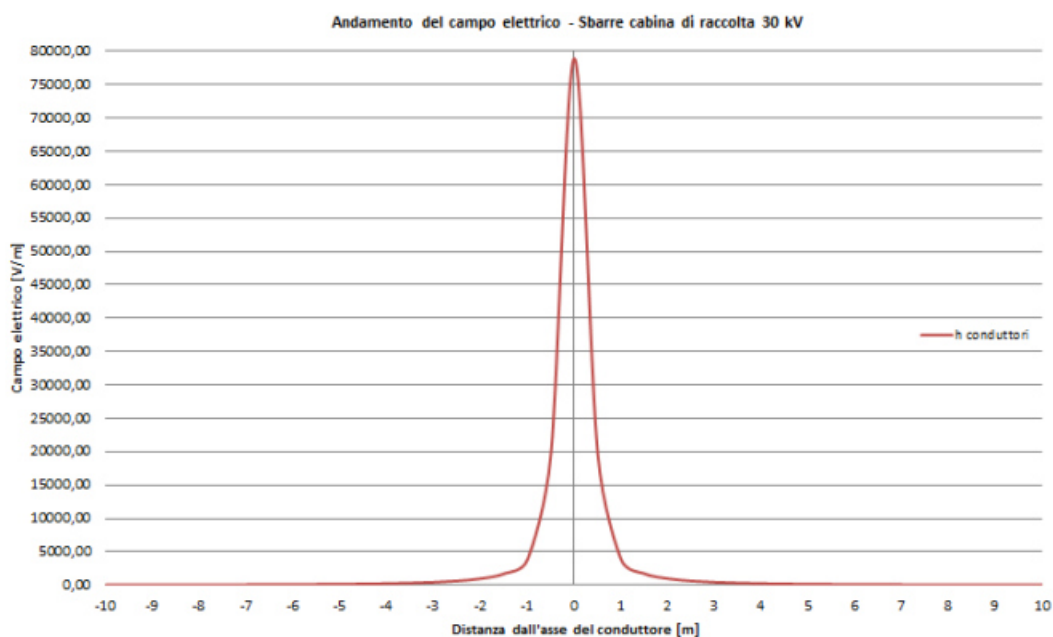
A favore della sicurezza, i valori di corrente utilizzati nella simulazione di calcolo sono quelli relativi alle

correnti termiche nominali delle sbarre a 30 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.



<i>Distanza dall'asse [m]</i>	<i>Valori di campo magnetico [μT]</i>
	<i>Altezza conduttori</i>
-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



<i>Distanza dall'asse [m]</i>	<i>Valori di campo elettrico [V/m]</i>
	<i>Altezza conduttori</i>
0,00	78830,00
0,50	19967,70
1,00	3841,60
1,50	1712,70
2,00	982,00
2,50	632,00
3,00	435,00
3,50	313,20
4,00	233,30
4,50	178,60
5,00	140,00
5,50	112,00
6,00	91,10
6,50	75,30
7,00	63,00
7,50	53,40
8,00	45,80
8,50	39,60
9,00	34,60
9,50	30,40
10,00	26,90

Come si evince dalla simulazione del calcolo i valori di campo magnetico ad altezza conduttori restano al di sotto dei 3 μ 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.

c. Sottostazione

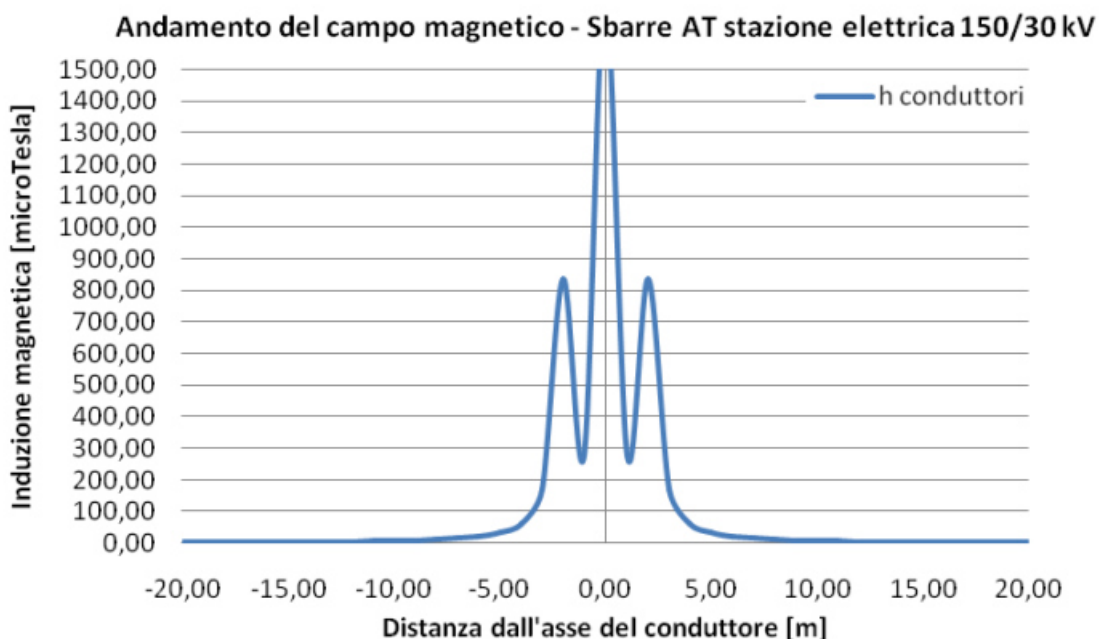
Il calcolo del campo elettrico e magnetico per una stazione elettrica 30/150 kV è stato effettuato sulle sbarre a 150 kV all'interno dell'area di stazione e sulle sbarre a 30 kV dei quadri in MT localizzati anch'essi all'interno della recinzione della stazione.

I parametri geometrici ed elettrici utilizzati per il calcolo sulle sbarre a 150 kV risultano i seguenti:

- Altezza delle sbarre: 7 m;
- Distanza tra le sbarre: 2.2 m;
- Valore efficace della corrente delle sbarre: 870 A;
- Valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 86705 V

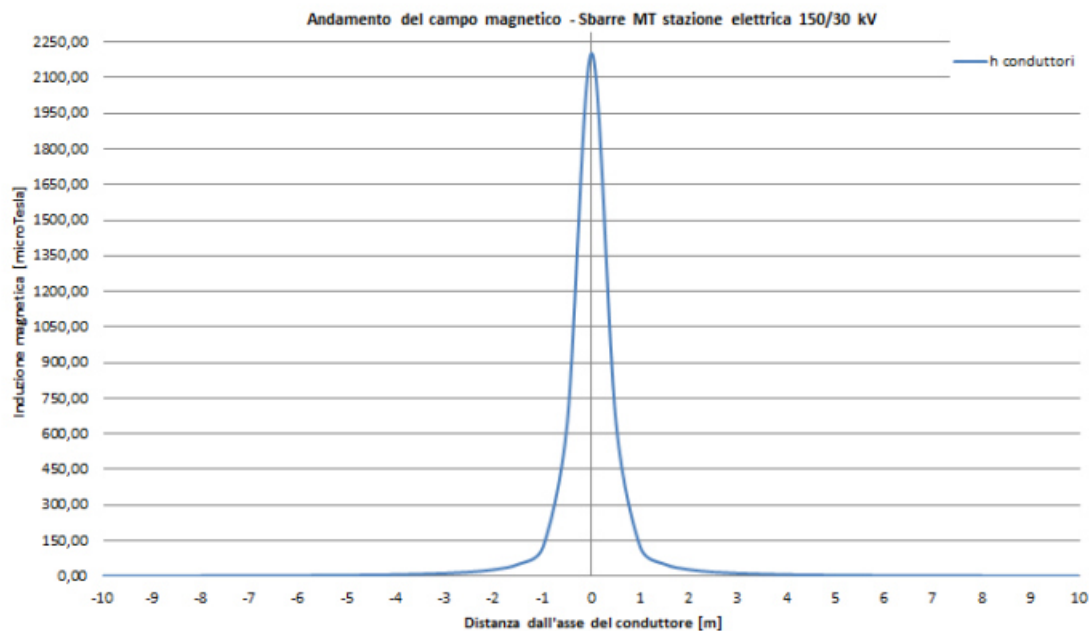
I parametri geometrici ed elettrici utilizzati per il calcolo sulle sbarre a 30 kV risultano, invece, i seguenti:

- Altezza delle sbarre: 1.6 m;
- Distanza tra le sbarre: 0.37 m;
- Valore efficace della corrente delle sbarre: 1250 A;
- Valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 17341 V



Valutazione Distanza di prima approssimazione

<i>Distanza dai cavi [m]</i>	<i>Altezza conduttori [μT]</i>	<i>Distanza dai cavi [m]</i>	<i>Altezza conduttori [μT]</i>
-20	1,68	1	277,17
-19	1,87	2	835,8
-18	2,08	3	171,7
-17	2,34	4	62,23
-16	2,65	5	33,91
-15	2,96	6	21,74
-14	3,48	7	15,26
-13	4,06	8	11,35
-12	4,79	9	8,79
-11	5,75	10	7,02
-10	7,02	11	5,75
-9	8,79	12	4,79
-8	11,35	13	4,06
-7	15,26	14	3,48
-6	21,74	15	2,96
-5	33,91	16	2,65
-4	62,23	17	2,34
-3	171,7	18	2,08
-2	835,8	19	1,87
-1	277,17	20	1,68
0	1741,79		



Distanza dall'asse [m]	Valori di campo magnetico [μ T]
	Altezza conduttori
-10,00	1,10
-9,00	1,36
-8,00	1,72
-7,00	2,25
-6,00	3,07
-5,00	4,42
-4,00	6,93
-3,00	12,37
-2,00	28,20
-1,00	121,25
0,00	2203,17
1,00	121,25
2,00	28,20
3,00	12,37
4,00	6,93
5,00	4,42
6,00	3,07
7,00	2,25
8,00	1,72
9,00	1,36
10,00	1,10

Come si evince dalla simulazione del calcolo e dalle relative tabelle, sia i valori di campo magnetico ad altezza conduttori sia quelli ad 1 m dal suolo restano al di sotto dei 3 μ T ad una distanza di circa 15 m dall'asse delle sbarre in AT e 7 m circa dal confine della cabina MT della stazione 30/150 kV.

Le sbarre AT sono assimilabili ad una linea aerea trifase 150 kV, con conduttori posti in piano ad una distanza reciproca di 2,2 m, ad un'altezza di circa 4,5 m dal suolo, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate.

Nel caso in esame abbiamo:

- S (distanza tra i conduttori)= 2,2 m
- P_n = Potenza massima dell'impianto (54 MW)
- V_n = Tensione nominale delle sbarre AT (150 kV)

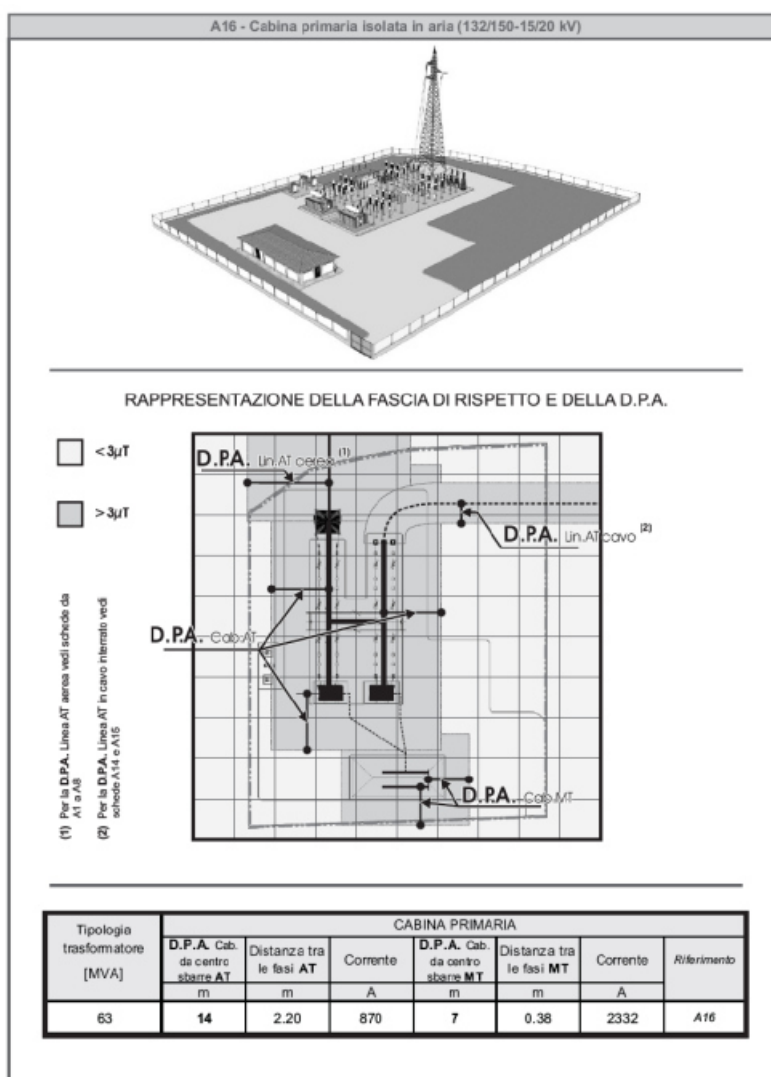
Pertanto si avrà

$$I = \frac{P_n}{(V_n \times 1,73 \times \cos\phi)} = 147,72A$$

ed utilizzando la formula di approssimazione proposta al paragrafo 6.2.1 della norma CEI 106-11, si avrà:

$$R' = 0,34 \times \sqrt{2,2 \times 147,72} = 6,13 \text{ m}$$

Si può quindi affermare che l'impatto elettromagnetico su persone prodotto dalla realizzazione della cabina di trasformazione è trascurabile in quanto la fascia di rispetto rientra nei confini dell'area di pertinenza della cabina di trasformazione in progetto come previsto dal Decreto 29 maggio 2008 la Distanza di Prima Approssimazione (Dpa), inoltre all'interno dell'area della sottostazione non è prevista la permanenza di persone per periodi continuativi superiori a 4 ore con l'impianto in tensione.



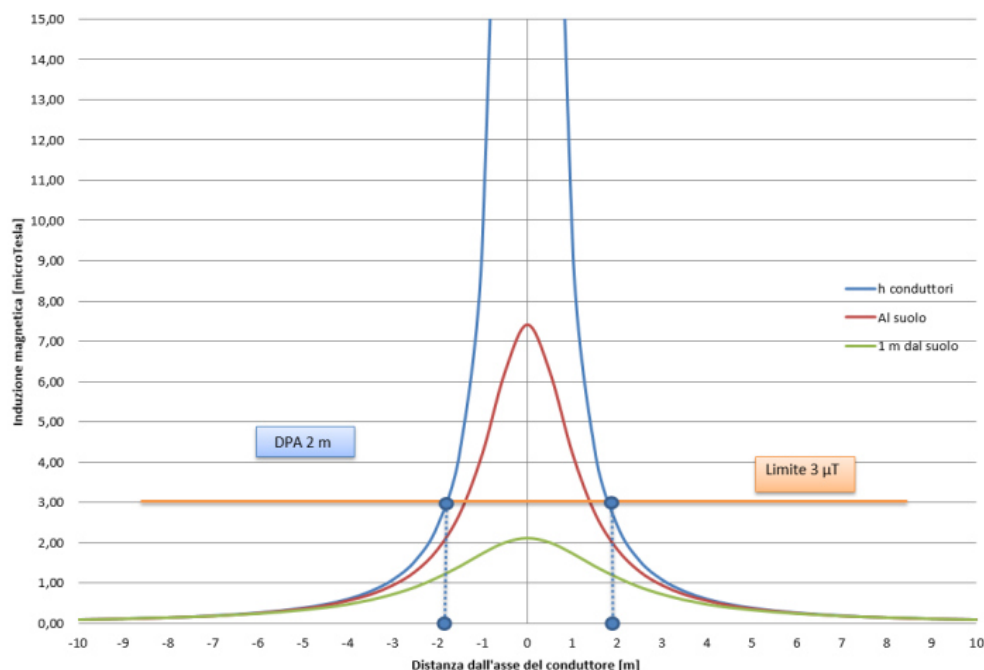
d. LINEA IN CAVO INTERRATO IN AT

Per la realizzazione del cavidotto di collegamento in AT tra la stazione elettrica di utenza 30/150 kV e la stazione elettrica 30/150 kV ATS Energia PE Sant'Agata S.r.l. saranno considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettrici e magnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee in AT interrato permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno. Nel caso in questione, lo studio del campo magnetico è stato effettuato, alla tensione nominale di 150 kV, sul seguente tratto di cavidotto così costituito:

- S1: una terna di conduttori di sezione 400 mm² percorsa da corrente massima pari a 455 A;

I valori del campo magnetico sono stati misurati ad altezza conduttori, al suolo e ad 1 m dal suolo.

Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano, per ognuna delle situazioni richiamate, 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.



Il calcolo della DPA per il cavidotto di collegamento in AT simulato si traduce anch'esso 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 µT.

e. Aerogeneratore

L'aerogeneratore è costituito da un supporto metallico continuo (torre tubolare), a seconda dei casi appoggiata su una base tubolare realizzata in cemento armato precompresso prefabbricato o in metallo, alla cui estremità superiore è installata la "navicella", ossia il sistema di conversione dell'energia eolica in energia elettrica, costituito da:

- pale in materiale non metallico;
- albero di trasmissione;
- moltiplicatore di giri;
- generatore elettrico.

Il generatore elettrico è il più significativo componente che può indurre campi elettromagnetici.

Dato il basso valore della tensione in uscita dal generatore (0.69 kV) l'entità del campo elettrico è trascurabile mentre il campo magnetico può assumere valori di interesse esclusivamente nelle immediate vicinanze del generatore all'interno della navicella che è situata a circa 99 metri di altezza dal suolo.

Attorno alla navicella non sono presenti significativi campi elettromagnetici poiché nei moderni aerogeneratori i componenti meccanici e l'involucro esterno della navicella non sono più realizzati con materiali metallici, come accadeva nei primi aerogeneratori.

Anche gli aerogeneratori – alla pari di qualsiasi altro ostacolo (naturale o antropico) - possono influenzare la propagazione di un campo elettromagnetico, quale quello delle onde radiotelevisive e delle telecomunicazioni. Gli effetti sono quelli di un'alterazione della qualità del collegamento, in termini di segnale-disturbo, e della forma del segnale ricevuto con eventuale alterazione dell'informazione.

Per quanto riguarda invece i collegamenti radio-televisivi, è necessario che gli aerogeneratori siano collocati fuori dal cono di trasmissione, soprattutto per comunicazioni con forte direzionalità; in particolare le interferenze degli aerogeneratori possono essere imputabili alla generazione di un locale campo magnetico dovuto al moto delle pale metalliche che interagisce con il campo magnetico delle onde radio-televisive. Tali interferenze sono state minimizzate con l'utilizzo di pale in materiale non metallico (p.e. vetroresina).

Comunque sia, il presente progetto sarà inoltrato all'Ispettorato Territoriale del Ministero delle Comunicazioni ed agli uffici militari competenti in materia di disturbo alle comunicazioni militari per una valutazione delle possibili interferenze elettriche.

f. Cabine elettriche interne all'aerogeneratore

Ogni aerogeneratore è dotato di una cabina elettrica (cabina di macchina) interna. Nei moderni aerogeneratori multimegawatt si possono riscontrare due diverse dislocazioni degli apparati elettrici di media tensione:

- il trasformatore BT/MT è ubicato nella navicella mentre i quadri a MT di protezione e sezionamento alla base della torre tubolare, come nel caso specifico;
- il trasformatore BT/MT, il quadro generale di bassa tensione e i quadri a MT di protezione e sezionamento ubicati insieme alla base della torre tubolare.

In entrambi i casi, è ormai certo sia in letteratura che nelle prove sperimentali condotte da diverse ARPA in Italia, che nelle cabine di trasformazione MT/BT l'emissione di campi elettrici e soprattutto magnetici è da attribuire al trasformatore e alle sbarre del quadro di bassa tensione.

La valutazione dei campi generati dal trasformatore parte da dati sperimentali su una taglia e tipo standard di trasformatore MT/BT per poi essere estesa con le dovute approssimazioni alla varia gamma di tipologie e potenze. Si riporta in tabella l'induzione magnetica prodotta da un trasformatore MT/BT in olio della potenza di 6000 kVA e tensione di corto circuito 6%.

Potenza trasformatore in olio	Distanza dal trasformatore				
	1 m	2 m	3 m	5 m	10 m
6000 kVA	200,662 [μ T]	28,813 [μ T]	9,258 [μ T]	2,215 [μ T]	0,863 [μ T]

Per un analogo trasformatore in resina valgono considerazioni simili.

Potenza trasformatore in resina	Distanza dal trasformatore				
	1 m	2 m	3 m	5 m	10 m
6000 kVA	334,4 [μ T]	48,0 [μ T]	15,4 [μ T]	3,7 [μ T]	1,44 [μ T]

Considerando che il rapporto di trasformazione dei trasformatori dei moderni aerogeneratori è 30/0,69, le correnti nominali BT dei trasformatori in esame saranno il 44% più basse di quelle di un normale trasformatore MT/BT di distribuzione di pari potenza che ha rapporto 30/0,4 kV; ne consegue che anche i campi generati saranno più bassi di quelli delle tabelle.

Per quanto riguarda i campi elettrici questi sono nulli all'esterno considerando l'effetto schermante della carcassa dei trasformatori (trasformatori in olio), la schermatura del sistema LPS dell'aerogeneratore e della torre tubolare in acciaio.

Per la valutazione dei campi generati dalle sbarre di bassa tensione si ipotizza che le sbarre di bassa tensione contenute nel quadro BT disposte in piano distino l'una dall'altra $D=15$ cm e siano lunghe $L=2$ metri. Ad un metro di distanza dalle sbarre l'induzione magnetica assume il suo massimo valore:

$$B_{MAX} = \frac{0,346 \cdot I \cdot D \cdot \sin(\arctg(\frac{L}{D}))}{1+D^2} = 126,99 \mu T$$

Ovviamente bisogna tenere presente che le torri non sono accessibili al personale non autorizzato e quindi l'eventuale esposizione è limitata alle manovre di manutenzione, nei riguardi degli addetti ai lavori, qualificati ed attrezzati per tali interventi.

Il valore di campo magnetico diminuisce esponenzialmente (come per i trasformatori) e si riduce a pochi μT già a 5 m dalle sbarre. I risultati ottenuti trovano conferma in tantissimi studi e misure effettuate dalle diverse ARPA in Italia. A titolo di esempio uno studio di modellistica revisionale e di misure sul campo condotto dall'ARPA Emilia Romagna² ha verificato che già a 50 cm dalle pareti di una cabina MT/BT tipica della Distribuzione i campi magnetici sono inferiori ai 3 μT per scendere al di sotto di 0,2 μT a meno di 5 m dalle pareti. Risultati analogamente nei limiti di legge sono stati ottenuti dalla Sezione ARPA di Ravenna³ con valori di campo magnetico subito all'esterno delle cabine che in media si attestano a 0,8 μT con picchi di 3,7 μT .

Ne consegue che nel caso a) la verifica dei limiti di legge è automaticamente verificata considerando che le sorgenti di emissione sono situate a oltre 100 metri di altezza.

Nel caso b) la situazione è molto simile a quella delle normali cabine di trasformazione MT/BT per le quali la letteratura, i calcoli effettuati e le prove sperimentali su citate, riportano il largo rispetto dei limiti di legge.

6. 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 dai studi riportati nella presente relazione emerge che:

1. per punti prossimi al cavidotto (2 metri) il campo magnetico è già inferiore ai 100 μT imposti dalla legge.
2. lo stesso dicasi per il campo elettrico, in tal caso data la tensione ridotta (30 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.

4. Infine il campo elettrico generato dagli apparati in AT della sottostazione è, a distanze dell'ordine della decina di metri, dell'ordine del kV/m .

TIPOLOGIA DI ELEMENTO	DPA (m)
CAVIDOTTO MT e AT	2 m
AEROGENERATORE	5 m
CABINA DI RACCOLTA	6 m
SOTTOSTAZIONE ELETTRICA	14 m da centro sbarre

In conclusione con riferimento al sito di "SAN PANCRAZIO 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 30/08/2021	Il tecnico
	<p>Ing Emanuele Verdoscia</p> 