



REGIONE SICILIA

REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI TRAPANI
COMUNE DI TRAPANI



AUTORIZZAZIONE
UNICA ex d.lgs. 387/03

Progetto definitivo per la realizzazione del parco eolico "GUARINE FARDELLA" e relative opere connesse nel comune di TRAPANI (Tp)

Titolo elaborato

RS06REL0011A0-Relazione tecnica specialistica sull'impatto elettromagnetico

Codice elaborato

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0429	B	R14	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Scala

—

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
Novembre 2021	Prima emissione	FTR	GDS	GMA

Proponente

Wind Guarine Fardella srl
via Durini, 9
20122 Milano (Mi)

Progettazione



F4 Ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni DI SANTO)



Società certificata secondo la norma UNI-EN ISO 9001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).





Sommario

1 Connessione alla RTN	2
1.1 Opere di rete e schema per la connessione	2
1.2 Cavidotti	5
2 Impianti elettrici	10
3 Criteri di scelta delle soluzioni impiantistiche di protezione contro i fulmini, con l'individuazione e la classificazione del volume da proteggere	14
3.1 Individuazione delle strutture da proteggere	14
3.2 Calcolo delle componenti di rischio	14
3.3 Verifica del dispersore dell'aerogeneratore ai fini della protezione contro i fulmini	19
4 Impatti elettromagnetici	21
4.1 Riferimenti Normativi e definizioni tecniche	23
4.2 Valori limite	25
4.3 Differenza tra campi magnetici indotti da linee elettriche aeree e da cavidotti interrati	26
4.4 Fasce di rispetto	28
4.5 Cavidotti MT interrati	28
4.6 Sottostazione Elettrica (SSE) di Trasformazione MT/AT	28
4.7 Raccordo interrato AT	30





1 Connessione alla RTN

La soluzione di connessione (soluzione tecnica minima generale STMG - codice pratica del preventivo di connessione 202002409), prevede che il futuro impianto eolico sia collegato con uno schema di collegamento in antenna a 220 kV con una nuova stazione elettrica di smistamento (SE) a 220 kV della RTN, da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 220 kV “Fulgatore - Partanna”, previa:

- realizzazione del nuovo elettrodotto RTN 220 kV “Fulgatore – Partinico”, di cui al Piano di Sviluppo Terna;
- realizzazione di un nuovo elettrodotto a 220 kV di collegamento dalla stazione di cui sopra con la stazione 220/150 kV di Fulgatore, previo ampliamento della stessa;
- realizzazione di un nuovo elettrodotto a 220 kV di collegamento dalla stazione di cui sopra con la stazione 220/150 kV di Partanna, previo ampliamento della stessa.

Si rappresenta, inoltre, che, al fine di razionalizzare l’utilizzo delle future infrastrutture di rete, sarà necessario condividere lo stallo in stazione RTN Terna con altri produttori.

Pertanto, in adiacenza alla stazione utente è prevista un’area condivisa in condominio AT da cui partirà un cavo interrato AT fino allo stallo di arrivo.

Il nuovo elettrodotto a 220 kV per il collegamento del parco in oggetto allo stallo a 220 kV della nuova SE Terna, costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 220 kV nella suddetta stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

In particolare, l’energia prodotta dagli aerogeneratori del parco in oggetto verrà convogliata tramite un cavidotto interrato a 30 kV. A valle del cavidotto esterno in MT è prevista la realizzazione di una sottostazione elettrica di trasformazione da media ad alta tensione (MT/AT) situata nelle immediate vicinanze del punto di consegna.

Tale sottostazione, pertanto, sarà distinguibile in due unità separate: la prima, indicata come “area condivisa in condominio AT” rappresenta la stazione di condivisione a 220 kV, e sarà utilizzata per condividere lo stallo di connessione assegnato da Terna SpA tra diversi produttori di energia e la seconda, indicata come “Wind Guarine Fardella Codice Pratica 202002409” rappresenta la stazione utenza di trasformazione 30/220 kV. Il collegamento tra la sottostazione di trasformazione e la sottostazione di consegna verrà realizzato mediante cavo in alta tensione in modo da trasferire l’energia elettrica prodotta alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

1.1 Opere di rete e schema per la connessione

La stazione elettrica di trasformazione AT/MT, contenuta all’interno di un “condominio stalli” costituito da altri 3 produttori, è costituita da:

- N.1 stallo trasformatore AT/MT;
- N.1 stallo di arrivo linea in cavo AT da SE RTN;
- N.1 edificio servizi per le apparecchiature MT e BT;
- Viabilità di accesso alla stazione elettrica e opere di accesso e recinzione.

L’impianto può essere suddiviso in due diverse sezioni, in relazione al livello di tensione che le caratterizza:

Sezione AT





- tensione massima sezione: 220 kV-240 kV
- frequenza nominale: 50 Hz
- Livello di isolamento:
- Tensione nominale di tenuta:
 - a. frequenza industriale (50 Hz/60 s): 325 kV efficace
 - b. impulso atmosferico (1.2/50 μ s): 750 kV picco
- Corrente nominale delle sbarre principali: 2000A
- Corrente di breve durata 150 Kv: 31.5 kA
- Durata nominale di cortocircuito 1 s
- condizioni ambientali limite: - 25/+40°C
- salinità di tenuta superficiale degli isolamenti elementi 220 kV: 56 kg/m³

Sezione MT

- Tensione nominale: 30 kV
- Tensione massima: 36 kV
- Frequenza nominale: 50 Hz
- Livello di isolamento:
- Tensione nominale di tenuta:
 - c. frequenza industriale (50 Hz/60 s): 70 kV efficace
 - d. impulso atmosferico (1.2/50 μ s): 145 - 170 kV picco
- Corrente nominale delle sbarre principali: 1250 – 1600 A
- Corrente ammissibile di breve durata: 12,5 – 20 kA
- Durata nominale di cortocircuito 1 s

Lo stallo di trasformazione AT/MT produttore è costituito dalle seguenti apparecchiature AT:

- n.1 trasformatore AT/MT;
- n.1 terna di scaricatori di sovratensione;
- Modulo compatto AT composto da:
 - n.1 terna di trasformatori di corrente unipolari;
 - n.1 interruttore tripolare;
 - n.1 terna di trasformatori di tensione unipolari;
 - n.1 sezionatore di linea, con terna di lame di messa a terra (dedicato allo stallo trasformatore del produttore)

Lo stallo arrivo linea in cavo AT è costituito dalle seguenti apparecchiature AT:

- n. 1 terminale cavi AT;
- Modulo compatto AT composto da:
 - n.1 terna di trasformatori di corrente unipolari;
 - n.1 interruttore tripolare;
 - n.1 terna di trasformatori di tensione unipolari;
 - n.1 sezionatore di linea, con terna di lame di messa a terra (dedicato allo stallo trasformatore del produttore)





Negli edifici utente saranno collocati i quadri di distribuzione in media tensione, i sistemi di distribuzione per i servizi ausiliari sia in corrente continua che in corrente alternata ed i dispositivi per controlli e misure.

Il quadro misure sarà del tipo a parete costruito in poliestere, contenente un contatore statico a quattro quadranti di classe B. Oltre al contatore, all'interno sarà montato un modem per linea telefonica o GSM, completo di alimentatore.

Il quadro di distribuzione MT dovrà essere di tipo protetto con protezione arco interno, è composto dalle seguenti unità:

- Scomparto partenza trasformatore di potenza AT/MT, con interruttore asportabile e completo di relè a microprocessore per le protezioni max.I (50-51-51N) e con le misure di A, V, W, VAR, cosfi, frequenza;
- Scomparto protezione trasformatore S.A. con interruttore di manovra-sezionatore e fusibili;
- Cella TV di sbarre;
- Scomparti di arrivo dai parchi eolici, con interruttore asportabile e completo di relè a microprocessore per le protezioni max. I (50-51-67N) e con le misure di A, V, W, VAR, cosfi, frequenza.

Sono previsti due sistemi di distribuzione per i servizi ausiliari, uno in corrente alternata alla tensione 400/230 V e l'altro in corrente continua alla tensione di 110 V.

Il sistema di distribuzione in corrente alternata sarà costituito da:

- Trasformatore di distribuzione, 100 kVA, 30/0,4 kV, in olio;
- Quadro di distribuzione 400/230V.

A livello di opere civili verranno realizzate le seguenti opere:

- Recinzione esterna ed interna;
- Strade di circolazione, accesso e piazzali carrabili;
- Costruzione edificio utente;
- Formazioni dei basamenti delle apparecchiature elettriche AT;
- Palo Telecomunicazioni

L'area complessivamente occupata dal condominio stalli AT/MT avrà dimensioni pari a ca. 120 x 75 m.

La strada di accesso, che permette di raggiungere la SET dall'accesso esistente, sarà bitumata ed occuperà un'area complessivamente di 140 m² (L=35m).

Per la realizzazione della recinzione sarà necessario eseguire scavi in sezione ristretta con mezzo meccanico. L'altezza fuori terra della recinzione, rispetto alla parte accessibile dall'esterno, dovrà essere almeno di 2,60 m. L'opera sarà completata inserendo n°1 cancello carrabile e pedonale.

Nella sottostazione elettrica sarà presente n.1 edificio utente suddiviso in più locali tecnici per il contenimento delle apparecchiature MT, BT di stazione.

Per tutti i locali è prevista un'altezza fuori terra massima di 3.20 m come quota finita. Le dimensioni in pianta del fabbricato sono: lunghezza 15 m, profondità 4.5 m con annesso locale di misura.





1.2 Cavidotti

L'energia prodotta dai singoli aerogeneratori del parco eolico verrà trasportata alla Stazione Utente 30/220 kV, con funzione di trasformazione ed immessa nella RTN tramite il sistema di sbarre presente nella stessa.

I collegamenti tra il parco eolico e la Stazione Utente avverranno tramite linee in MT interrata, esercite a 30 kV, ubicate sfruttando per quanto possibile la rete stradale esistente ovvero lungo la rete viaria da adeguare/realizzare ex novo nell'ambito del presente progetto.

Ciascun aerogeneratore sarà dotato di un generatore e relativo convertitore. Inoltre, sarà equipaggiato con un trasformatore BT/MT oltre a tutti gli organi di protezione ed interruzione atti a proteggere la macchina e la linea elettrica in partenza dalla stessa.

I trasformatori per impianti eolici devono costantemente sopportare problemi di sovratensioni di esercizio e vibrazioni meccaniche che mettono a dura prova la loro affidabilità nel tempo.

All'interno del generatore eolico, la tensione BT a 0.720 kV in arrivo dalla macchina verrà elevata a 30 kV tramite un trasformatore elevatore dedicato. Ogni aerogeneratore avrà al suo interno:

- L'arrivo del cavo BT (0.720 kV) proveniente dal generatore-convertitore;
- il trasformatore elevatore BT/MT (0.720/30 kV);
- la cella MT (30 kV) per la partenza verso i quadri di macchina e da lì verso la Stazione di trasformazione.
- Gli aerogeneratori del campo saranno suddivisi in 3 circuiti (o sottocampi) così costituiti:
 - o Sottocampo 1: $6.0 \times 3 = 18.0$ MW (T6-T7-T5-)
 - o Sottocampo 2: $6 \times 4 = 24$ MW (T3-T4-T1-T2)

La rete elettrica MT sarà realizzata con posa completamente interrata allo scopo di ridurre l'impatto della stessa sull'ambiente, assicurando il massimo dell'affidabilità e della economia di esercizio.

Il tracciato planimetrico della rete, lo schema unifilare dove sono evidenziate la lunghezza e la sezione corrispondente di ciascuna terna di cavo e la modalità e le caratteristiche di posa interrata sono mostrate nelle tavole del progetto allegate.

Per il collegamento degli aerogeneratori si prevede la realizzazione di linee MT a mezzo di collegamenti del tipo "entra-esce".

Il percorso del collegamento del Parco Eolico alla Stazione di Trasformazione è stato scelto tenendo conto di molteplici fattori, quali:

- contenere per quanto possibile i tracciati dei cavidotti sia per occupare la minor porzione possibile di territorio, sia per non superare certi limiti di convenienza tecnico-economica;
- evitare per quanto possibile di interessare case sparse ed isolate, rispettando le distanze prescritte dalla normativa vigente;
- Evitare interferenze con zone di pregio naturalistico, paesaggistico e archeologico;
- transitare su aree di minor pregio interessando aree prevalentemente agricole e sfruttando la viabilità esistente per quanto possibile.

La rete a 30 kV, di lunghezza totale pari a circa 13 km, sarà realizzata per mezzo di cavi del tipo ARE4H5E - 18/33 kV o equivalenti con conduttore in alluminio.





L'isolamento sarà garantito mediante guaina termo-restringente.

Il cavo a fibre ottiche per il monitoraggio ed il telecontrollo delle turbine sarà di tipo monomodale e verrà alloggiato all'interno di un tubo corrugato in PVC o in un monotubo in PEAD posto nello stesso scavo del cavo di potenza.

Insieme al cavo di potenza ed alle fibre ottiche vi sarà anche un dispersore di terra a corda di 35 mm² che collegherà gli impianti di terra delle singole turbine allo scopo di abbassare le tensioni di passo e di contatto e di disperdere le correnti dovute alle fulminazioni.

I cavi verranno posati ad una profondità di circa 120 cm, con una placca di protezione in PVC (nei casi in cui non è presente il tubo corrugato) ed un nastro segnalatore.

I cavi verranno posati in una trincea scavata a sezione obbligata che avrà una larghezza di 50 cm (cfr. sezioni tipo cavidotto). La sezione di posa dei cavi sarà variabile a seconda della loro ubicazione in sede stradale o in terreno (cfr. sezioni tipo cavidotto).

Come accennato, nella stessa trincea verranno posati i cavi di energia, la fibra ottica necessaria per la comunicazione e la corda di terra.

Dove necessario si dovrà provvedere alla posa indiretta dei cavi in tubi, condotti o cavedi.

La posa dei cavi si articolerà nelle seguenti attività:

- scavo a sezione obbligata della larghezza e della profondità precedentemente menzionate;
- posa del cavo di potenza e del dispersore di terra;
- eventuale rinterro parziale con strato di sabbia vagliata;
- posa del tubo contenente il cavo in fibre ottiche;
- posa dei tegoli protettivi;
- rinterro parziale con terreno di scavo;
- posa nastro monitore;
- rinterro complessivo con ripristino della superficie originaria;
- apposizione di paletti di segnalazione presenza cavo.

L'asse del cavo posato nella trincea si scosterà dall'asse della stessa solo di qualche centimetro a destra ed a sinistra, al fine di evitare dannose sollecitazioni dovute all'assestamento del terreno. Durante le operazioni di posa, gli sforzi di tiro applicati ai conduttori non dovranno superare i 60 N/mm² rispetto alla sezione totale. Il raggio di curvatura dei cavi durante le operazioni di installazione non dovrà essere inferiore a 3 m.

Lo schermo metallico dei singoli spezzoni di cavo verrà messo a terra da entrambe le estremità della linea.

In corrispondenza dell'estremità di cavo connesso alla stazione di utenza, onde evitare il trasferimento di tensioni di contatto pericolose a causa di un guasto sull'alta tensione, la messa a terra dello schermo avverrà solo all'estremità connessa alla stazione di utenza.

La realizzazione delle giunzioni verrà effettuata secondo le seguenti indicazioni:

- prima di tagliare i cavi controllare l'integrità della confezione e l'eventuale presenza di umidità;
- non interrompere mai il montaggio del giunto o del terminale;
- utilizzare esclusivamente materiali contenuti nella confezione.

Ad operazione conclusa saranno applicate delle targhe identificatrici su ciascun giunto in modo da poter individuare l'esecutore, la data e le modalità d'esecuzione.

Su ciascun tronco fra l'ultima turbina e la stazione elettrica di utenza verranno collocati dei giunti di isolamento tra gli schermi dei due diversi impianti di terra (dispersore di terra della stazione





elettrica e dispersore di terra dell'impianto eolico). Essi garantiranno la tenuta alla tensione che si può stabilire tra i due schermi dei cavi MT.

Le terminazioni dei cavi in fibra ottica dovranno essere effettuate nella seguente modalità:

- posa del cavo, da terra al relativo cassetto ottico, previa eliminazione della parte eccedente, con fissaggio del cavo o a parete o ad elementi verticali con apposite fascette, ogni 0.50 m circa;
- sbucciatura progressiva del cavo;
- fornitura ed applicazione, su ciascuna fibra ottica, di connettore;
- esecuzione della “lappatura” finale del terminale;
- fissaggio di ciascuna fibra ottica.

Le figure seguenti riportano alcune sezioni tipo del cavidotto:



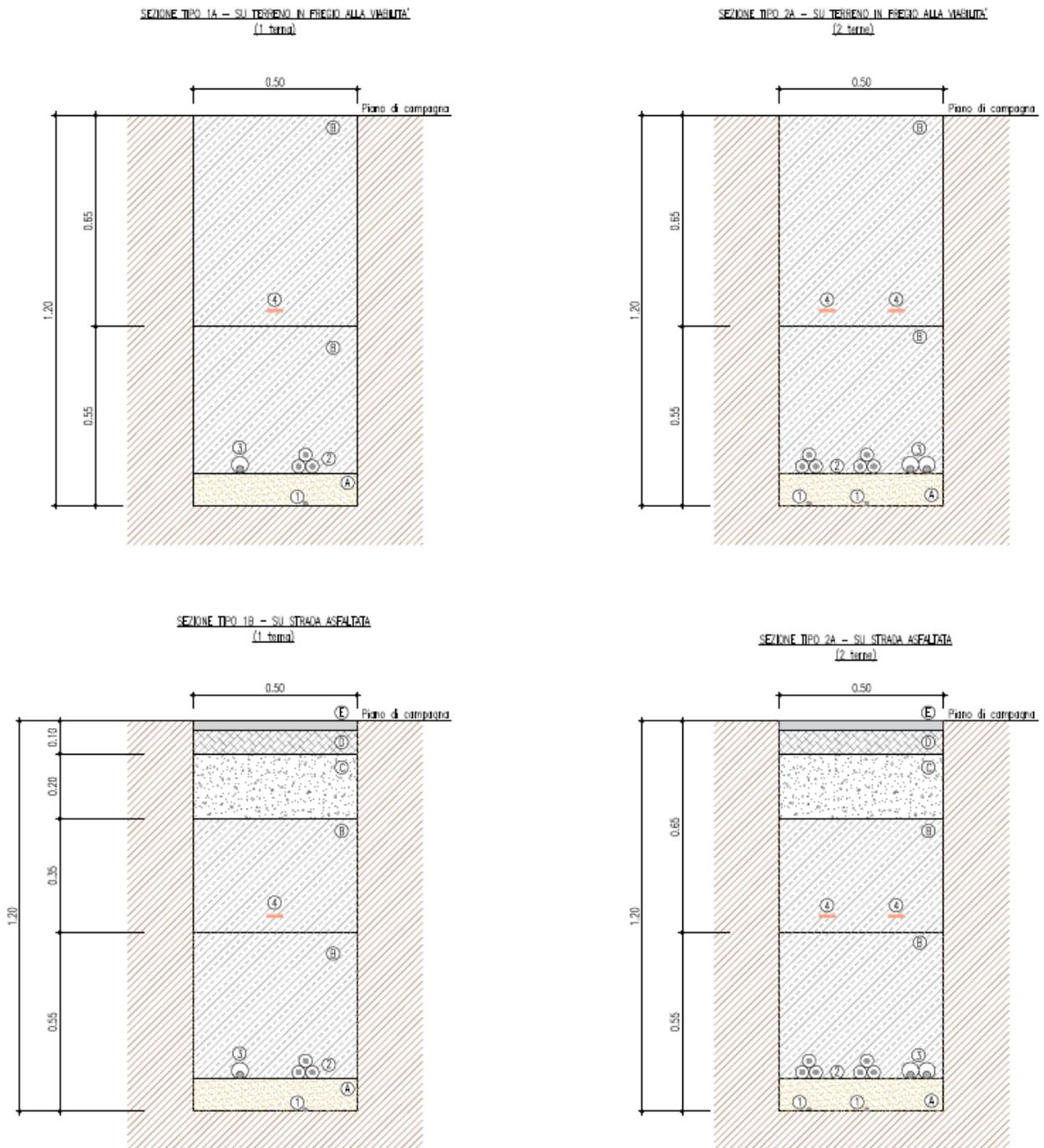


Figura 1: sezioni tipo 1A/2A e 1A/1B cavidotto



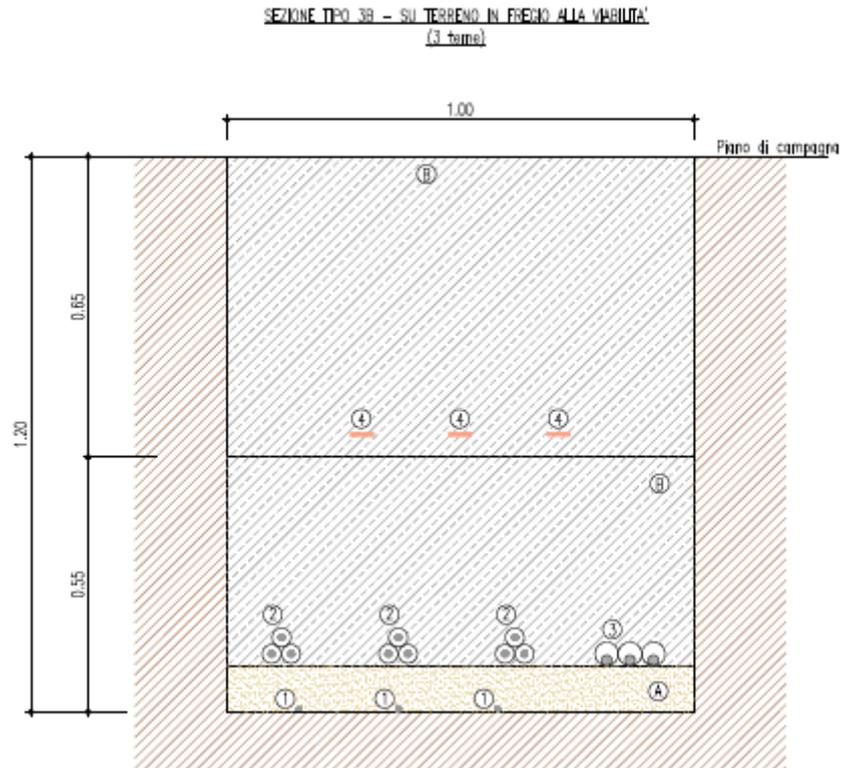


Figura 2: sezioni tipo 3B cavidotto

LEGENDA	
(A) Sabbia ϕ 0–3 mm	(1) Cavo di terra
(B) Rintiro con terreno proveniente dagli scavi	(2) Cavi MT
(C) Conglomerato bituminoso – Strato di base	(3) Fibra ottica in tubazione ϕ 50
(D) Conglomerato bituminoso – Strato di collegamento (Bynder)	(4) Nastro monitor
(E) Strato di usura	

NOTE:

NOTA*: si prevede l'impiego di cavi di media tensione "Prysmian airbag o similari".

NOTA**: i cavi MT saranno posati in tubazioni corusate in corrispondenza dei tratti critici ossia in corrispondenza delle interferenze evidenziate nel elaborato grafico "A.16.a.20–Planimetria con individuazione di tutte le interferenze".

Figura 3: legenda sezioni cavidotto

2 Impianti elettrici

L'energia elettrica prodotta dai singoli aerogeneratori è convogliata alla sottostazione di trasformazione attraverso una rete di cavidotti costituita da 2 linee a 30 kV a neutro isolato. Ogni linea è dedicata al trasporto dell'energia elettrica prodotta dalle turbine appartenenti a uno dei sottocampi in cui è stato suddiviso il parco:

- Sottocampo 1: $6.0 \times 3 = 18.0$ MW (T6-T7-T5-)
- Sottocampo 2: $6 \times 4 = 24$ MW (T3-T4-T1-T2)

La definizione dei sottocampi e dei tracciati delle linee elettriche sono stati studiati secondo quanto previsto dall'art. 121 del T.U. 11/12/1933 n° 1775, comparando le esigenze della pubblica utilità dell'opera con gli interessi sia pubblici che privati coinvolti.

La rete di cavidotti MT si estende in uno scavo di lunghezza pari a circa 12.100 m.

Nella definizione dell'opera sono stati adottati i seguenti criteri progettuali:

- contenere per quanto possibile i tracciati dei cavidotti sia per occupare la minor porzione possibile di territorio, sia per non superare certi limiti di convenienza tecnico-economica;
- evitare per quanto possibile di interessare case sparse ed isolate, rispettando le distanze prescritte dalla normativa vigente;
- minimizzare le interferenze con zone di pregio naturalistico, paesaggistico e archeologico;
- transitare su aree di minor pregio interessando aree prevalentemente agricole e sfruttando la viabilità esistente.

I cavidotti MT seguono strade di accesso nuove e/o esistenti per la maggior parte del loro percorso.

Il dimensionamento dei cavi è stato effettuato in base a:

- criterio termico per cui la corrente di impiego è inferiore alla corrente nominale del cavo ridotta mediante alcuni coefficienti correttivi che tengono conto delle condizioni di posa in base alla seguente formula:

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3}V_n \cos\varphi} < k_H \cdot k_{pt} \cdot k_T \cdot k_D \cdot I_{nc}$$

in cui P è la potenza che transita nel tronco di linea, Vn è la tensione di parco pari a 30 kV, $\cos\varphi$ è il fattore di potenza assunto pari a 0.95, in cui kH dipende dalla profondità di posa; kpt dipende dalla resistività termica del terreno; kT dipende dalla temperatura del terreno; kD dipende dalla temperatura del terreno, Inc è la corrente nominale del cavo,

- criterio della massima caduta di tensione percentuale per cui la somma delle cadute di tensione calcolate nei tronchi di linea comprese fra una determinata turbina ed il punto di connessione deve essere inferiore ad un valore prestabilito (3 – 4%):

$$\Delta V = \sum_i^N \sqrt{3} I_{bi} L_i \cdot (R_i \cos\varphi + X_i \sin\varphi)$$



- criterio delle perdite calcolate in funzione della distribuzione di Weibull calcolata in funzione delle misure anemometriche sul sito.

Il calcolo della corrente di impiego, delle cadute di tensione e delle perdite è eseguito con fattore di potenza ($\cos\phi$) pari a 0.95.





Tabella 1: Perdite di tensione nei cavi

Circuito	Tratto	Potenza	n. terne	Profondità di posa	K1	K2	K3	K4	lb (corrente di impiego)	lo min - portata minima del cavo	Sezione cavo	lo	Iz (Portata)	Lunghezza	Caduta di tensione	Caduta di tensione	Caduta di tensione complessiva	
									A	A	mmq	A	A	m	V	%	%	
Circuito 1	T7-T6	T7-i4	6.0	1	1.2	1.00	1.00	0.98	1.00	128	131	240	408	400	1237	24.4	0.08%	0.08%
		T6-i4	6.0	2	1.2	1.00	0.86	0.98	1.00	128	152	240	408	344	190	4.4	0.01%	0.01%
	T6-T5	T6-i4	12.0	2	1.2	1.00	0.86	0.98	1.00	257	304	240	408	344	190	8.7	0.03%	0.11%
		I4-I5	12.0	1	1.2	1.00	1.00	0.98	1.00	257	262	240	408	400	761	30.0	0.10%	0.21%
	T5-SET	T5-i5	12.0	2	1.2	1.00	0.86	0.98	1.00	257	304	240	408	344	476	21.8	0.07%	0.28%
		T5-i5	18.0	2	1.2	1.00	0.86	0.98	1.00	385	457	500	650	548	476	17.4	0.06%	0.34%
		i5-i2	18.0	1	1.2	1.00	1.00	0.98	1.00	385	393	500	650	637	915	28.7	0.10%	0.44%
		i2-i1	18.0	2	1.2	1.00	0.86	0.98	1.00	385	457	500	650	548	585	21.3	0.07%	0.51%
		i1-i3	18.0	2	1.2	1.00	0.86	0.98	1.00	385	457	500	650	548	999	36.4	0.12%	0.63%
		Cabina di raccolta	18.0	2	1.2	1.00	0.86	0.98	1.00	385	457	500	650	548	5122	186.7	0.62%	1.25%
Circuito 2	T4-T1	T4-i1	6.0	1	1.2	1.00	1.00	0.98	1.00	128	131	240	408	400	736	14.5	0.05%	0.05%
		T1-i1	6.0	3	1.2	1.00	0.78	0.98	1.00	128	168	240	408	312	266	6.7	0.02%	0.07%
	T3-T1	T3-i2	6.0	1	1.2	1.00	1.00	0.98	1.00	128	131	240	408	400	172	3.4	0.01%	0.08%
		i2-i1	6.0	2	1.2	1.00	0.86	0.98	1.00	128	152	240	408	344	585	13.4	0.04%	0.13%





Circuito	Tratto	Potenza								lb (corrente di impiego)	lo min - portata minima del cavo	Sezione cavo	lo	lz (Portata)	Lunghezza	Caduta di tensione	Caduta di tensione	Caduta di tensione complessiva
	T1-i1	6.0	3	1.2	1.00	0.78	0.98	1.00	128	168	240	408	312	266	6.7	0.02%	0.15%	
	T1-T2	T1-i1	18.0	3	1.2	1.00	0.78	0.98	1.00	385	504	500	650	497	266	10.7	0.04%	0.18%
		i1-i3	18.0	2	1.2	1.00	0.86	0.98	1.00	385	457	500	650	548	999	36.4	0.12%	0.31%
		T2-i3	18.0	2	1.2	1.00	0.86	0.98	1.00	385	457	500	650	548	722	26.3	0.09%	0.39%
	T2-SET	T2-i3	24.0	2	1.2	1.00	0.86	0.98	1.00	513	609	500	650	548	722	35.1	0.12%	0.51%
		Cabina di raccolta	24.0	2	1.2	1.00	0.86	0.98	1.00	513	609	500	650	548	5122	248.9	0.83%	1.34%





3 Criteri di scelta delle soluzioni impiantistiche di protezione contro i fulmini, con l'individuazione e la classificazione del volume da proteggere

Nel presente capitolo si effettua la valutazione del rischio di fulminazione delle strutture facenti parte dell'impianto eolico in oggetto, con riferimento al rischio di perdita di vita umana. Il calcolo non tiene conto del fatto che l'area in esame, data la sua collocazione, è caratterizzata da una scarsa presenza di persone, che di fatto riduce la probabilità di danno a valori inferiori a quelli risultanti dall'applicazione della suddetta procedura.

3.1 Individuazione delle strutture da proteggere

Le strutture da installare all'interno dell'impianto eolico consistono in:

- aerogeneratori comprendenti al loro interno tutte le apparecchiature elettriche
- nuovo impianto di trasformazione MT/AT

Per tali strutture si è proceduto al calcolo del solo rischio di perdita di vite umane (rischio di tipo 1), secondo quanto previsto dalla Norma CEI EN 62305-2.

3.2 Calcolo delle componenti di rischio

L'impostazione della valutazione del rischio secondo la Norma CEI EN 62305-2 si basa sulle seguenti definizioni:

Sorgenti di danno

- S1: fulmine sulla struttura
- S2: fulmine in prossimità della struttura
- S3: fulmine sulla linea
- S4: fulmine in prossimità della linea

Tipo di danno

- D1: danno ad esseri viventi per elettrocuzione
- D2: danno materiale
- D3: guasto di impianti elettrici ed elettronici

Tipo di perdita

- L1: perdita di vite umane, alla quale è associato il rischio R1
- L2: perdita di servizio pubblico, alla quale è associato il rischio R2
- L3: perdita di patrimonio culturale insostituibile, alla quale è associato il rischio R3
- L4: perdita economica, alla quale è associato il rischio R4

Nel presente documento si fa riferimento alla sola perdita di vite umane (L1), in quanto le altre non sono di interesse per il caso specifico.





Componenti di rischio

Le singole componenti di rischio definite nella suddetta norma sono le seguenti:

Sorgente S1

- RA = componente relativa ai danni ad esseri viventi per elettrocuzione dovuta a tensioni di contatto e di passo all'interno della struttura e all'esterno in zone fino a 3 m attorno alle calate.
- RB = componente relativa ai danni materiali causati da scariche pericolose all'interno della struttura che innescano l'incendio e l'esplosione e che possono anche essere pericolose per l'ambiente.
- RC = componente relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP (impulso elettromagnetico del fulmine)

Sorgente S2

- RM = componente relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP (impulso elettromagnetico del fulmine)

Sorgente S3

RU = componente relativa ai danni ad esseri viventi dovuti a tensioni di contatto all'interno della struttura dovuta alla corrente di fulmine iniettata nella linea entrante nella struttura stessa.

RV = componente relativa ai danni materiali (incendio o esplosione innescati da scariche pericolose fra installazioni esterne e parti metalliche, generalmente nel punto d'ingresso della linea nella struttura) dovuti alla corrente di fulmine trasmessa attraverso la linea entrante.

RW = componente relativa al guasto di impianti interni causata da sovratensioni indotte sulla linea e trasmesse alla struttura.

Sorgente S4

RZ = componente relativa al guasto di impianti interni causata da sovratensioni indotte sulla linea e trasmesse alla struttura.

La Tabella seguente della Norma, di seguito riportata, associa le componenti di rischio ai rischi relativi a ciascun tipo di perdita.





Sorgente di danno	Fulminazione diretta della struttura (S1)			Fulminazione in prossimità della struttura (S2)	Fulminazione diretta di una linea entrante (S3)	Fulminazione in prossimità di una linea entrante (S4)		
	R _A	R _B	R _C	R _M	R _U	R _V	R _W	R _Z
Componente di rischio								
Rischio per ciascun tipo di perdita								
R1	X	X	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾	X	X	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾
R2		X	X	X		X	X	X
R3		X				X		
R4	X ⁽²⁾	X	X	X	X ⁽²⁾	X	X	X

⁽¹⁾ Solo nel caso di strutture con rischio di esplosione, di ospedali o di altre strutture, in cui i guasti di impianti interni provocano immediato pericolo per la vita umana

⁽²⁾ Soltanto in strutture ad uso agricolo in cui si può verificare la perdita di animali

Nel caso in esame, ove è di interesse il solo rischio R1 si ha pertanto:

$$R_1 = R_A + R_U + R_B + R_V$$

Il calcolo delle componenti di rischio è effettuato con le seguenti formule:

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \text{ dove: } L_A = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760$$

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \text{ dove: } L_B = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8760$$

$$R_U = (N_L + N_{Dj}) \times P_U \times L_U \text{ dove: } L_U = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760$$

$$R_V = (N_L + N_{Dj}) \times P_V \times L_V \text{ dove: } L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8760 \text{ e}$$

dove:

- N_D = numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura
- N_L = numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta di una linea
- N_{Dj} = numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura adiacente
- P_A = probabilità di danno ad esseri viventi (fulminaz. sulla struttura)
- P_B = probabilità di danno materiale in una struttura (fulminaz. sulla struttura) P_U = probabilità di danno ad esseri viventi (fulminaz. sul servizio connesso)
- P_V = probabilità di danno materiale in una struttura (fulminaz. sul servizio connesso)
- L_T = percentuale media di vittime per elettrocuzione (D1) causato da un evento pericoloso
- L_F = percentuale media di vittime per danno materiale (D2) causato da un evento pericoloso
- r_t = fattore di riduzione dipendente dal tipo di terreno o pavimentazione
- r_p = fattore di riduzione delle perdite correlato alle misure antincendio
- r_f = fattore di riduzione delle perdite correlato al carico di incendio
- h_z = fattore che incrementa le perdite in presenza di pericoli particolari n_z = numero delle persone nella zona
- n_t = numero di persone nella struttura
- t_z = tempo in ore all'anno per cui le persone sono presenti nella zona

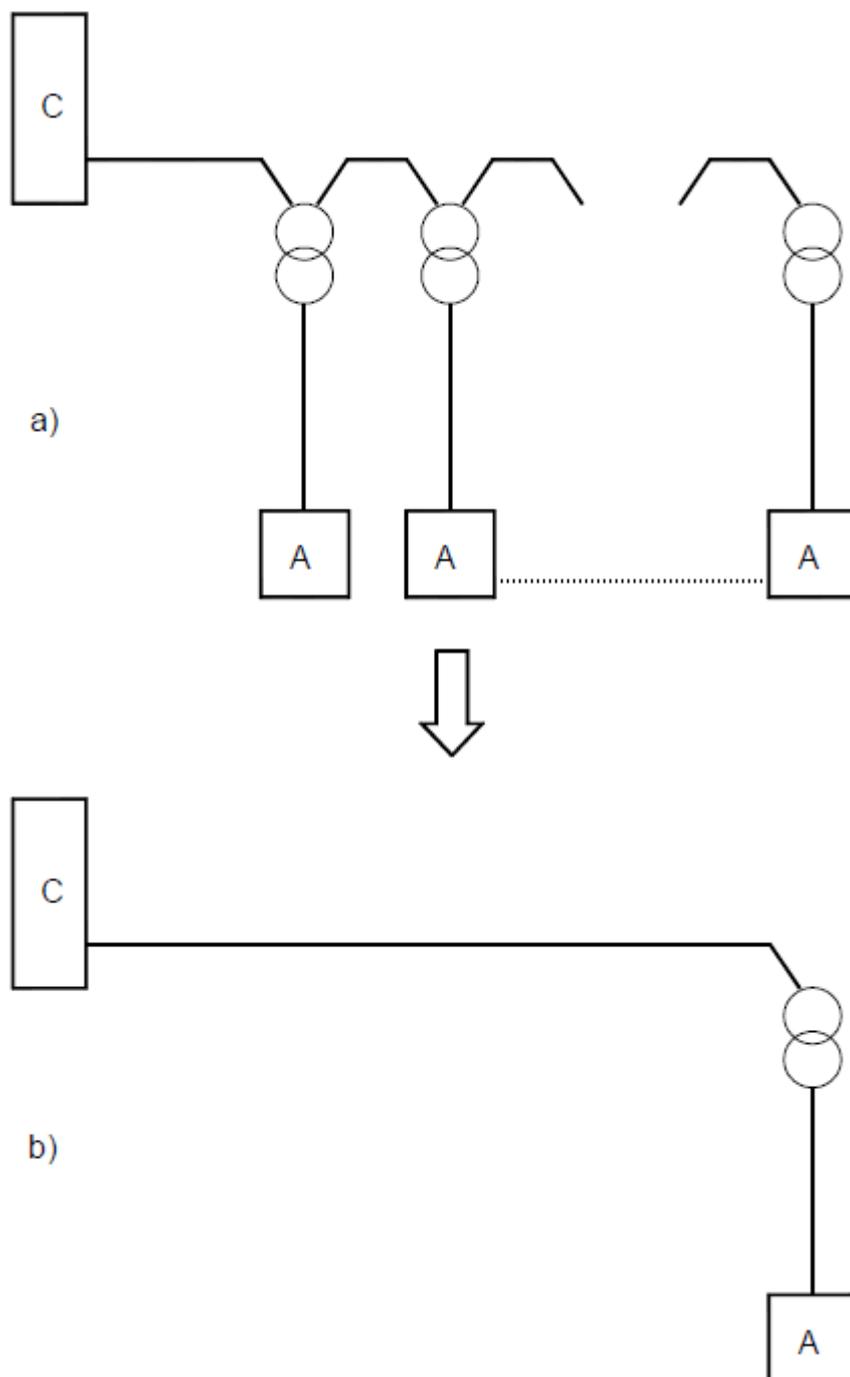
Individuazione delle strutture da proteggere e delle linee ad esse collegate

Per l'impianto in oggetto le strutture da proteggere sono le seguenti:



- Aerogeneratori (A)
- Stazione elettrica SSE AT/MT (C)

Il collegamento tra tali strutture è schematizzato nella seguente figura seguente: si nota la presenza di un trasformatore (MT/BT) in corrispondenza dell’arrivo di ciascun aerogeneratore



Sulla base delle caratteristiche delle strutture in esame e delle modalità di collegamento tra di esse si può affermare quanto segue:



- relativamente agli aerogeneratori, la componente N_{Da} che tiene conto del rischio di danno materiale causato da un fulmine che colpisce la struttura connessa a quella in esame, può ritenersi nullo, in quanto gli aerogeneratori sono tra loro separati da due trasformatori. Pertanto, ai fini del calcolo del rischio dovuto a fulminazione indiretta lo schema equivalente da considerare è quello di figura (b), dove sono state trascurate le connessioni fra aerogeneratori;
- relativamente alla cabina di consegna, la linea che alimenta il sottocampo, ai fini del calcolo della probabilità di fulminazione indiretta tale linea è schematizzata come un'unica linea equivalente;
- ai fini del calcolo delle probabilità PU e PV, per tale linea è stata considerata cautelativamente una tensione di tenuta all'impulso $U_m = 6$ kV, anche se, la loro tensione di tenuta all'impulso è senz'altro maggiore;
- sempre ai fini del calcolo delle probabilità PU e PV, tale linea è caratterizzata da uno schermo avente resistenza $1 < R_s < 5$ Ω /km;
- coefficienti di installazione CI delle linee sopra dette, riportati in tabella A.2 (Norma CEI 81-10), sono riferiti a $\rho = 400$ Ω m.

I parametri di base assunti per il calcolo del rischio di fulminazione sono i seguenti (desunti da una banca dati europea conforme alla guida CEI 81-30):

- $N_g = 2.00$ fulmini/anno/km² – area parco eolico;
- $N_g = 2.00$ fulmini/anno/km² – area SET.

Tipi di struttura: Struttura di tipo industriale

Tipo di suolo fino a 5m di distanza dalla struttura:

- SSE AT/MT: cemento
- Aerogeneratori: vegetale

Rischio di incendio:

- Aerogeneratori: ordinario
- Cabina di consegna: ordinario

Rischio ammissibile: 10^{-5} (n° morti/anno)

Coefficiente di posizione delle strutture:

- SSE AT/MT: $C_d = 1$ (struttura isolata)
- Aerogeneratori: $C_d = 2$ (struttura isolata sulla cima di una collina).

Sulla base dei risultati ottenuti attraverso l'utilizzo di apposito software (Impiantus - Fulmini ACCA Software) si può concludere che le strutture non autoprotette sono gli aerogeneratori, a causa dell'elevata componente di rischio RA.

Per la SSE AT/MT il rischio ottenuto è inferiore al valore limite, nonostante le numerose ipotesi cautelative assunte per i calcoli.





Per quanto riguarda gli aerogeneratori, per ridurre la componente di rischio RA, secondo la Tabella B.2 della Norma verrà adottato un LPS di classe I unito ad un adeguato sistema disperdente per limitare le tensioni di passo e contatto.

In tal modo i nuovi valori del rischio calcolato R saranno compatibili con la normativa di settore.

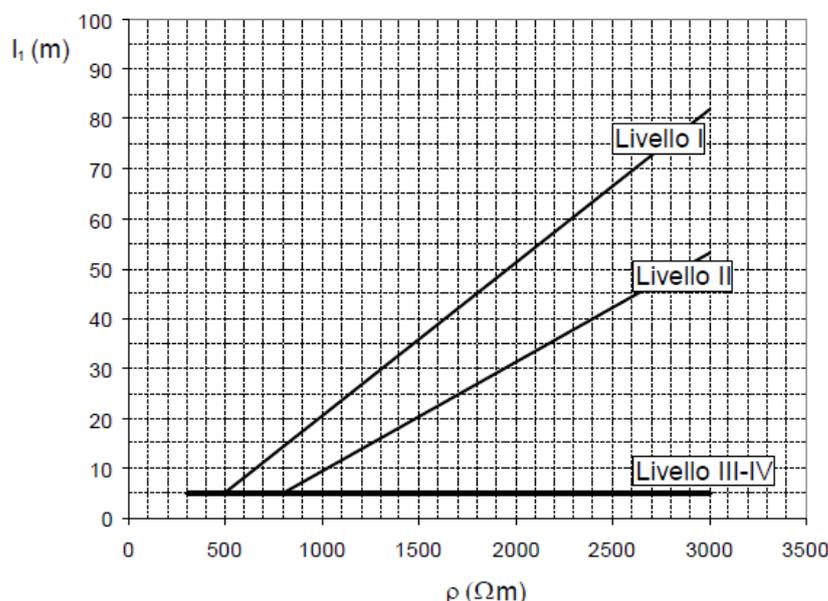
3.3 Verifica del dispersore dell'aerogeneratore ai fini della protezione contro i fulmini

La verifica si riferisce al dispersore dell'aerogeneratore il quale dovrà assolvere agli scopi di protezione contro i contatti indiretti e di protezione contro le scariche atmosferiche (LPS).

Il dispersore sarà posato intorno alla struttura dell'aerogeneratore e sarà formato da almeno quattro anelli di cui tre posati sopra la fondazione ed uno annegato all'interno della stessa. Gli anelli saranno collegati tra loro nel collettore principale.

Con riferimento alla Norma CEI EN 62305-3 il dispersore d'impianto è di tipo B; appartengono a questo tipo di dispersore sia quello ad anello esterno alla struttura in contatto con il suolo per almeno l'80% della sua lunghezza totale, sia il dispersore di fondazione. Nel caso in esame, l'anello che circonda il basamento del sostegno di ogni singolo aerogeneratore dovrà essere tale che, il raggio r del cerchio equivalente all'area racchiusa dallo stesso dispersore ad anello, non risulti essere inferiore al valore di I_1 rilevato dal grafico riportato nella figura seguente (vedi Fig.2 par.5.4.2.1 Norma CEI EN 62305-3), secondo i livelli di protezione I, II, III, IV rispettivamente.

Nel caso in oggetto, poiché il LPS è di livello I nel caso dell'aerogeneratore e la resistività del suolo è pari a $100 \Omega\text{m}$, si ha di $I_1 = 5 \text{ m}$.



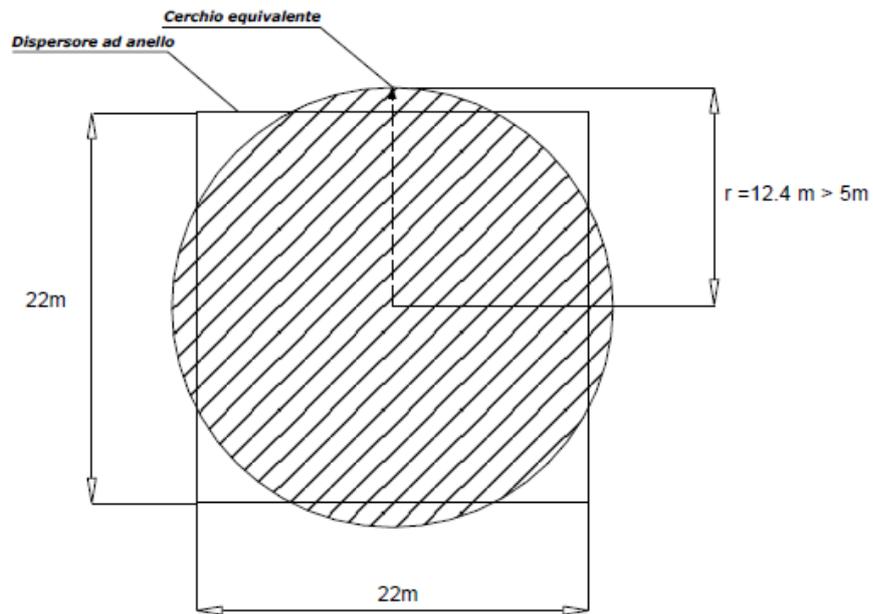
Lunghezza minima degli elementi del dispersore in funzione dei livelli di protezione (il III e IV sono indipendenti dalla resistività del suolo)

Dovrà essere pertanto:

$$r \geq 5 \text{ m}$$

Nel caso dell'aerogeneratore risulta che il raggio del cerchio equivalente all'area del dispersore di terra dell'aerogeneratore misura 13 m circa, pertanto è conforme alla suddetta prescrizione normativa.





Raggio del cerchio equivalente all'area del dispersore ad anello tipo "B" di ogni singolo aerogeneratore





4 Impatti elettromagnetici

La presente relazione è riferita all'impatto elettromagnetico prodotto in particolare da:

1. linee MT interrate
2. sottostazione elettrica di trasformazione e consegna, ovvero linee/sbarre aeree di connessione tra il trafo, le apparecchiature elettromeccaniche e l'area TERNA.

Come noto, tutte le apparecchiature a funzionamento elettrico generano, durante il loro funzionamento, campi elettromagnetici.

Le onde elettromagnetiche sono fundamentalmente suddivise in due gruppi: radiazioni non ionizzanti e radiazioni ionizzanti.

Le linee elettriche, i sistemi di comunicazione telefonica e radiotelevisiva, gli elettrodomestici e più in generale le apparecchiature elettriche, sono tutte appartenenti alla categoria delle radiazioni non ionizzanti (NIR), che hanno un'energia associata che non è sufficiente ad indurre nella materia il fenomeno della ionizzazione, ovvero non possono dare luogo alla creazione di atomi o molecole elettricamente cariche (ioni). L'impianto elettrico di connessione alla RTN del parco eolico in oggetto, schematicamente riportato nelle figure seguenti, si sviluppa secondo 2 circuiti (sottocampi) come di seguito specificato:

- Sottocampo 1: $6.0 \times 3 = 18.0$ MW (T6-T7-T5-)
- Sottocampo 2: $6 \times 4 = 24$ MW (T3-T4-T1-T2)



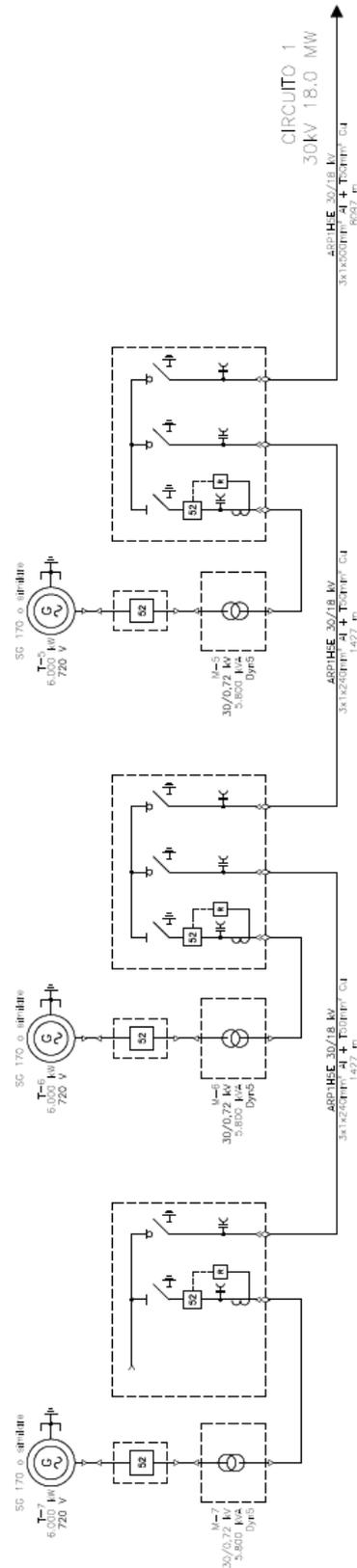


Figura 4: schema unifilare parco eolico (circuito 1)



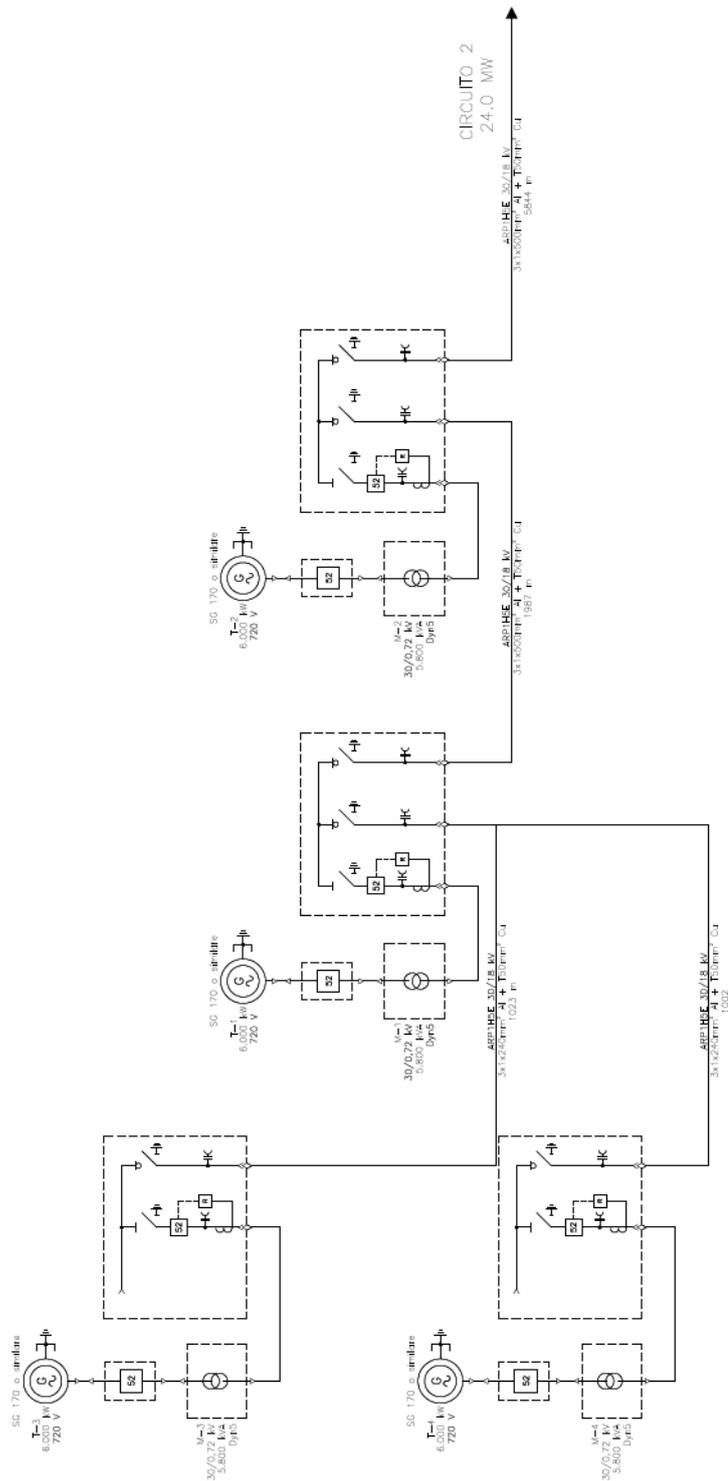


Figura 5: schema unifilare parco eolico (circuito 2)

4.1 Riferimenti Normativi e definizioni tecniche

- D.M. del 29 maggio 2008 - Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti



- d.p.c.m. del 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"
- Legge n.36 del 22 febbraio 2001
- Decreto Interministeriale del 21 marzo 1988 n.449
- 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. 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

Per quanto riguarda la definizione delle grandezze elettromagnetiche di interesse si fa riferimento alla norma CEI 211-6 (2001-01), 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*".

In merito, invece, alle 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*".

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

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);

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;

obiettivi di qualità: 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;

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





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;

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;

4.2 Valori limite

Il citato d.p.c.m. 8 luglio 2003 fissa i limiti di esposizione e i valori di attenzione, per la protezione della popolazione dall'esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all'esercizio degli elettrodotti, in particolare:

- All'art.3 comma 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.
- All'art.3 comma 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.
- Art.4 comma 1. 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.

Lo stesso DPCM, all'art 6, fissa i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità (**B=3 μ T**) di cui all'art. 4 sopra richiamato ed alla portata della corrente in servizio normale. L'allegato al Decreto 29.05.2008 definisce quale fascia di rispetto lo spazio circostante l'elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità. Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto nella pratica questo determinerebbe una fascia (basata sul limite di esposizione, nonché valore di attenzione pari a 5kV/m) che risulta sempre inferiore a quella fornita dal calcolo dell'induzione magnetica. Pertanto, nei successivi paragrafi sono state calcolate le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento al limite di qualità di 3 μ T.





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 il corpo umano (costante dielettrica molto diversa da quella dell'aria) possiede 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 (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 abbatte esponenzialmente all'aumentare della distanza dal conduttore. Il campo elettrico risulta proporzionale alla tensione del circuito considerato.

Viceversa, il corpo umano presenta una permeabilità magnetica sostanzialmente simile a quella dell'aria, per cui non presenta grandi 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.

La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente i valori ammissibili di campo elettromagnetico, distinguendo i "campi elettromagnetici quasi statici" ed i "campi elettromagnetici a radio frequenza".

Nel caso dei campi quasi statici, ha senso ragionare separatamente sui fenomeni elettrici e magnetici e ha quindi anche senso imporre separatamente dei limiti normativi alle intensità del campo elettrico e dell'induzione magnetica. Il modello quasi statico è applicato al caso della distribuzione di energia, in relazione alla frequenza di distribuzione dell'energia in rete che è pari a 50Hz. In generale gli elettrodotti dedicati alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono percorsi da correnti elettriche di intensità diversa, ma tutte alla frequenza di 50Hz, e quindi tutti i fenomeni elettromagnetici coinvolti possono essere studiati correttamente con il modello per campi quasi statici. Gli impianti per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz, costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo 30-300 Hz.

4.3 Differenza tra campi magnetici indotti da linee elettriche aeree e da cavidotti interrati

Come accennato, l'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende dall'intensità della corrente circolante nel conduttore; tale flusso risulta estremamente variabile sia nell'arco di una giornata sia su scala temporale maggiore. Per le linee elettriche aeree, il campo magnetico assume il valore massimo in corrispondenza della minima distanza dei conduttori dal suolo, ossia al centro della campata, e decade molto rapidamente allontanandosi dalle linee.

Non c'è alcun effetto schermante nei confronti dei campi magnetici da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea: quindi all'interno di eventuali edifici circostanti si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno. Quindi, sia campo elettrico che campo magnetico decadono all'aumentare della distanza dalla linea elettrica, ma mentre il campo elettrico è facilmente schermabile da oggetti quali legno, metallo, ma anche alberi ed edifici, il campo magnetico non è schermabile dalla maggior parte dei materiali di uso comune.





Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono:

- distanza dalle sorgenti (conduttori);
- intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- disposizione e distanza tra sorgenti (distanza reciproca tra i conduttori di fase);
- presenza di sorgenti compensatrici;
- suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

Nel caso di elettrodotti in alta tensione, i valori di campo magnetico, pur al di sotto dei valori di legge imposti, sono notevolmente al di sopra della soglia di attenzione epidemiologica (SAE) che è di $0.2 \mu\text{T}$. Infatti, solo distanze superiori a circa 80 m dal conduttore permettono di rilevare un valore così basso del campo magnetico. È necessario notare inoltre che aumentare l'altezza dei conduttori da terra permette di ridurre il livello massimo generato di campo magnetico ma non la distanza dall'asse alla quale si raggiunge la SAE.

È possibile ridurre questi valori di campo interrando gli elettrodotti. Questi vengono posti a circa 1.2-1.5 metri di profondità e sono composti da un conduttore cilindrico, una guaina isolante, una guaina conduttrice (la quale funge da schermante per i disturbi esterni, i quali sono più acuti nel sottosuolo in quanto il terreno è molto più conduttore dell'aria) e un rivestimento protettivo. I fili vengono posti a circa 20 cm l'uno dall'altro e possono assumere disposizione lineare (terna piana) o triangolare (trifoglio).

I cavi interrati generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei (circa il doppio), però l'intensità di campo magnetico si riduce molto più rapidamente con la distanza (i circa 80 m diventano in questo caso circa 24).

Altri metodi con i quali ridurre i valori di intensità di campo elettrico e magnetico possono essere quelli di usare "linee compatte", dove i cavi vengono avvicinati tra di loro in quanto questi sono isolati con delle membrane isolanti. Queste portano ad una riduzione del campo magnetico.

I cavi interrati sono quindi un'alternativa all'uso delle linee aeree; essi sono disposti alla profondità di almeno 1.2 metri dal suolo, linearmente sullo stesso piano oppure a triangolo (disposizione a trifoglio).

Confrontando quindi il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si può notare che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata. In generale si può affermare che l'intensità a livello del suolo immediatamente al di sopra dei cavi di una linea interrata è inferiore a quella immediatamente al di sotto di una linea aerea ad alta tensione. Ciò è dovuto soprattutto ad una maggiore compensazione delle componenti vettoriali associate alle diverse fasi, per effetto della reciproca vicinanza dei cavi, che essendo isolati, possono essere accostati l'uno all'altro, come non può farsi per una linea aerea.





4.4 Fasce di rispetto

Come anticipato in premessa, l’impatto elettromagnetico indotto dall’impianto eolico oggetto di studio risulta determinato da:

- Linee MT in cavidotti interrati
- Sottostazione Elettrica (SSE) in prossimità di una nuova Stazione Terna 220 kV, ovvero linee/sbarre aeree di connessione tra il trafo, le apparecchiature elettromeccaniche e l’area TERNA.

4.5 Cavidotti MT interrati

Per quanto riguarda l’impatto elettromagnetico generato dai circuiti MT all’interno della turbina, si deve considerare una fascia della larghezza di 1 m intorno alla superficie esterna della torre in acciaio, in quanto, all’interno di questa fascia si avrà un valore di induzione magnetica $>$ di $3 \mu\text{T}$, mentre al suo interno viene rispettato il limite di qualità.

Nei pressi delle torri eoliche non è prevista la presenza di persone dal momento che l’accesso alle piazzole è interdetto al pubblico trattandosi di aree private.

È consentito l’accesso alle piazzole, nei pressi delle torri ed all’interno delle stesse, solo a personale esperto ed addestrato, che comunque accede sporadicamente e per tempi limitati in occasione di manutenzioni programmate e/o straordinarie.

Per quanto concerne i cavi MT interrati che collegano ogni macchina, tramite circuiti dedicati, alla stazione di trasformazione, il valore di qualità (**induzione magnetica $<$ di $3 \mu\text{T}$**) si raggiunge ad una distanza di circa 1 m dal cavo, che è comunque interrato ad una profondità di almeno 1.2 m rispetto al piano campagna.

Le aree in cui avverrà la posa dei cavi sono prevalentemente localizzate lungo viabilità esistente ed aree agricole dove non è prevista la permanenza stabile di persone per oltre 4 ore né tantomeno è prevista la costruzione di edifici.

4.6 Sottostazione Elettrica (SSE) di Trasformazione MT/AT

L’energia prodotta dagli aerogeneratori viene convogliata presso una sottostazione di trasformazione, ubicata in prossimità di una nuova Stazione Terna 220 kV da realizzare nel territorio comunale di Trapani (Tp). Presso la SSE è previsto:

- un ulteriore innalzamento della tensione da 30 kV a 220 kV;
- la misura dell’energia prodotta dal parco;
- la consegna a TERNA S.p.A.

L’impianto utente per la connessione dell’impianto eolico ‘*Guarine Fardella*’ si comporrà delle seguenti opere ed apparecchiature:

- Stallo AT trasformatore composto da: trasformatore elevatore 30/220 $\pm 12 \times 1,25\%$ kV, scaricatori AT, TA AT ad uso fiscale/misura/protezione, interruttore tripolare 220kV, TV induttivi AT ad uso combinato fiscale/misura/protezione, sezionatore rotativo con lame di terra 220kV.





- Stallo linea AT composto da: sezionatore rotativo con lame di terra 220kV, TV ad uso fiscale, TA ad uso fiscale e sbarre di collegamento all’area condivisa in condomio AT a vari produttori.
- Sala quadri MT contenente il quadro di media tensione 30kV isolato in gas SF6 al quale si attestano i cavidotti provenienti dal parco eolico. Il quadro di media tensione si completa di scomparto arrivo trafo e scomparto per il TSA.
- Sala quadri bT contenente i quadri di protezione e controllo, i quadri dei servizi ausiliari in corrente alternata e corrente continua, il quadro batterie ed il quadro raddrizzatore-inverter. In questa sala è inoltre installato il quadro contatori con accesso dall’esterno del locale come evidenziato dagli elaborati grafici allegati.
- Sala SCADA/telecontrollo.
- Palo antenna.
- Locale per il gruppo elettrogeno (GE) di potenza inferiore ai 25kW.
- Locale trasformatore dei servizi ausiliari (TSA) dotato di vasca contenitiva per eventuali fuoriuscite d’olio dal TSA.

Per quanto concerne la determinazione della fascia di rispetto, la SSE è del tutto assimilabile ad una Cabina Primaria, per la quale la fascia di rispetto rientra nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto (area recintata).

Ciò in conformità a quanto riportato al paragrafo 5.2.2 dell'Allegato al decreto 29 maggio 2008 (per questa tipologia di impianti la DPA e, quindi, la fascia di rispetto, rientra generalmente nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso).

L'impatto elettromagnetico nella SSE risulta essenzialmente dovuto:

- al trasformatore AT/MT;
- alla realizzazione delle linee/sbarre aeree di connessione tra il trafo, le apparecchiature elettromeccaniche e l'area condivisa.

L'impatto generato dalle sbarre AT è di gran lunga quello più significativo e pertanto, di seguito si considera solo la valutazione della fascia di rispetto di queste ultime.

Le sbarre AT sono assimilabili ad una linea aerea trifase 220 kV, con conduttori posti in piano ad una distanza reciproca di 2.2 m, ad un'altezza di circa 5.3 m dal suolo, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate.

Nel caso in oggetto risulta:

- S (distanza tra i conduttori) = 2.20 m
- P_n = Potenza massima dell’impianto (42.0 MW)
- V_n = Tensione nominale delle sbarre AT (220 kV)

Pertanto si avrà

$$I = \frac{P_n}{V_n \times 1.73 \times \cos \varphi} = 122.6 \text{ A}$$

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

$$R' = 0.34 \times \sqrt{2.2 \times 170.3} = 5.6 \text{ m}$$





Valore al di sotto della distanza delle sbarre stesse dal perimetro della SSE (distanza minima dalla recinzione circa 10 m), e di fatto dello stesso ordine di grandezza dell'altezza delle stesse sbarre (come detto pari a 5.6 m).

Alla luce dei risultati ottenuti, si può affermare che, in conformità a quanto previsto dal decreto 29 maggio 2008 la Distanza di Prima Approssimazione (DPA) e, quindi, la fascia di rispetto rientra nei confini dell'aerea di pertinenza della stazione di trasformazione in progetto.

Inoltre, la sottostazione di trasformazione è comunque realizzata in un'area agricola, con totale assenza di edifici abitati per un raggio di oltre 200 m, e, 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.

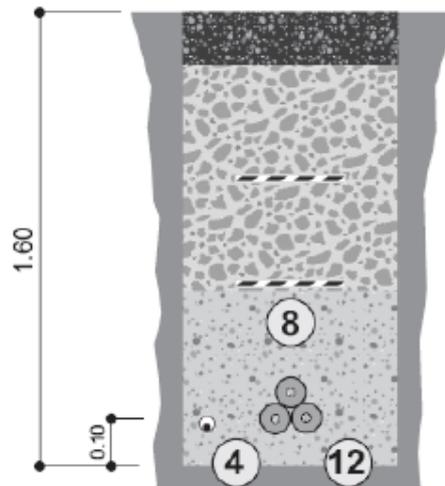
Pertanto, si può concludere che l'impatto elettromagnetico su persone prodotto dall'adeguamento della stazione di trasformazione sia del tutto trascurabile.

4.7 Raccordo interrato AT

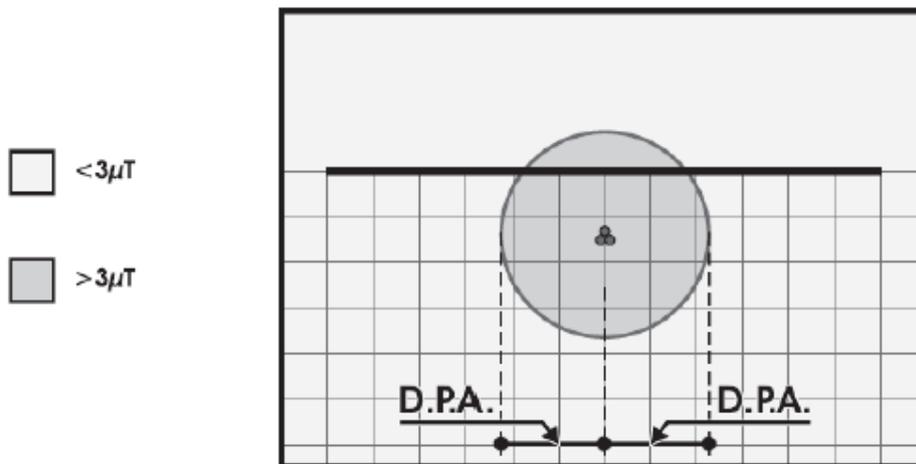
Come riportato in precedenza, il raccordo interrato di connessione AT permetterà di collegare la stazione di condivisione alla SE Terna per la consegna alla RTN dell'energia prodotta dall'impianto in progetto (e da altri produttori eventuali). Tale linea elettrica AT a 220 kV sarà costituita da **cavi unipolari avvolti reciprocamente a spirale**.

Con riferimento alla “Linea guida ENEL per l'applicazione del § 5.1.3 dell'allegato al d.m. 29.05.08” nelle schede A15 e A14 sono presenti valori di DPA (cfr. le figure seguenti) compresi tra 3.10 e 5.10 m. Grazie all'avvolgimento dei cavi a spirale, tuttavia, tale larghezza deve essere considerata inferiore a quanto riportato nel citato d.m.





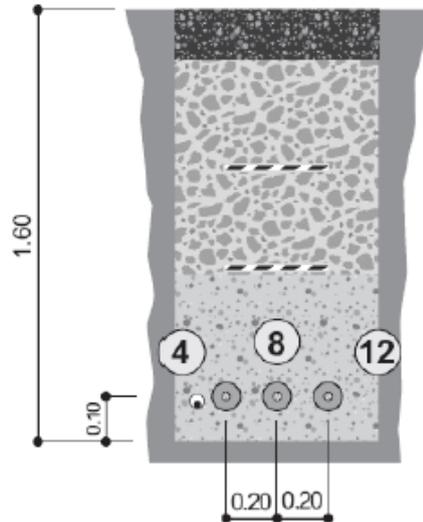
RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.



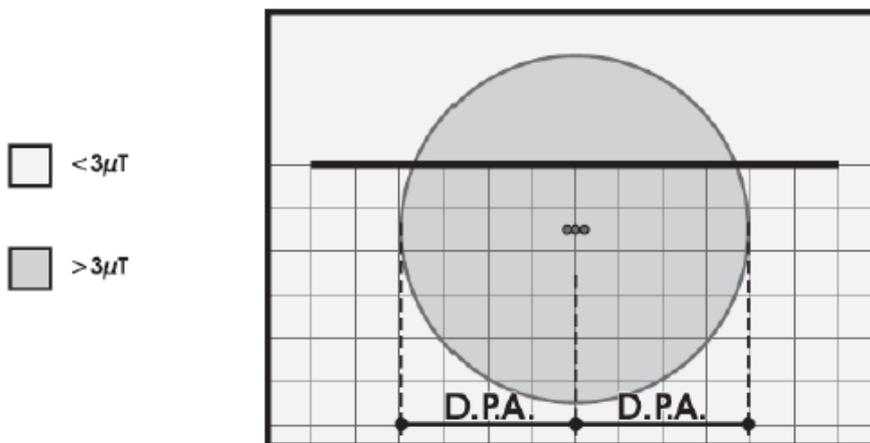
CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO				
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm ²]	CEI - 11-60 Portata [A]		
		Corrente A	D.P.A. m	Riferimento
108	1600	1110	3.10	A15



Figura 6: Scheda A14 (rif: “Linea guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'allegato al d.m. 29.05.08”)



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	Riferimento
108	1600	1110	5.10	A14

Figura 7: Scheda A14 (rif: “Linea guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'allegato al d.m. 29.05.08”)