



Comune di SAN SEVERO



Comune di RIGNANO GARGANICO



REGIONE PUGLIA

PROGETTO DEFINITIVO PARCO EOLICO "FLORIO"

Nei Comuni di San Severo e Rignano Garganico

N.32 aerogeneratori di potenza fino a 7,2MW

VALUTAZIONE DI IMPATTO ELETTROMAGNETICO CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO

Integrazione per riscontro al punto 6.1 e 6.2 del Comitato

L. 36/01 - L.R. 9-10-2008 n.25 - DPCM 8-7-03 - DM 29-5-08

Committente:



NVA S.r.l.
Via Lepetit, 8
20045 Lainate (MI)
info@nvarenewables.com
nva.srl@pecimprese.it

Visti:

Progettazione:



Tecnico Competente:

Ing. Francesco Di Cosmo

Elaborazione: Maggio 2024

PREMESSA

Il *D.P.C.M. 8 luglio 2003* prescrive che il proprietario/gestore comunichi alle autorità competenti l'ampiezza delle fasce di rispetto e i dati utilizzati per il loro calcolo.

Lo studio di impatto elettromagnetico si rende necessario al fine di una valutazione del campo elettrico e magnetico nei riguardi della popolazione. In particolare "la fascia di rispetto", di cui al DM 29-5-08 "*Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti*", viene calcolata tenendo conto dell'elettrodotto (o cavidotto) e delle cabine utente AT.

Al calcolo della "*fascia di rispetto*" segue la verifica dell'assenza di recettori sensibili all'interno di tale fascia: aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere.

Poiché le linee di trasporto e di distribuzione dell'energia elettrica (elettrodotti), hanno in Europa una frequenza di 50 Hz i campi elettrici e magnetici rientrano nella cosiddetta banda ELF (30 - 300 Hz, bassa frequenza).

Il presente progetto è costituito da 32 aerogeneratori e opere di connessione da ubicare nei Comuni di San Severo e Rignano Garganico.

Lo studio che segue viene condotto per l'aerogeneratore che si intende installare avente le seguenti caratteristiche:

Modello	Potenza MW	Altezza mozzo m	Diametro rotore m	Numero di giri al minuto rpm	Altezza massima complessiva m
Vestas V172-7.2	7,2	175	172	9,5	261

Basse frequenze

I limiti per le basse frequenze sono imposti dal D.P.C.M. 8-7-03, pubblicato sulla G.U. n.200 del 29 Agosto 2003, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".

I valori limite fissati nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz sono riportati nella seguente tabella:

	Campo Elettrico [kV/m]	Induzione Magnetica [μT]
Limite di esposizione	5	100
Valore di attenzione	-	10
Obiettivo di qualità	-	3

Il decreto prevede, nel caso del limite di esposizione, che i valori di campo elettrico e campo magnetico siano espressi come valori efficaci mentre, per il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità, l'induzione magnetica è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio, in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere.

Si fa notare che i suddetti limiti non si applicano ai lavoratori professionalmente esposti che operano nel settore della costruzione, manutenzione, etc. poiché quest'ultimi sono sottoposti ad una differente normativa.

I campi ELF, contraddistinti da frequenze estremamente basse, sono caratterizzabili mediante la semplificazione delle equazioni di Maxwell dei "campi elettromagnetici quasi statici" e quindi da due entità distinte:

- **il campo elettrico**, generato dalla presenza di cariche elettriche o tensioni e quindi direttamente proporzionale al valore della tensione di linea;
- **il campo magnetico**, generato invece dalle correnti elettriche.

Dagli elettrodotti si genera sia un campo elettrico che un campo magnetico.

Campo elettrico

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. I valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano, pertanto

l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante. La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico e, in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.

Campo magnetico

L'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende invece dall'intensità della corrente circolante nel conduttore; tale flusso risulta estremamente variabile sia nell'arco di una giornata sia su scala temporale maggiore quale quella stagionale.

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 d'intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno. Ne consegue che 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.

DIFFERENZA TRA CAMPI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE AEREE E CAVI INTERRATI

Campo elettrico

Il campo elettrico risulta ridotto in maniera significativa per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata. Per le linee elettriche di MT a 50 Hz, **i campi elettrici misurati attraverso prove sperimentali sono risultati praticamente nulli**, per l'effetto schermante delle guaine metalliche e del terreno sovrastante i cavi interrati.

Campo magnetico

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

- distanza dalle sorgenti (conduttori);
- intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua 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.

I valori di campo magnetico, risultano notevolmente abbattuti mediante interrimento degli elettrodotti. Questi saranno posti a circa 1,5- 1,85 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 produttivo.

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). Tra i vantaggi collegati all'impiego dei cavi interrati sono da considerare i valori d'intensità di campo magnetico che decrescono molto più rapidamente con la distanza. Tra gli svantaggi sono da considerare i problemi di perdita di energia legati alla potenza reattiva (produzione, oltre ad una certa lunghezza del cavo, di una corrente capacitiva, dovuta all'interazione tra il cavo ed il terreno stesso, che si contrappone a quella di trasmissione). Altri metodi con i quali ridurre i valori d'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. Confrontando il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si rileva che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata.

NEL SEGUITO SI RICHIAMANO LE PRINCIPALI NORME:

- **CEI 211-7** "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana" (01/2001).
- **CEI 211-4** "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dalle linee e da stazioni. elettriche" (01/2001).
- **CEI 106-11** "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) – Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo" (02/2006);
- **CEI 106-12** "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT" (05/2006).
- **LINEE GUIDA ENEL** "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 - Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche".

In particolare, per quanto riguarda il calcolo dell'induzione magnetica e la determinazione delle fasce si è tenuto conto delle indicazioni tecniche previste nel decreto del 29 maggio 2008 e nelle Norme CEI 106-11 e CEI 106-12 nelle quali viene ripreso il modello di calcolo normalizzato della Norma CEI 211-4 e vengono proposte, in aggiunta, delle formule analitiche approssimate che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica ad una data distanza dal centro geometrico della linea elettrica.

Ai fini della presente relazione è utile richiamare le seguenti definizioni valide per gli elettrodotti e le cabine di trasformazione (*cf.* Decreto 29/05/2008):

Linee elettriche

Le linee corrispondono ai collegamenti con conduttori elettrici aerei o in cavo, delimitati da organi di manovra, che permettono di unire due o più impianti (Centrali di Produzione, Stazioni Elettriche, Cabine di Trasformazione primarie e secondarie, cabine utente AT) allo stesso livello di tensione.

Cabine di trasformazione

Nell'ambito di una rete elettrica, la cabina di trasformazione corrisponde ad un'officina elettrica destinata alla modifica (trasformazione e/o conversione) dell'energia elettrica transitante in modo da renderla adatta a soddisfare le richieste della successiva fase di destinazione.

Fascia di rispetto

La fascia di rispetto è lo spazio circostante un elettrodotto comprendente 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.

Distanza di prima approssimazione (Dpa)

Per le **linee** è "la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della Dpa, si trovi all'esterno delle fasce di rispetto". Per le **cabine** è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

Livelli di tensione

Livello 1

L'energia elettrica giunge dalle centrali elettriche e dall'estero fino alla rete di trasmissione con una tensione di 380 kV o 220 kV. Questo stadio viene chiamato livello di **altissima tensione**.

Livello 3

Gli intervalli compresi tra 36 kV e 150 kV di tensione sono detti livello di **alta tensione**.

Livello 5

Gli intervalli compresi tra 1 kV e 36 kV di tensione sono detti livello di **media tensione**.

Livello 7

Tutti gli intervalli con una tensione inferiore a 1 kV sono detti livelli di **bassa tensione**. È questa la tensione con cui l'energia elettrica giunge alle prese di corrente domestiche (220v o 380v).

I livelli 2, 4 e 6 sono i cosiddetti livelli di trasformazione, poiché trasformano l'energia elettrica nel livello immediatamente inferiore (o superiore a seconda della necessità).

ANALISI DELL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO EOLICO IN PROGETTO

L'area prevista per l'installazione dell'impianto eolico è ubicata a sud-est del centro abitato di San Severo (FG). L'aerogeneratore n.13 è il più vicino al centro abitato (area industriale) di San Severo e dista circa km 5,7.

Il progetto prevede la costruzione di:

- un impianto eolico di 32 aerogeneratori con cabina di trasformazione 0,6/36kV ubicati 30 nel Comune di San Severo e 2 nel Comune di Rignano Garganico.



- i cavidotti di interconnessione in A.T. (36kV) interni all'impianto
- una cabina di raccolta e trasformazione 36/150kV, ubicata tra gli aerogeneratori n.11 e n.12
- il cavidotto esterno che parte dalla cabina di interconnessione fino al punto di consegna dell'energia prodotta, previsto nella Stazione Primaria del GSE (Terna SpA). In sostanza il cavidotto esterno sarà costituito da una dorsale principale (in colore rosso nella ortofoto seguente) a 150kV che parte dalla cabina di raccolta e trasformazione 36/150kV e arriva alla sottostazione di consegna al GSE.

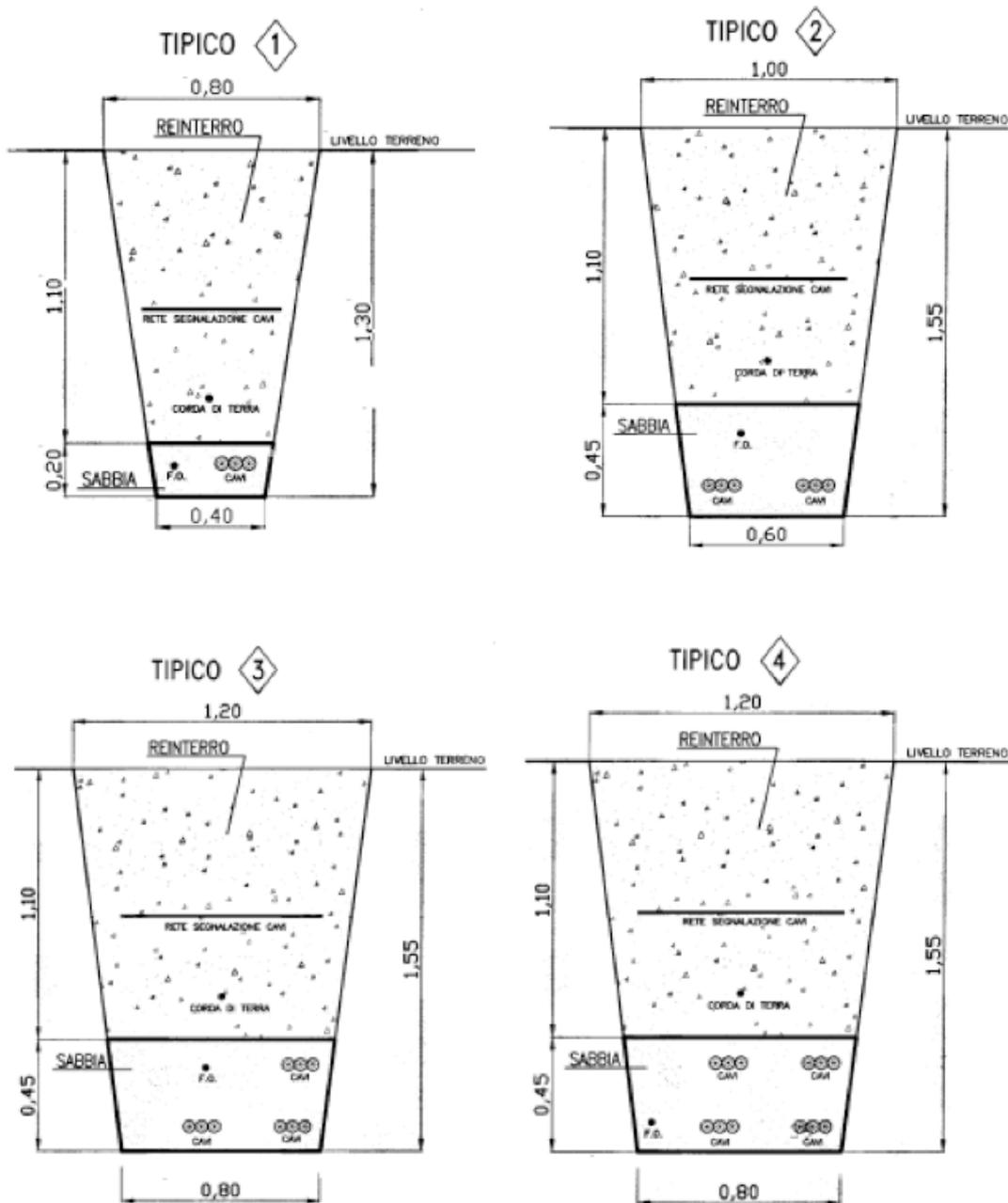


Per garantire una sufficiente elasticità ed indipendenza di esercizio, gli aerogeneratori sono collegati con cavi elettrici separati, garantendo così una continuità di servizio indipendente anche durante il fuori esercizio di uno solo per esigenze di manutenzione.

All'interno di ogni torre è ubicato l'impianto di trasformazione per il collegamento alla cabina di raccolta connessione di progetto, questo consentirà l'elevazione della tensione al valore di trasporto: da **720 V** (tensione in uscita dal generatore) a **36 kV** (tensione in uscita dal trasformatore). L'energia prodotta verrà trasportata tramite cavidotti interrati (**a 36kV**) che saranno ubicati quasi sempre lungo la rete viaria esistente, tranne i primi tratti a partire da ogni pala e fino al raggiungimento della viabilità secondaria.

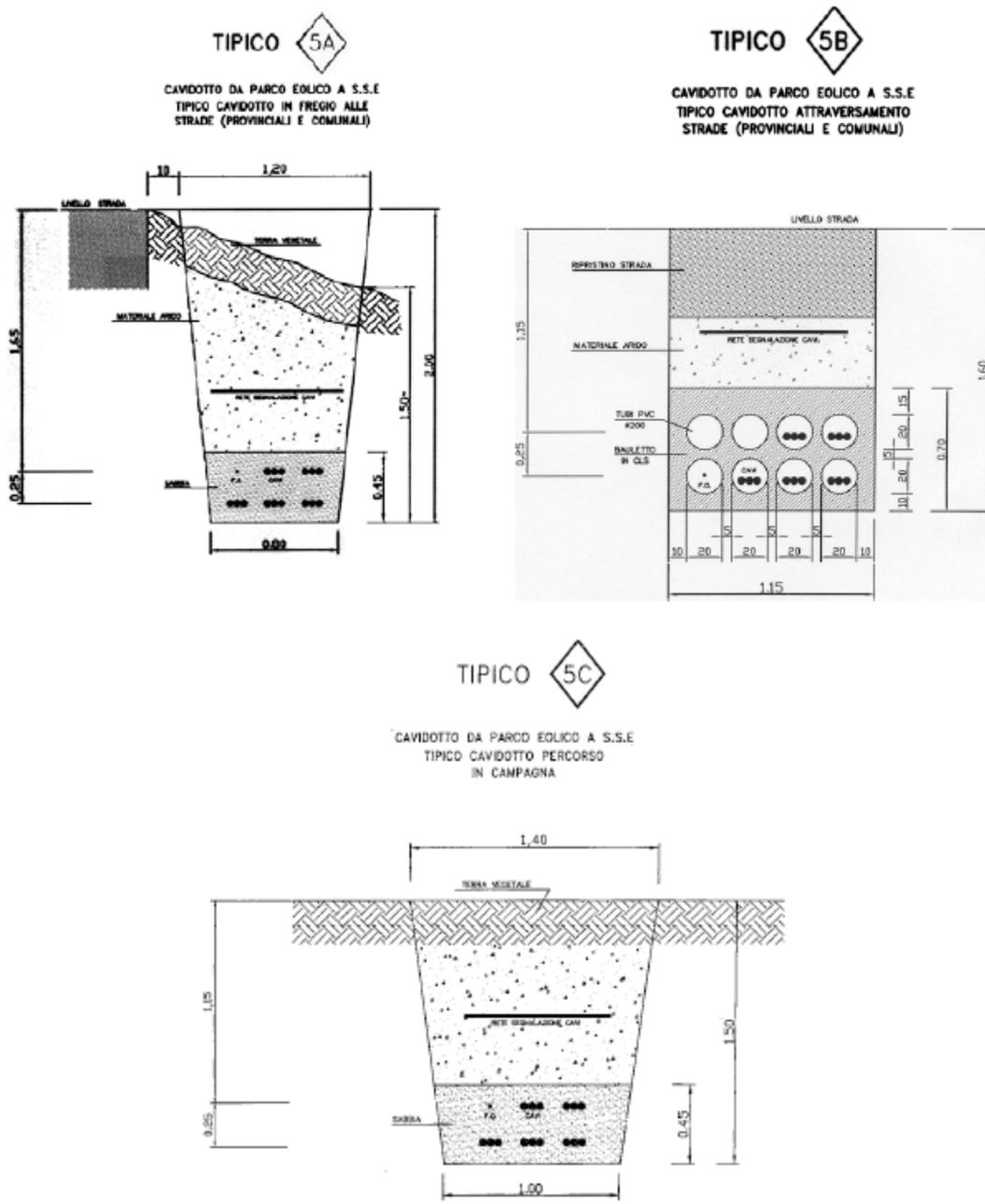
I cavidotti saranno interrati fino alla profondità massima di m.1,50. Saranno realizzati su percorsi di campagna o in fregio alle strade secondo i tipici 1-2-3-4-5A-5B-5C.

I tipici 1-2-3-4 sotto riportati sono riferiti alle vie cavo all'interno del Parco Eolico e si differenziano fra loro per il numero dei cavi contenuti.



I tipici 5A-5B-5C, sotto riportati, sono riferiti al cavidotto di interconnessione tra il Parco Eolico e la Stazione di Trasformazione e consegna:

- Il tipico 5A è riferito al cavidotto in fregio alle Strade Provinciali.
- Il tipico 5B è riferito agli attraversamenti di Strade (Provinciali e Comunali); i cavi sono posati in tubi in PVC a loro volta protetti da un bauletto di calcestruzzo.
- Il tipico 5C è riferito al cavidotto in un percorso di campagna.



I cavi di potenza sono terne unipolari del tipo ARG7H1(AR)E-AIR-BAG in alluminio sezioni da 185 a 400mmq ed idonei anche alla posa direttamente interrati senza protezione meccanica in conformità alla modalità di posa "L" figura 3.6 e punto 4.3.11 della norma CEI 11-17 Fascicolo 8402.

Per il sistema di supervisione e comunicazione è impiegato un cavo a fibra ottica con caratteristiche conformi alla sopraccitata norma CEI 11-17.

Per il collegamento equipotenziale viene impiegato un conduttore di rame nudo di sezione pari a 50mmq.

CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO

In via generale e semplificata, come prescritto all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 i proprietari/gestori provvedono a comunicare non solo l'ampiezza delle fasce di rispetto, ma anche i dati per il calcolo delle stesse ai fini delle verifiche delle autorità competenti, trasmessi mediante relazione contenente i dati caratteristici delle linee o cabine e le relative DPA,

Al fine di agevolare la gestione territoriale ed il calcolo delle fasce di rispetto il Decreto introduce una procedura semplificata (§ 5.1.3), per il calcolo della DPA ai sensi della CEI 106-11 che fa riferimento ad un modello bidimensionale semplificato, valido per conduttori orizzontali paralleli, secondo il quale il proprietario /gestore deve:

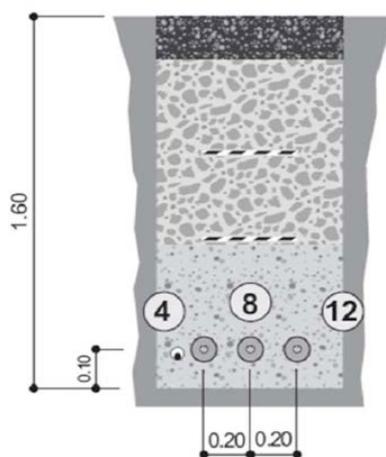
1. calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco di linea (la configurazione ottenuta potrebbe non corrispondere ad alcuna campata reale);
2. proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
3. comunicare l'estensione rispetto alla proiezione al centro linea: tale distanza (DPA) sarà adottata in modo costante lungo il tronco.

Nel caso di cabine elettriche, ai sensi del § 5.2 dell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008), la fascia di rispetto deve essere calcolata come segue:

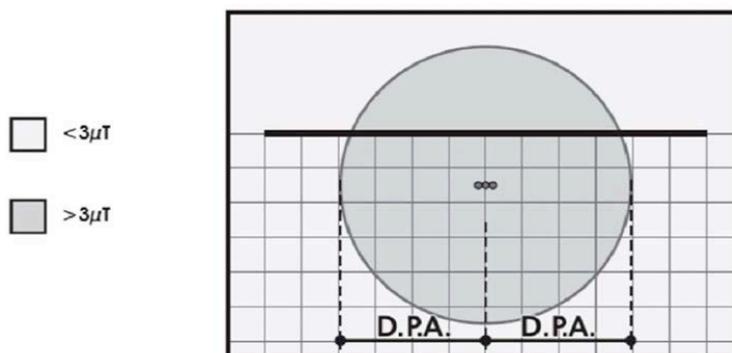
1. Cabine Primarie, generalmente la DPA rientra nel perimetro dell'impianto (§ 5.2.2) in quanto non vi sono livelli di emissione sensibili oltre detto perimetro.
2. Cabine Secondarie, nel caso di cabine di tipo box (con dimensioni mediamente di 4 m x 2.4 m, altezze di 2.4 m e 2.7 m ed unico trasformatore) o similari, la DPA, intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali) della CS, va calcolata simulando una linea trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dal trasformatore (I) e con distanza tra le fasi pari al diametro reale (conduttore + isolante) del cavo (x) (§ 5.2.1) applicando la seguente relazione:

$$Dpa = 0.40942 * x^{0.5241} * \sqrt{I}$$

In via generale la suddetta formula genera le seguenti schede, di cui alla "linea guida ENEL" rispettivamente per cavi interrati, linee AT/Cabine Primarie e per linee MT/Cabine Secondarie.

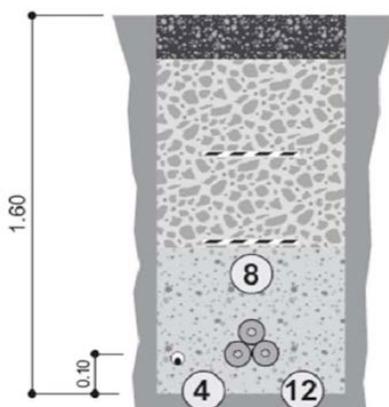


RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.



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

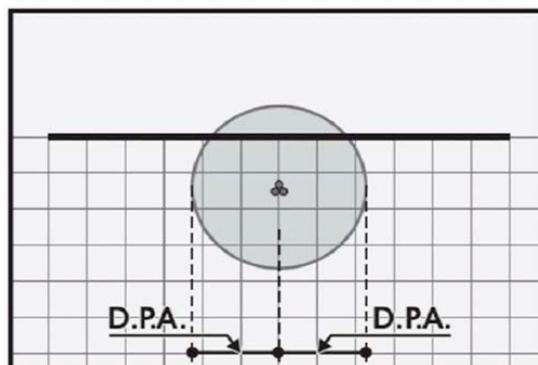
Scheda A14 – CAVI INETRATI – Semplice terna cavi disposti in piano (serie 132/150 kV)



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

 $< 3\mu T$

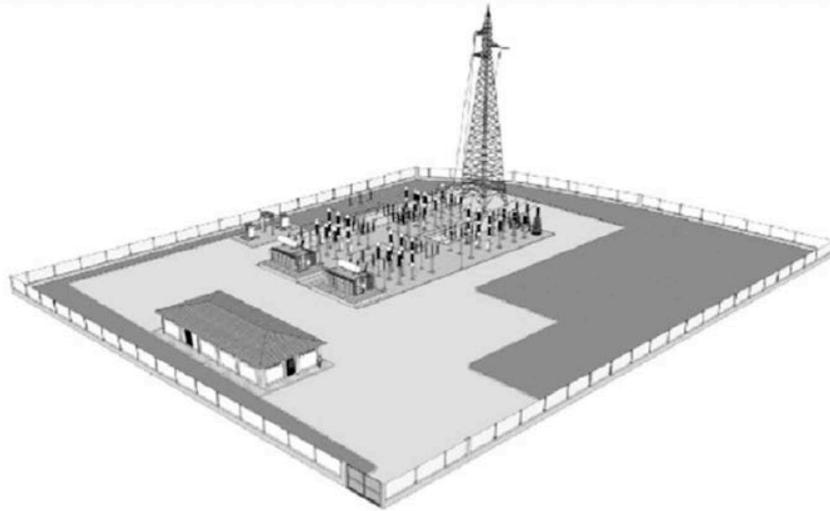
 $> 3\mu T$



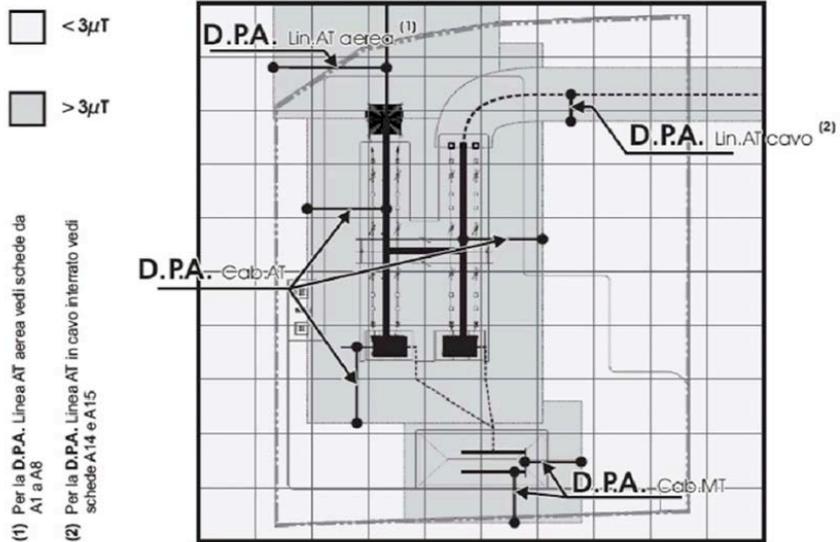
CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO

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

Scheda A14 – CAVI INETRATI – Semplice terna cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV

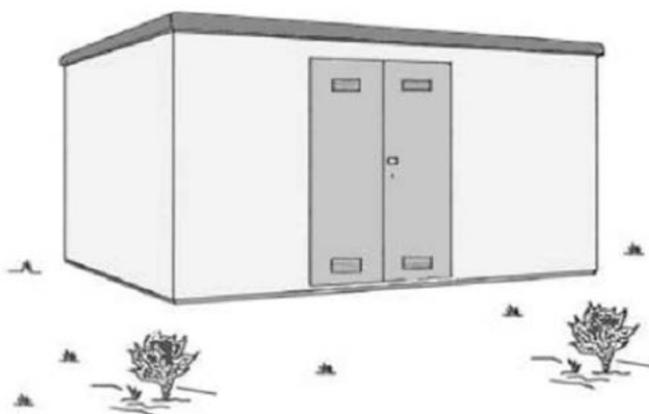


RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.

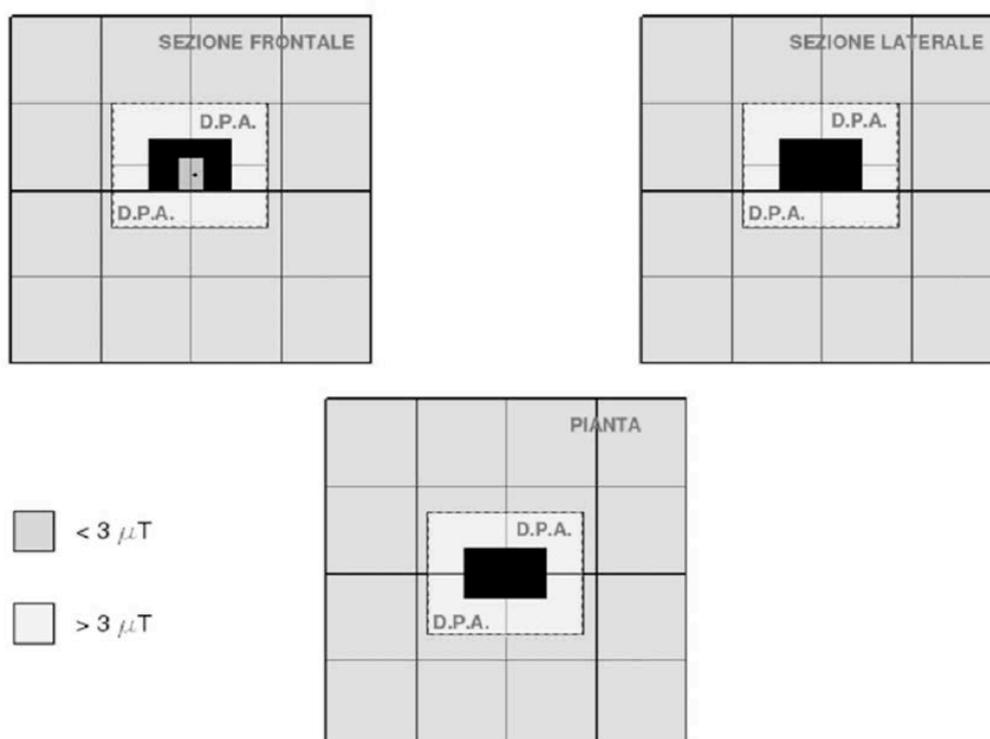


Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						
	D.P.A. Cab. da centro sbarre AT	Distanza tra le fasi AT	Corrente	D.P.A. Cab. da centro sbarre MT	Distanza tra le fasi MT	Corrente	Riferimento
	m	m	A	m	m	A	
63	14	2.20	870	7	0.38	2332	A16

Scheda A16 – CABINA PRIMARIA ISOLATA IN ARIA (32/150 – 15/20 kV)



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



DIAMETRO DEI CAVI (m)	TIPOLOGIA TRASFORMATORE (KVA)	CORRENTE (A)	DPA (m) filo parete esterna	RIF.TO
Da 0,020 a 0,027	250	361	1,5	B10a
	400	578	1,5	B10b
	630	909	2,0	B10c

Scheda B10 – CABINA SECONDARIA Tipo BOX o similari, alimentata in cavo sotterraneo tensione 15 kV o 20 kV

Linee in cavo interrato

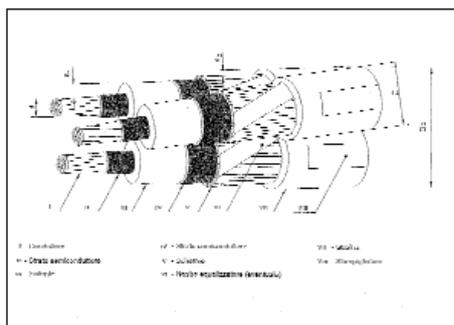
La norma CEI106-12 indica le formule approssimate per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta da un sistema trifase di conduttori rettilinei disposti tra loro parallelamente e percorsi da una terna di correnti equilibrate e simmetriche. Successivamente dimostra che il campo magnetico nell'intorno dei cavi avvolti ad elica è inferiore tanto più quanto è piccolo il passo dell'elica.

Nel progetto presentato si considera la condizione di posa più sfavorevole dal punto di vista di emissioni di campi elettromagnetici in considerazione che, eventuali soluzioni alternative come l'utilizzo di cavi cordati ad elica, possono solo migliorare la criticità dovuta a tale fenomeno emissivo:

- la disposizione delle terne di cavi sarà in piano. Pertanto, in tale configurazione, si applica la formula per conduttori rettilinei disposti in piano e parallelamente;
- si considera il tipico 5B perché genera una fascia di rispetto di maggiore ampiezza essendo maggiore la distanza tra i conduttori;
- gli elettrodotti interrati presentano distanze rilevanti da edifici abitati o stabilmente occupati;
- la corrente viene distribuita alternata e non continua, riducendo così le perdite a parità di tensione.

PARTICOLARE CAVO UNIFICATO ENEL

CAVO PER MEDIA TENSIONE TRIPOLARE AD ELICA VISIBILE
ISOLATO CON GOMMA ETILENPROPYLENICA AD ALTO
MODULO ELASTICO SCHERMATO SOTTO GUAINA DI PVC



Caratteristiche elettriche del cavo sotterraneo unificato Enel

CAVO SOTTERRANEO				
Materiale	Sezione (mm ²)	Portata di Lavoro termico (°C) (A)	Resistenza a 20° (Ω/Km)	Reattanza (Ω/Km)
Alluminio	185	380 (320)	0,194	0,115

Modalità di posa elettrodotto interrato

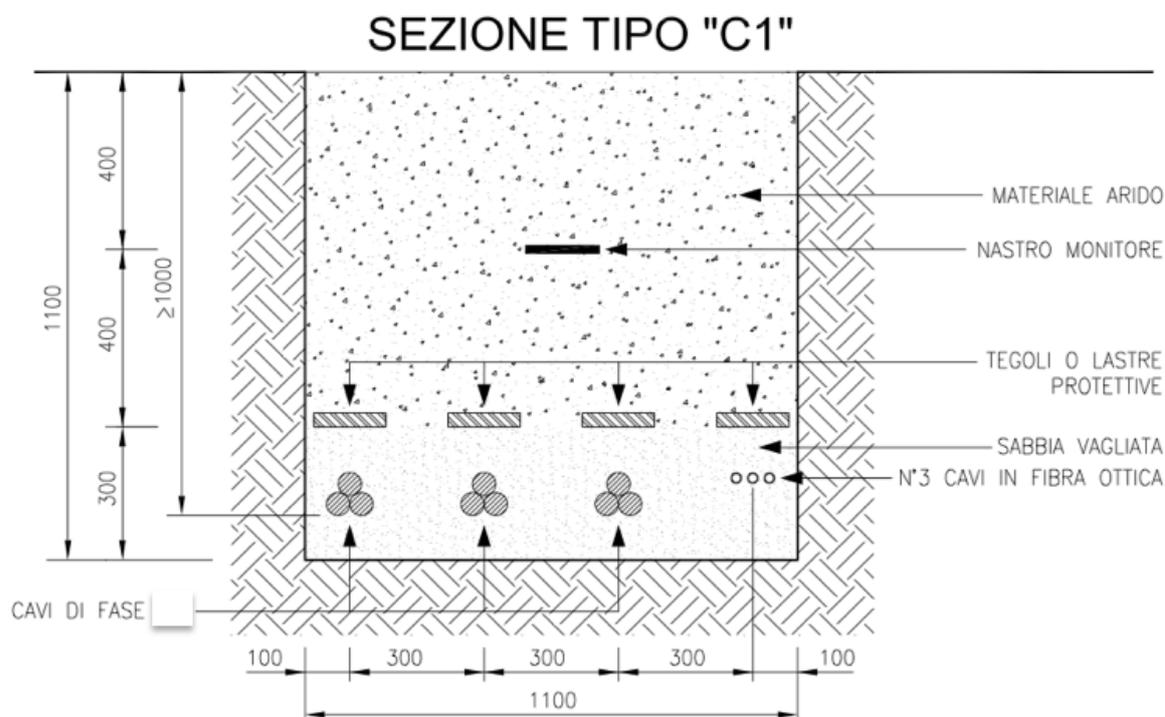
La posa interrata dei cavi avverrà a una profondità maggiore di m.1,10 e una adeguata protezione meccanica sarà posta sui cavi stessi in conformità alla modalità di posa "L" della Norma C.E.I 11-17.

Lo scavo sarà eseguito a sezione obbligata e a profondità costante secondo il tipico applicabile.

Prima della posa dei cavi verrà ricoperto il fondo dello scavo (letto di posa) con uno strato di sabbia avente proprietà dielettriche e per uno spessore secondo il tipico applicabile.

Sarà installata una rete in PVC di colore rosso per protezione e segnalazione dei cavi interrati.

La sezione tipo, con scavo su strada asfaltata, del cavidotto con tensione a 150kV, di collegamento del campo eolico alla stazione primaria è la seguente:



Tutti gli impianti in bassa e media tensione saranno realizzati secondo le prescrizioni della norma CEI 11-1 con particolare riferimento alla scelta dei componenti della disposizione circuitale, degli schemi elettrici, della sicurezza di esercizio.

Più in generale, le modalità di connessione saranno conformi alle disposizioni tecniche emanate dall'autorità per l'energia elettrica e il gas, al Gestore della rete di distribuzione ed in completo accordo con disposizioni e consuetudini tecniche dell'ENEL e con le regole tecniche di connessione previste dal GRTN.

VALORE DEL CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO INDOTTO DAI CAVIDOTTI INTERRATI

Campo elettrico

Il campo elettrico risulta ridotto in maniera significativa per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata. Per le linee elettriche di MT a 50Hz, i campi elettrici misurati attraverso prove sperimentali sono risultati praticamente nulli, per l'effetto schermante delle guaine metalliche e del terreno sovrastante i cavi interrati.

Considerando:

- la tipologia di posa dei cavi previsti in progetto;
- la tipologia di cavidotto definito in progetto: trifase unipolare;

si è stimato il valore del campo elettromagnetico, o meglio le distanze dal cavidotto, che garantiscono il rispetto dei limiti normativi, mediante le formule matematiche per il calcolo del campo magnetico.

Campo magnetico

Il valore del campo magnetico indotto dipende dal valore di corrente elettrica che attraversa il conduttore, pertanto per il calcolo del valore del campo magnetico si è preso in considerazione la linea elettrica interrata destinata al trasporto dell'energia elettrica prodotta dall'intero impianto, ossia si è considerato il cavidotto che raccoglie tutta l'energia elettrica prodotta dall'impianto **eolico** (caso peggiore dal punto di vista dell'induzione di campi elettromagnetici).

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni eseguite per determinare la DPA e la fascia di rispetto lungo le singole tratte dove si riscontra la presenza di uno o più cavi.

La situazione in esame è rappresentata da terne di cavi posati in piano lungo direttrici parallele.

La formula della distanza dal baricentro della configurazione di terne di conduttori (che rappresenta la scelta progettuale adottata per $B=3\mu T$) è la seguente:

$$B = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2}$$

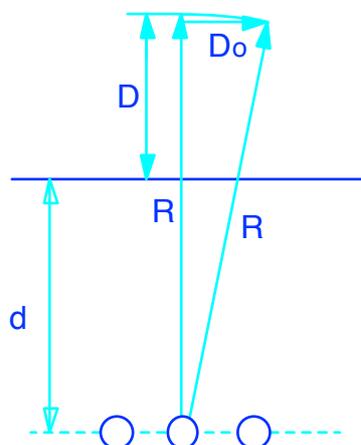
dove:

S rappresenta la distanza tra le generatrici delle terne dei conduttori

R è la distanza o raggio dal centro geometrico dei conduttori rispetto al quale corrisponde un valore di induzione magnetica B pari a $3 \mu T$.

Se a R sottraiamo la distanza di profondità di posa dei conduttori, che nel caso specifico è di circa metri 1,10 otteniamo la distanza di rispetto al di sopra del terreno.

$$D = R - d$$



Inoltre con la relazione seguente può calcolarsi la distanza D_0 in orizzontale dopo la quale il valore della induzione magnetica scende sotto i $3 \mu\text{T}$:

$$D_0 = (0,115 * S * I - d^2)^{0,5}$$

Il cavidotto a valle dell'aerogeneratore 11 lascia l'impianto eolico ed ha la configurazione più penalizzante dal punto di vista elettromagnetico, successivamente si congiunge alla stazione elettrica primaria.

Considerando una disposizione separata dei cavi si calcola la fascia di rispetto nella sezione più sollecitata che corrisponde all'impiego degli aerogeneratori da 7,2 MW, nel caso di impiego di aerogeneratori di minor potenza si ottengono fasce di rispetto di minore entità.

Come già detto una disposizione indipendente consente una migliore gestione dell'impianto e una minore perdita energetica in caso di guasto.

La sezione del cavidotto che produce la maggiore intensità di campo elettromagnetico, a parità di tensione (36kV), sarà quella all'uscita dall'aerogeneratore n.12 con la massima intensità di corrente.

Si è scelto di utilizzare cavi unipolari in alluminio, con isolamento in polietilene reticolato (XLPE), schermo a fili di rame rosso, guaina in PVC, ma potranno adottarsi anche **cavi cordati ad elica**. **In quest'ultimo caso il campo magnetico risulterà quasi nullo.**

I calcoli per la determinazione della DPA sono stati eseguiti con il valore della corrente "I" intesa come corrente nominale di tratta riferita al numero massimo di aerogeneratori collegati con l'ipotesi di posa a profondità 1,2 m, presenza di altri cavi in trincea e resistività del terreno 1,5 mK/W.

Il parco eolico sarà decomposto in sottogruppi, ogni sottogruppo avrà al massimo 5 aerogeneratori con una potenza massima di 36 MW e con terne di cavi di sezione massima di mmq185.

A valle della cabina di raccolta e trasformazione e il cavidotto presenterà la situazione maggiormente rappresentativa dal punto di vista di impatto elettromagnetico.

Utilizzo degli aerogeneratori da 7,2 MW

Sezione a valle dell'intero parco eolico con 32 aerogeneratori:

- Frequenza nominale: 50 Hz
- Tensione nominale: 36 kV
- Potenza nominale: 230,4 MW
- Corrente massima generabile alla tensione di 36kV con 14 terne: 352A
- Distanza (S) tra le generatrici dei cavi: 0,25m

Imponendo il limite di legge:

Obiettivo qualità $B = 3 \mu T \rightarrow R = 3,18m$; **D=2,08m**; $D_0 = 3,17m$

Dunque la sezione che maggiormente può generare campi elettromagnetici risulta quella a valle della cabina di raccolta e trasformazione del parco eolico nell'ipotesi di considerare.

Se consideriamo che la profondità dei cavi sarà non inferiore a metri 1,10 il vettore R che parte dal baricentro dei cavi in direzione verticale avrà. Nel peggiore delle ipotesi, una estensione pari a $R=m.3,18$; la distanza verticale a partire dalla superficie del terreno all'interno della quale è corretto ritenere che non ci sia presenza di persone risulta pari a $D = m.2,08$, **la stessa si estende in orizzontale per $D_0 = m.3,17$.**

CABINE DI TRASFORMAZIONE

La metodologia di calcolo applicata è quella contenuta nella **Guida CEI 106-12 (2006)**. In essa vengono proposte alcune formule per il calcolo dell'induzione magnetica in riferimento alle sorgenti di campo magnetico a 50 Hz individuate all'interno delle cabina 30/150kV: le sorgenti che producono significativi valori di induzione magnetica negli ambienti esterni, dove è possibile la permanenza di persone, sono individuate dai sistemi trifase di conduttori per il trasporto di corrente elettrica, considerate normalmente equilibrate e simmetriche e con diversa disposizione geometrica. Per la determinazione della fascia di rispetto si farà riferimento al sistema trifase di conduttori percorsi dalla corrente di media tensione ed impiegati nel collegamento diretto fra il parco eolico e la stazione elettrica; la geometria considerata è quella di conduttori disposti

parallelamente fra loro ed in piano, con distanza fra le fasi pari alla distanza tra i poli di connessione del trasformatore.

La formula utilizzata per il calcolo dell'induzione magnetica è la seguente:

$$B = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2}$$

dove:

B = Valore efficace del vettore induzione magnetica (μT);

I = Corrente nominale in ingresso al trasformatore elevatore (A);

S = Distanza tra i conduttori (m);

R = Distanza corrispondente all'obiettivo di qualità pari a 3 μT (m).

CABINA IMPIANTO

Relativamente alla cabina di trasformazione 36/150kV in esame, ipotizzando quattro trasformatori, si riportano nel seguito i dati, con riferimento alle formule precedentemente esposte:

Cabina utente:

- Valore efficace del vettore induzione magnetica (μT) = 3;
- I = Corrente nominale in ingresso su un trasformatore elev. (A) = 1027;
- S = Distanza tra i conduttori (m) = 0,25;

Risulta:

Calcolo dell'ampiezza della fascia di rispetto secondo la Guida CEI 106-12:

$$R = 5,44 \text{ m}$$

Risulta ovvio che qualora si adottano soluzioni con più trasformatori il valore dell'ampiezza della fascia di rispetto diminuisce proporzionalmente.

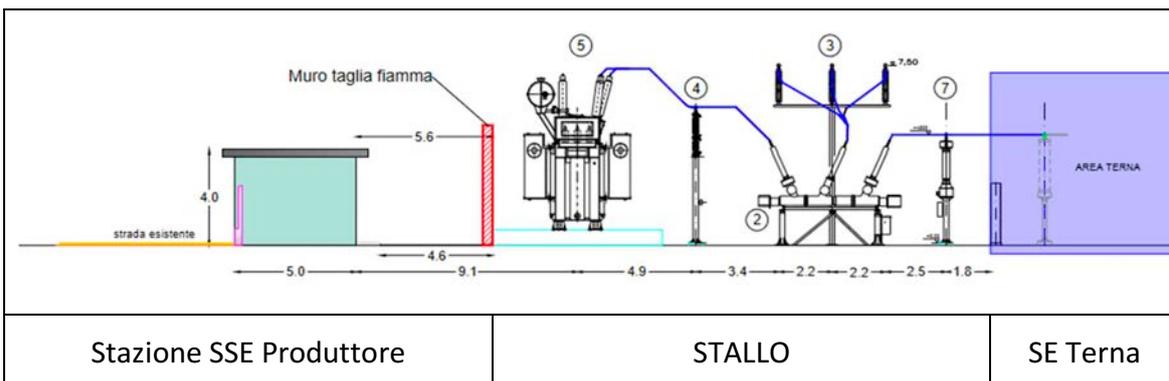
Cabina impianto di accumulo

La cabina di accumulo opera ad una tensione di 36kV dunque nella peggiore delle ipotesi la fascia di rispetto generata è identica al valore ottenuto per la cabina impianto di trasformazione 36/150kV, pari a

$$R = 5,44 \text{ m}$$

Impianto di consegna AT/MT – Futura stazione SSE/SE

Schema tipico di collegamento di un impianto eolico è costituito dallo stallo della stazione elettrica Terna mediante sistema a sbarre. La corrente generata dall'impianto finirà in una sottostazione SSE gestita dal produttore e uno stallo di trasformazione.



La SSE Produttore comprenderà un edificio tecnico in muratura prefabbricato o gettato in opera che conterrà tutte le apparecchiature di protezione, sezionamento, interruzione, misura e controllo necessarie per il regolare esercizio dell'impianto e della sua connessione alla RTN.



La Stazione Elettrica SSE di consegna del produttore avrà uno stallo a **150/380kV** è risulta ubicata in **prossimità della stazione SE TERNA**.

Dal punto di vista costruttivo, i locali saranno realizzati con struttura portante in c.a. o nel caso di scheltes a pannelli prefabbricati, tutti di tipo REI. Inoltre, le pareti sul lato dei trasformatori, con distanze minori a 10m, verranno realizzate con materiali completamente ignifughi per scongiurare il rischio incendio e verrà realizzato un muro tagliafiamma tra la vasca trafo e i locali tecnici.

Gli edifici prefabbricati saranno poggiati su una vasca in c.a. semi interrata a sua volta poggiata su una superficie in magrone livellante in calcestruzzo magro. In tal modo resterà realizzata una vasca sottostante il pavimento, idonea ad accogliere il passaggio dei cavi elettrici

Relativamente alla cabina di trasformazione **150/380kV** in esame, ipotizzando **un** trasformatore, si riportano nel seguito i dati, con riferimento alle formule precedentemente esposte:

Cabina utente:

- Valore efficace del vettore induzione magnetica (μT) = 3;
- I = Corrente nominale in ingresso su un trasformatore elev. (A) = 896;
- S = Distanza tra i conduttori (m) = 0,25;

Risulta:

Calcolo dell'ampiezza della fascia di rispetto secondo la Guida CEI 106-12:

$$R = 5,3 \text{ m}$$

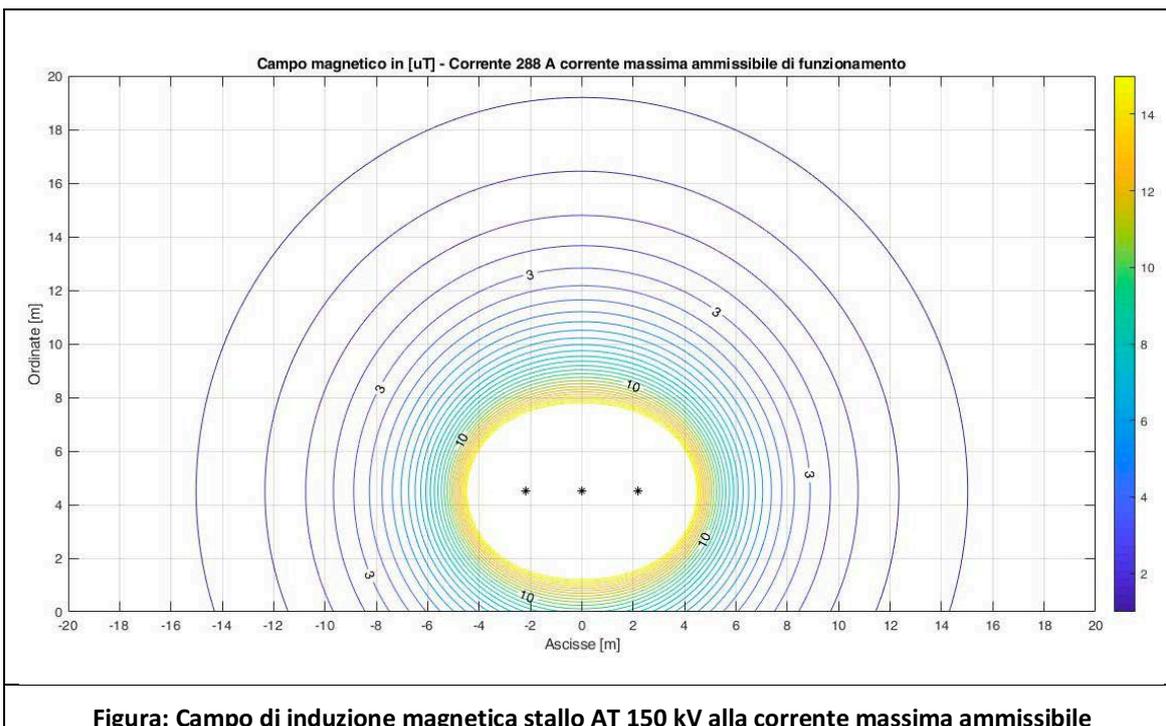
Risulta ovvio che qualora si adottano soluzioni con più trasformatori il valore dell'ampiezza della fascia di rispetto diminuisce proporzionalmente.

Il DPCM 8 luglio 2003 stabilisce che la corrente da utilizzare nel calcolo del campo di induzione magnetica è la portata in corrente di servizio normale. Relativamente alle linee aeree con tensione superiore ai 100 kV, il DM 29 maggio 2008 specifica che tale valore è dato dalla portata di corrente in servizio normale come definito dalla norma CEI 11-60, che per i conduttori a 132÷150 kV è stabilito essere pari a 870 A.

Nella realtà la potenza complessiva erogabile dall'impianto di generazione elettrica è limitata a 75 MVA, limite di potenza in immissione in rete definito dalla TICA; questo implica che la corrente massima che potrà circolare nella sezione AT dell'impianto non supererà mai il valore dato dalla seguente relazione:

$$I_{max} = \frac{A}{V_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{75.000.000}{150.000 \cdot \sqrt{3}} = 288 \text{ A}$$

La Figura che segue riporta i valori del campo di induzione magnetica calcolato per lo stesso stallo AT percorso dalla corrente massima ammissibile sui cavi in base alle limitazioni fissate dalla TICA e dalla potenza delle apparecchiature installate.



Sulla base dei valori di campo di induzione magnetica riportati in Figura è possibile osservare come, la DPA ai fini del rispetto dell'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ sia approssimabile per eccesso a **7 m**.

È quindi possibile concludere che il trasformatore e lo stallo AT previsti all'interno della stazione di elevazione, sita a sua volta all'interno di un'area agricola e disabitata, in cui non è presumibile la presenza di persone per periodi significativi. In nessun caso ricadono all'interno della DPA aree ambienti abitativi, aree gioco per l'infanzia, scuole o luoghi dove si possa soggiornare per più di 4 ore al giorno. Inoltre, l'area in cui si raggiunge la soglia di attenzione di $3 \mu\text{T}$ è interamente compresa all'interno del perimetro della stazione.

CONCLUSIONI SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO INDOTTO DAL CAVIDOTTO, DALLA CABINA DI TRASFORMAZIONE E DALLO STALLO

Da quanto riportato nei precedenti paragrafi, nonché nei calcoli sopra eseguiti, risulta evidente che i campi generati sono tali da rientrare nei limiti di legge.

La fascia di rispetto **per il cavidotto** calcolata con l'obiettivo qualità da considerarsi sull'area al di sopra dello scavo, cioè dal piano strada, risulta estesa per una distanza verticale di $D = \text{m.2,08}$ e per una estensione in orizzontale pari a **$D_0 = \text{m.3,17}$** .

La fascia di rispetto **per la cabina di trasformazione 30/150kV** calcolata con l'obiettivo qualità da considerarsi a partire dal trasformatore risulta pari a circa **R=m.5,96**.

Per lo stallo pur volendo considerare in eccesso la DPA pari a m.7, il trasformatore e lo stallo AT, previsti all'interno della stazione di elevazione, sita a sua volta all'interno di un'area agricola e disabitata in cui non è presumibile la presenza di persone per periodi significativi.

Dalla verifica puntuale di tutto il percorso del cavidotto, in prossimità della cabina utente 30/150kV e dello stallo non esistono ricettori ordinari e tantomeno sensibili all'interno delle fasce di rispetto come sopra definite.

Pertanto, dal punto di vista della compatibilità elettromagnetica il l'impianto nel complesso è conforme alla normativa vigente.

Si allega il percorso del cavidotto, dove lo spessore della linea rossa in scala è di m.3,17, arrotondato a m.3,2, essa rappresenta l'ampiezza della fascia di rispetto.



A maggior rappresentazione si riportano i ricettori lungo la fascia di rispetto rappresentata dalla linea rossa di spessore di m.3,17.

