



Comune di LUCERA



REGIONE PUGLIA

PROCEDIMENTO UNICO AMBIENTALE - Art.27 D.Lgs. 152/2006 ss.mm.ii.

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO
"LUCERIA"**

Nel Comune di Lucera

N.33 aerogeneratori di potenza fino a 6MW

**VALUTAZIONE DI IMPATTO ELETTROMAGNETICO
CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO**

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

Proponente:



AEP s.r.l.

P.zza Giovanni Paolo II, 8
71017 Torremaggiore (FG)
aepvento@pec.it

Visti:

Progettazione:



Tecnico Competente:

Ing. Francesco Di Cosmo



Elaborazione: **MAGGIO 2022**

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 33 aerogeneratori e opere di connessione da ubicare nel Comune di Lucera.

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
Siemens Gamesa 6.0-170	6,0	145	170	10	230

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 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).

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)

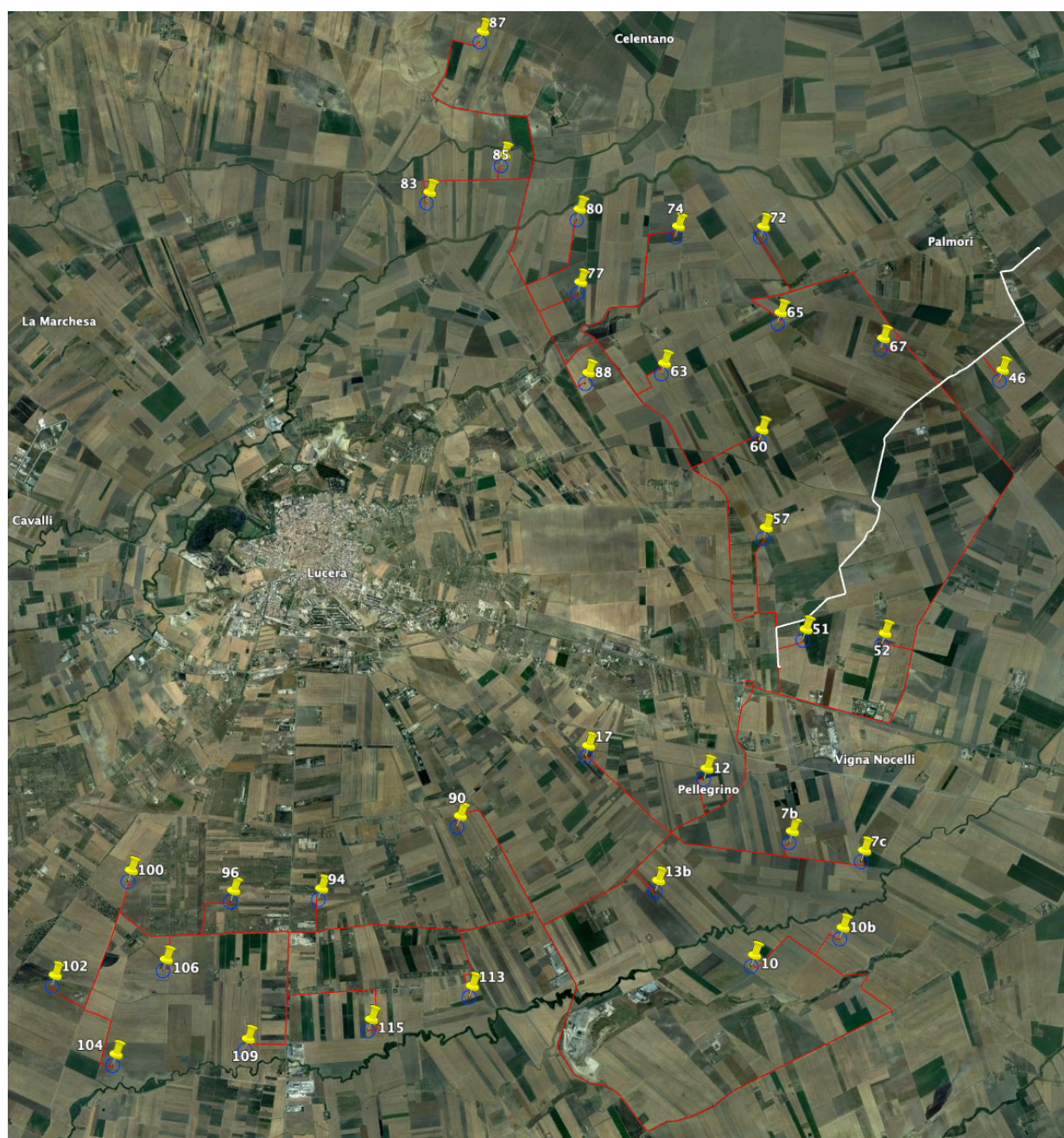
Per le **linee** è "*la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della Dpa, si trovi all'esterno delle fasce di rispetto*". Per le **cabine** è la distanza, in pianta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

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 Lucera (FG). L'aerogeneratore n.90 è il più vicino al centro abitato di Lucera e dista circa km 3,3.

Il progetto prevede la costruzione di:

- un impianto eolico di **33** aerogeneratori con cabina di trasformazione **0,6/30kV** ubicati nel Comune di Lucera.



- i cavidotti di interconnessione in M.T. (30kV) interni all'impianto
- una cabina di raccolta e trasformazione **30/150kV**, ubicata nei pressi dell'aerogeneratore 51

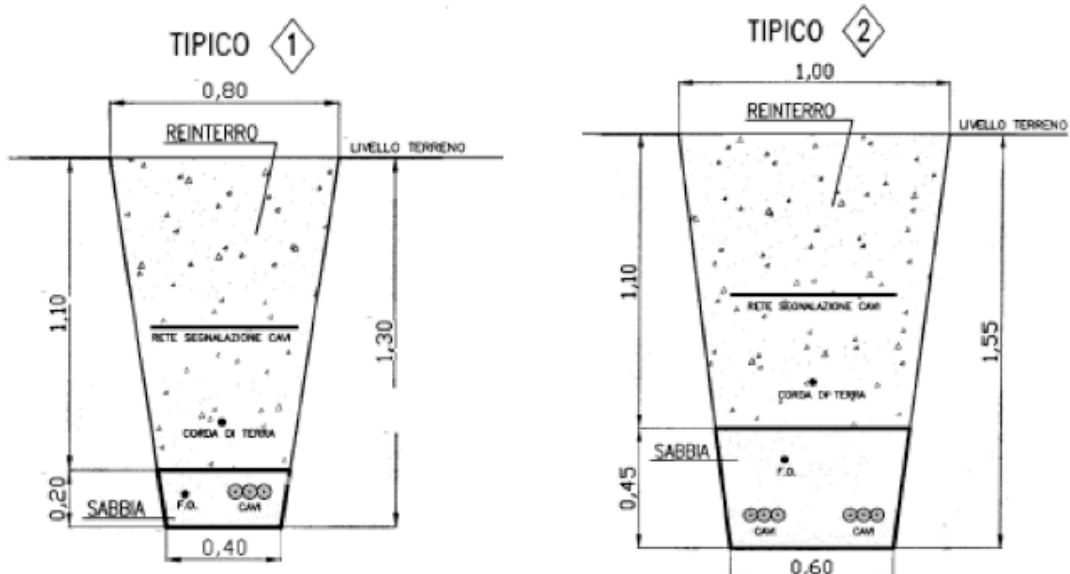
- il cavidotto esterno che parte dalla cabina di interconnessione fino al punto di consegna dell'energia prodotta, previsto nella Stazione Primaria del GSE (Terna SpA). In sostanza il cavidotto sterno sarà costituito da una dorsale principale (in colore bianco nella ortofoto precedente) a 150kV che parte dalla cabina di raccolta e trasformazione 30/150kV e arriva alla sottostazione di consegna al GSE ubicata nel Comune di **Lucera in località "Palmori"**.

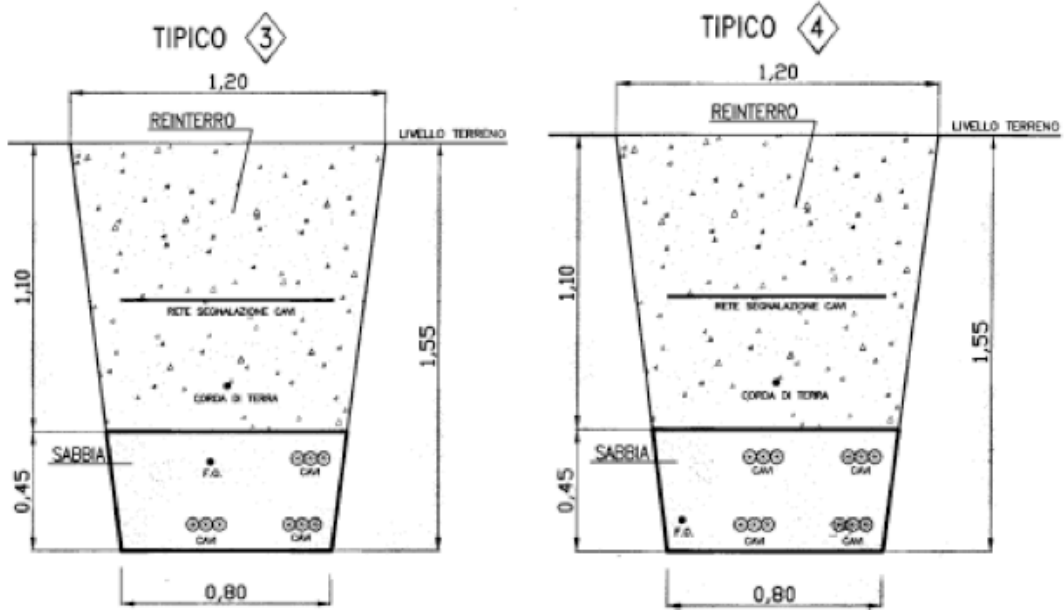
Per garantire una sufficiente elasticità ed indipendenza di esercizio, gli aerogeneratori sono collegati con cavi elettrici separati, garantendo così una continuità di servizio indipendente anche durante il fuori esercizio di uno solo per esigenze di manutenzione.

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 **650 V** (tensione in uscita dal generatore) a **30 kV** (tensione in uscita dal trasformatore). L'energia prodotta verrà trasportata tramite cavidotti interrati (a **30kV**) 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.

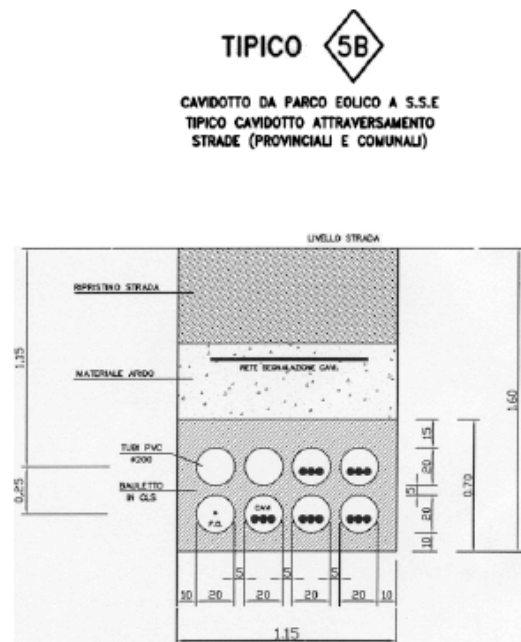
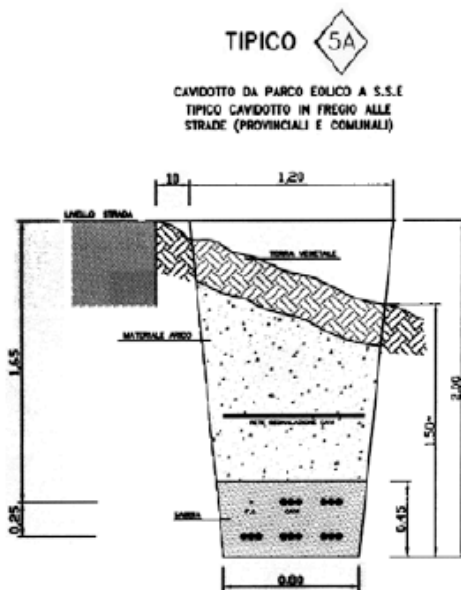
I tipici 1-2-3-4 sotto riportati sono riferiti alle vie cavo all'interno del Parco Eolico e si differenziano fra loro per il numero dei cavi contenuti.

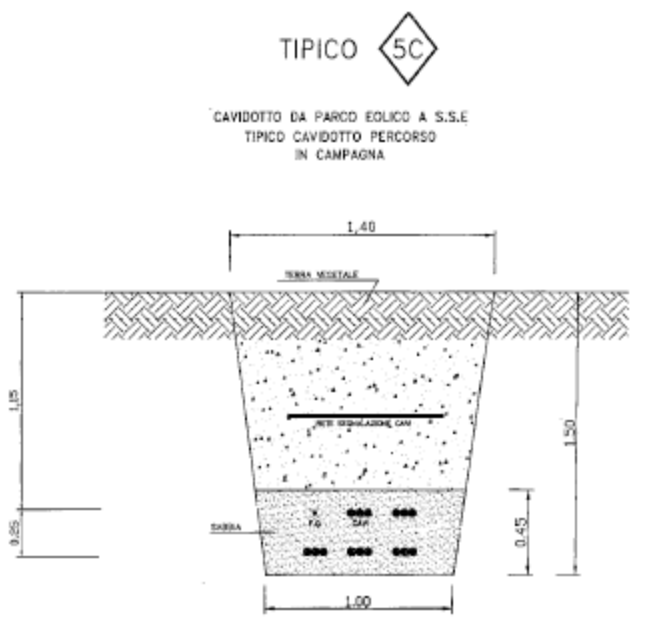




I tipici 5A-5B-5C, sotto riportati, sono riferiti al cavidotto di interconnessione tra il Parco Eolico e la Stazione di Trasformazione e consegna:

- 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

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.

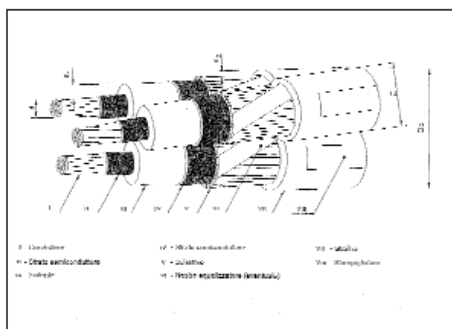
Nel progetto presentato si considera la condizione di posa più sfavorevole dal punto di vista di emissioni di campi elettromagnetici in considerazione che, eventuali soluzioni alternative come l'utilizzo di cavi cordati ad elica, possono solo migliorare la criticità dovuta a tale fenomeno emissivo:

- 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				
Modello	Sezione (mm ²)	Portata di Linea aerea (A)	Resistenza a 20° (Ω/Km)	Reattanza (Ω/Km)
A00000	185	260 (320)	0,184	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.

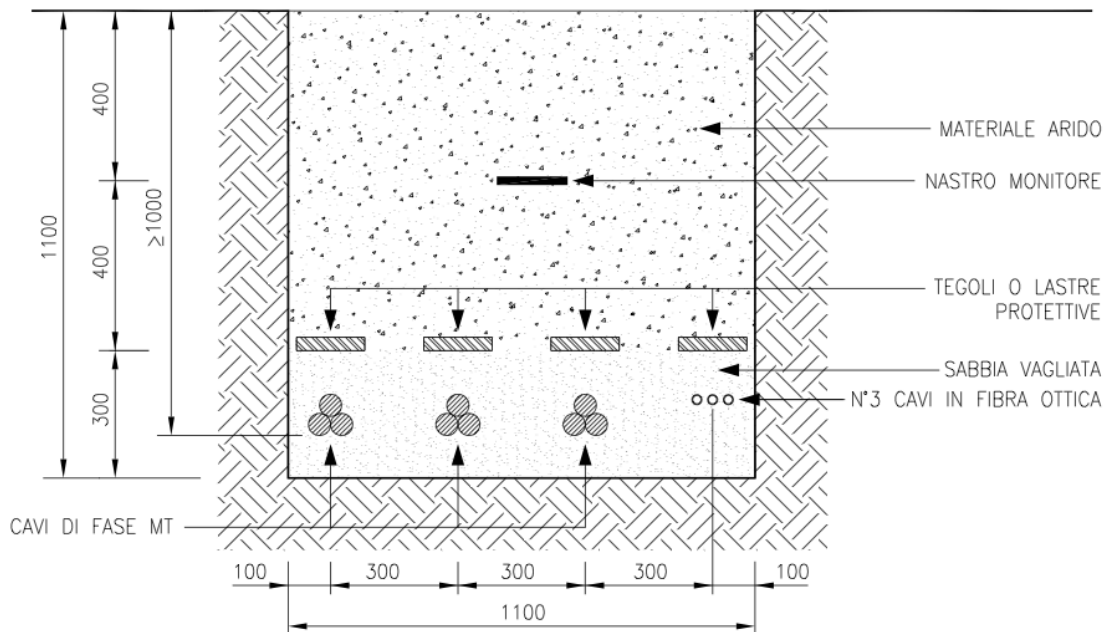
Lo scavo sarà eseguito a sezione obbligata e a profondità costante secondo il tipico applicabile.

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:

SEZIONE TIPO "C1"



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 $B=3\mu\text{T}$) è la seguente:

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

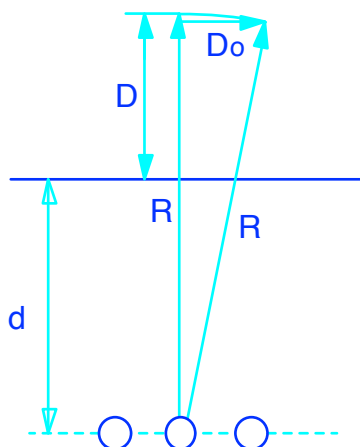
dove:

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 $3 \mu\text{T}$.

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 51 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 6 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 (30kV), sarà quella all'uscita dall'aerogeneratore n.51 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.

persone risulta pari a $D = m.1,96$, la stessa si estende in orizzontale per $D_0 = m.3,05$.

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 $3 \mu\text{T}$ (m).

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.3,06.

Dalla verifica puntuale di tutto il percorso del cavidotto e in prossimità della cabina utente 30/150kV non esistono recettori 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.