

 <p>Comune di CASTELNUOVO DELLA DAUNIA</p>	 <p>Comune di CASALVECCHIO DI PUGLIA</p>	 <p>Comune di SAN PAOLO CIVITATE</p>	 <p>Comune di TORREMAGGIORE</p>
---	---	--	--

PROGETTO DEFINITIVO PARCO EOLICO “CAMMARATA”
N.36 aerogeneratori di potenza fino a 7,2MW

VALUTAZIONE DI IMPATTO ELETTROMAGNETICO
CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO
L.R. 9-10-2008 n.25 - DPCM 8-7-03 - DM 29-5-08

<p>Committente:</p>  <p><i>NVA S.r.l.</i> <i>Via Lepetit, 8</i> <i>20045 Lainate (MI)</i> <i>info@nvarenewables.com</i> nva.srl@pecimprese.it</p>	<p>Visti:</p>
<p>Progettazione:</p>  <p>Ambiente & Sicurezza <i>Servizio Prevenzione & Protezione</i> <i>Prof. Francesco Di Cosmo</i></p>	<p>Tecnico Competente: Ing. Francesco Di Cosmo</p> 
<p>Elaborazione:</p>	<p>31 OTTOBRE 2023</p>

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 36 aerogeneratori e opere di connessione da ubicare nei Comuni di Castelnuovo della Daunia, Casalvecchio di Puglia, San Paolo Civitate Torremaggiore tutti in provincia di Foggia.

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 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)

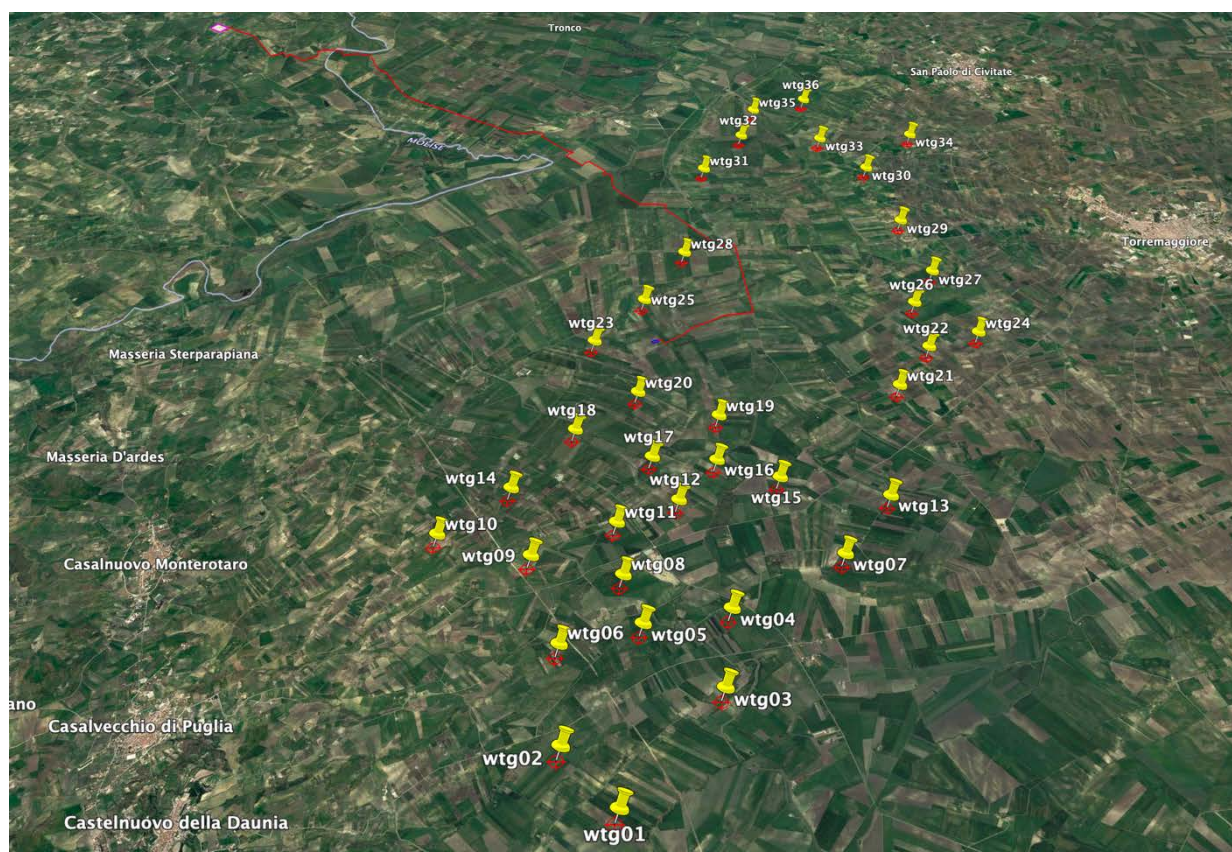
Per le **linee** è "*la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della Dpa, si trovi all'esterno delle fasce di rispetto*". Per le **cabine** è la distanza, in pianta 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 nord-est dei centri abitati dei comuni di [Casalvecchio di Puglia](#) e [Castelnuovo della Daunia](#) ed a sud-ovest dei centri abitati dei comuni di [Torremaggiore](#) e [San Paolo Civitate \(FG\)](#). Il parco eolico si conetterà prima ad una stazione di elevazione che porterà la tensione da 36 kV a 380 kV per essere trasportata alla stazione Terna Distribuzione ubicata nel Comune di Rotello in provincia di Campobasso.

Il progetto prevede, dunque, la costruzione di:

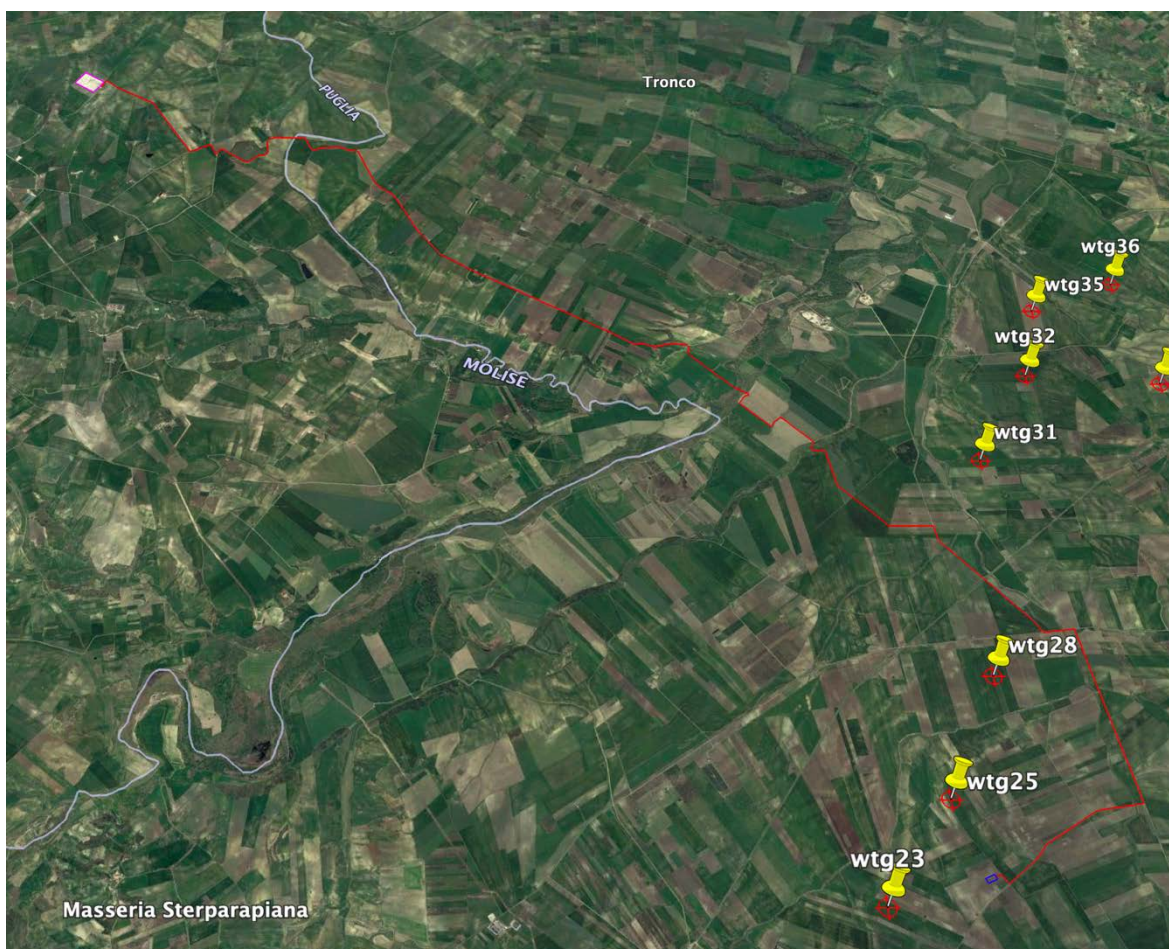
- un impianto eolico di 36 aerogeneratori con cabina di trasformazione 0,6/36kV ubicati nei comuni di [Casalvecchio di Puglia](#) e [Castelnuovo della Daunia](#) ed a sud-ovest dei centri abitati dei comuni di [Torremaggiore](#) e [San Paolo Civitate \(FG\)](#).



- i cavidotti di interconnessione in A.T. (36kV) interni all'impianto
- una cabina di raccolta ed elevazione 36/380kV, ubicata in prossimità degli aerogeneratori n.20, 23 e n.25



- 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 380kV che parte dalla cabina di raccolta e trasformazione 36/380kV e arriva alla sottostazione denominata "Rotello" di consegna al GSE ubicata nel Comune di [Rotello in provincia di Campobasso](#).



La numerazione e le coordinate geografiche nel sistema UTM 33N WGS84 sono le seguenti:

COORDINATE UTM 33N WGS 84 EST (X)	COORDINATE UTM 33N WGS 84 NORD (Y)	TORRE WTG
515116.0000	4603557.0000	WTG 01
514380.0000	4604408.0000	WTG 02
516383.1105	4605266.4958	WTG 03
516495.0000	4606535.0000	WTG 04
515332.2575	4606282.4882	WTG 05
514261.0000	4605945.0000	WTG 06
518061.0000	4607488.0000	WTG 07
515047.0000	4607110.0000	WTG 08
513779.0000	4607451.0000	WTG 09
512455.0000	4607842.0000	WTG 10
514927.0000	4608068.0000	WTG 11
515790.0000	4608498.0000	WTG 12
518795.1700	4608588.3413	WTG 13
513396.0000	4608733.0000	WTG 14
517241.6289	4608953.9956	WTG 15
516341.0000	4609305.0000	WTG 16
515398.1026	4609369.8299	WTG 17
514242.0000	4609944.0000	WTG 18
516386.0000	4610257.0000	WTG 19
515156.0000	4610783.0000	WTG 20
519184.0000	4610947.0000	WTG 21
519752.0000	4611869.0000	WTG 22
514433.5977	4612003.5282	WTG 23
520590.0000	4612230.0000	WTG 24
515207.0000	4613065.0000	WTG 25
519653.5342	4612997.0955	WTG 26
520054.3940	4613852.3117	WTG 27
515866.0000	4614380.0000	WTG 28
519684.0000	4615333.0000	WTG 29
519232.3159	4617024.8273	WTG 30
516223.0000	4616987.0000	WTG 31
516947.0000	4618137.0000	WTG32
518443.0000	4618028.0000	WTG 33
520175.7242	4618173.5875	WTG 34
517213.3502	4619076.3626	WTG 35
518219.0000	4619475.0000	WTG 36

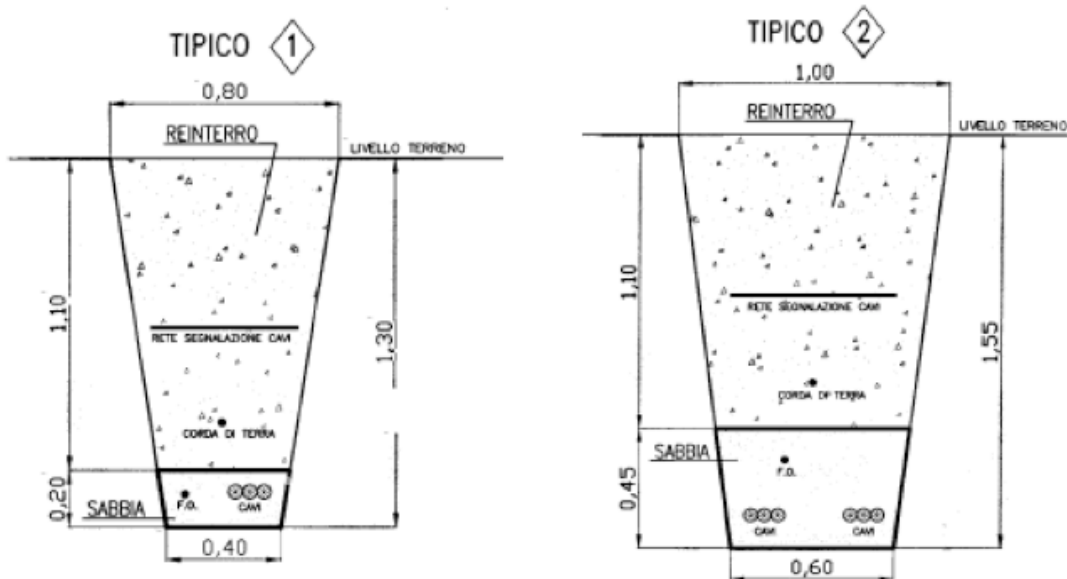
Coordinate relative all'ubicazione georeferenziata delle singole turbine nel sistema di riferimento UTM 84-33N.

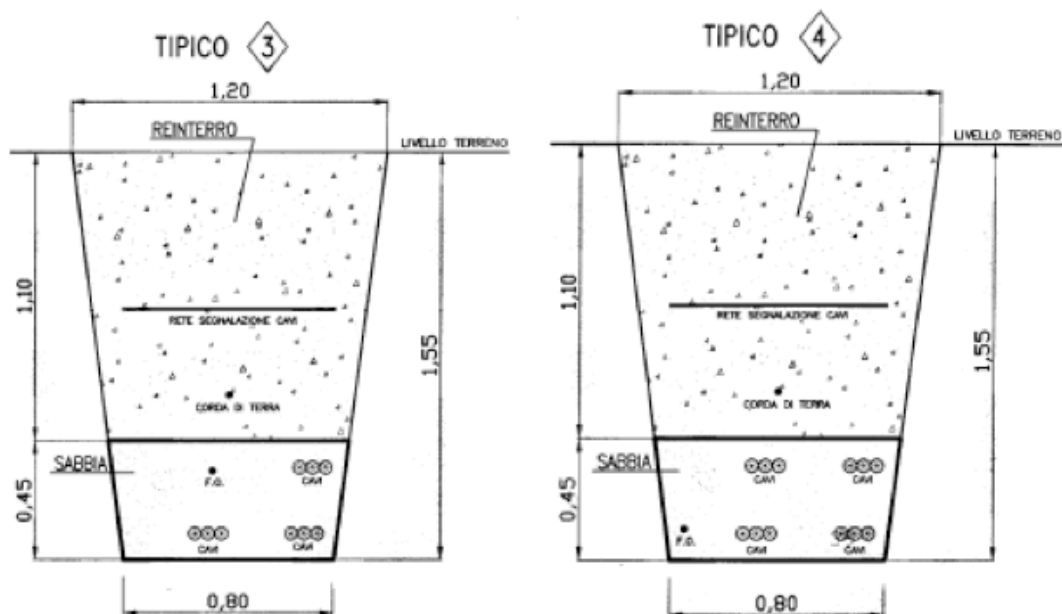
Per garantire una sufficiente elasticità ed indipendenza di esercizio, gli aerogeneratori sono collegati con cavi elettrici separati, garantendo così una continuità di servizio indipendente anche durante il fuori esercizio di uno solo per esigenze di manutenzione.

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.

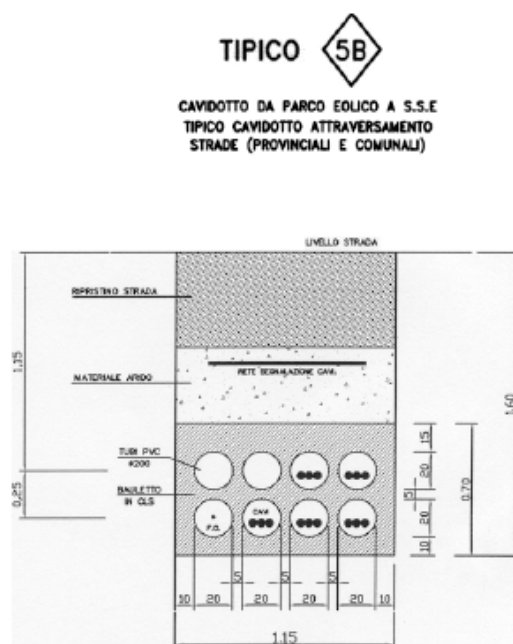
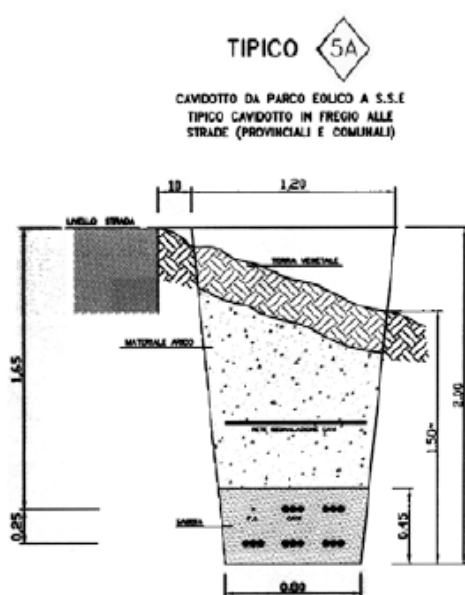
I tipici 1-2-3-4 sotto riportati sono riferiti alle vie cavo all'interno del Parco Eolico e si differenziano fra loro per il numero dei cavi contenuti.

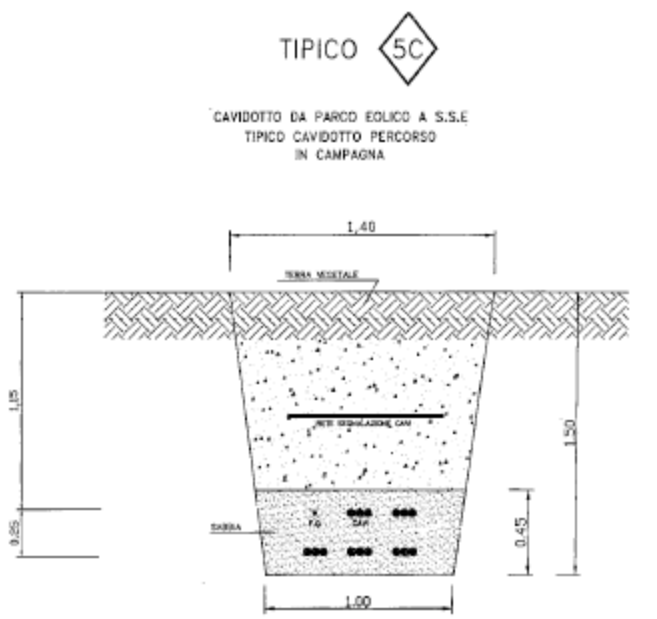




I tipici 5A-5B-5C, sotto riportati, sono riferiti al cavidotto di interconnessione tra il Parco Eolico e la Stazione di Trasformazione e consegna:

- 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

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.

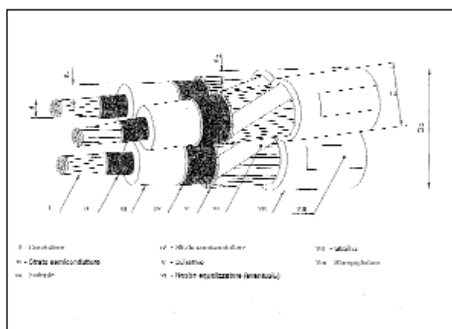
Nel progetto presentato si considera la condizione di posa più sfavorevole dal punto di vista di emissioni di campi elettromagnetici in considerazione che, eventuali soluzioni alternative come l'utilizzo di cavi cordati ad elica, possono solo migliorare la criticità dovuta a tale fenomeno emissivo:

- 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)
Aluminio	185	380 (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.

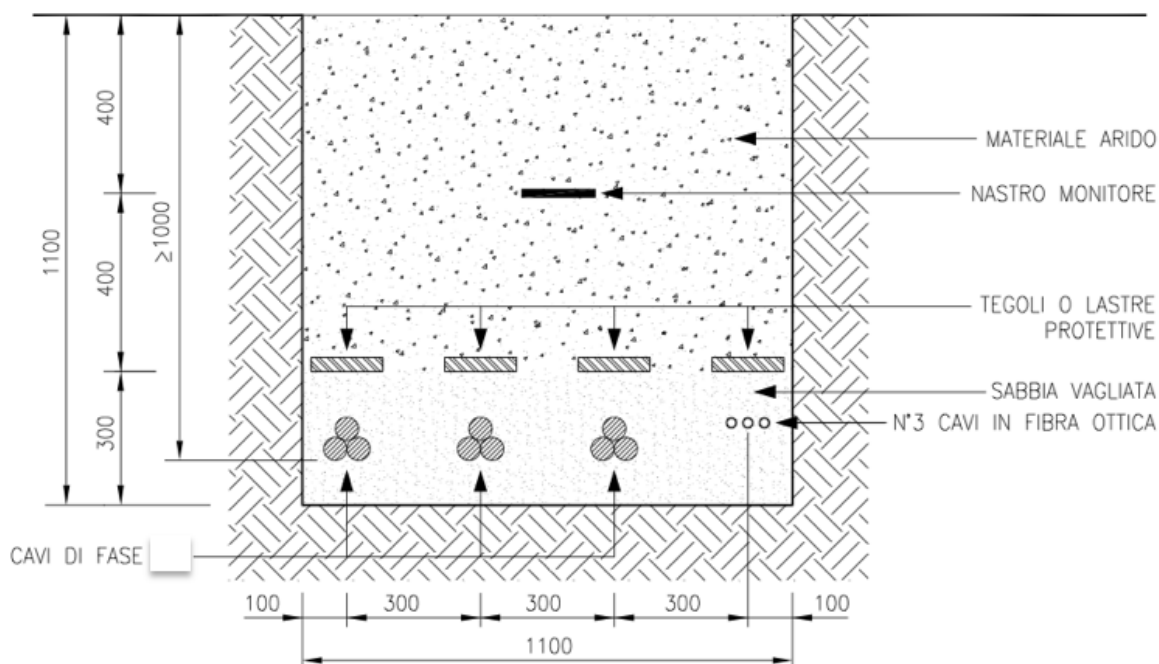
Lo scavo sarà eseguito a sezione obbligata e a profondità costante secondo il tipico applicabile.

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:

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

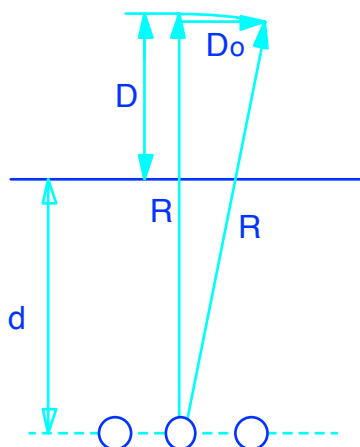
dove:

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 **28** 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, sarà quella all'uscita dall'aerogeneratore **n.28** 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**.

Utilizzo degli aerogeneratori da 7,2 MW – a monte della cabina di elevazione

Sezione a monte della cabina di elevazione parco eolico con **36** aerogeneratori con gruppi al massimo di 5 aerogeneratori:

- Frequenza nominale: 50 Hz
- Tensione nominale: **36 kV**
- Potenza nominale: **36 MW**
- Corrente massima generabile alla tensione di **36kV con 2 terne: 321A**
- Distanza (S) tra le generatrici dei cavi: 0,25m

Imponendo il limite di legge:

Obiettivo qualità $B = 3 \mu\text{T}$ -> $R = 3,04\text{m}$; **D=1,94m**; $D_0 = 3,02\text{m}$

Utilizzo degli aerogeneratori da 7,2 MW – a valle della cabina di

elevazione Sezione a valle dell'intero parco eolico con 36 aerogeneratori:

- Frequenza nominale: 50 Hz
- Tensione nominale: 380 kV
- Potenza nominale: 259,2 MW
- Corrente massima generabile alla tensione di 380kV con 1 terna: 414,54A
- Distanza (S) tra le generatrici dei cavi: 0,25m

Imponendo il limite di legge:

Obiettivo qualità $B = 3 \mu\text{T}$ -> $R = 2,93\text{m}$; **D=1,83m**; $D_0 = 2,92\text{m}$

Dunque la sezione che maggiormente può generare campi elettromagnetici risulta quella a monte della cabina di elevazione con gruppi di massimo 5 aerogeneratori e 1 terna di cavo da 630 mmq.

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 $R = m.3,04$; 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 $D = m.1,94$, la stessa si estende in orizzontale per $D_0 = m.3,02$.

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 36/380kV: 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).

Relativamente alla cabina di trasformazione **36/380kV** 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) = **931**;
- S = Distanza tra i conduttori (m) = 0,25;

Risulta:

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

$$R = 5,77 \text{ m}$$

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

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

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 $D = \text{m}.1,94$ e per una estensione in orizzontale pari a $D_0 = \text{m}.3,03$.

La fascia di rispetto per la cabina di trasformazione 36/380kV calcolata con l'obiettivo qualità da considerarsi a partire dal trasformatore risulta pari a circa $R = \text{m}.5,77$.

Dalla verifica puntuale di tutto il percorso del cavidotto e in prossimità della cabina utente 36/380kV 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.