

REGIONE PUGLIA  
CITTA' METROPOLITANA DI BARI  
COMUNI DI GRAVINA IN PUGLIA E ALTAMURA



# AUTORIZZAZIONE UNICA EX D.LGS. 387/2003

## Progetto Definitivo Parco eolico "Silvium" e opere connesse

TITOLO ELABORATO

CODICE ELABORATO

### Relazione tecnica interferenza linee elettriche interrato con reti interrato di telecomunicazione

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0477	A	R19	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione

SCALA

—

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
febbraio 2022	prima emissione	GMA	GMA	GDS

PROPONENTE



#### wpd Silvium s.r.l.

Corso d'Italia 83  
00198 Roma (RM)  
Tel: +39 06 960 353 01  
wpdsilviumsrll@legalmail.it  
P.IVA. 16496431004

PROGETTAZIONE



#### F4 ingegneria srl

via Di Giura - Centro Direzionale, 85100 Potenza  
Tel: +39 0971 1 944 797 - Fax: +39 0971 5 54 52  
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico  
(ing. Giovanni Di Santo)



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





## Sommario

<b>1 Premessa</b>	<b>2</b>
<b>2 Concetti fondamentali</b>	<b>5</b>
<b>3 Interferenza elettromagnetica (CEI 103-6:1997)</b>	<b>6</b>
<b>4 Valori ammissibili per la tensione indotta</b>	<b>9</b>
<b>4.1 Criteri di calcolo</b>	<b>10</b>
<b>5 Calcolo della f.e.m. nei parallelismi</b>	<b>11</b>
<b>6 Calcolo della f.e.m. nei tratti di esposizione obliqua</b>	<b>13</b>
<b>7 Calcolo della f.e.m. negli attraversamenti</b>	<b>14</b>
<b>8 Calcolo della f.e.m. longitudinale indotta totale</b>	<b>15</b>
<b>9 Coesistenza tra cavi di energia e cavi di telecomunicazioni – regole generali</b>	<b>16</b>
<b>9.1 Parallelismi</b>	<b>16</b>
<b>9.2 Incroci</b>	<b>17</b>
<b>10 Risultati di calcolo</b>	<b>18</b>
<b>10.1 Elettrodotto in cavo interrato AT – 36 kV</b>	<b>18</b>



# 1 Premessa

Scopo della presente relazione è la valutazione e la misura dei fenomeni di induzione elettromagnetica prodotti dalle linee elettriche di trasporto dell'energia a corrente alternata in caso di guasto sulle linee di telecomunicazione vicine. Il calcolo è stato effettuato ai sensi della Norma CEI 103-6:1997 - *Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto*. Gli scriventi hanno operato sulla base dei dati forniti dalla committenza oltre che dei sopralluoghi e dei riferimenti alle normative vigenti in materia.

In particolare il Parco Eolico denominato "Silvium", unitamente alle opere connesse, ricade interamente in provincia di Bari, e nello specifico risulta localizzato nei territori comunali di Gravina in Puglia e Altamura e sarà costituito da 6 aerogeneratori di potenza unitaria pari a 6.6 MW, per una potenza complessiva di 39.6 MW.

In base alla soluzione di connessione (soluzione tecnica minima generale STMG - codice pratica del preventivo di connessione 202102201), il futuro impianto eolico sarà collegato in antenna a 36 kV su una futura Stazione Elettrica (SE) della RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN a 150 kV "Matera Nord – Altamura All.", previa realizzazione:

- dei raccordi di entra – esce della direttrice RTN a 150 kV "Pellicciari – Gravina – Altamura" ad una futura SE di Trasformazione a 380/150 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Genzano – Matera";
- del potenziamento/rifacimento della linea RTN a 150 kV "CP Matera Nord – Altamura All.";
- dell'intervento 520-P previsto dal Piano di Sviluppo Terna.

Il nuovo elettrodotto in cavo interrato a 36 kV, per il collegamento del parco eolico in oggetto sulla Stazione Elettrica della RTN, costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo 150/36 kV costituisce impianto di rete per la connessione.

Si rappresenta, inoltre, che, al fine di razionalizzare l'utilizzo delle future infrastrutture di rete, sarà necessario condividere lo stallo in stazione RTN Terna con altri impianti di produzione, in alternativa sarà necessario prevedere ulteriori interventi di ampliamento da progettare.

In particolare la trasformazione dal livello di tensione di 36 kV a quello di 150 kV è affidata ad un trasformatore installato all'interno della futura SE RTN Terna di Altamura.

L'opera ha una sua giustificazione intrinseca per il fatto di promuovere e realizzare la produzione energetica da fonte rinnovabile, e quindi con l'immenso vantaggio di non provocare emissioni dannose per l'uomo e per l'ambiente.

Nel suo complesso, l'opera in oggetto si inserisce nel contesto nazionale ed internazionale come uno dei mezzi per contribuire a ridurre le emissioni atmosferiche nocive come previsto dal Protocollo di Kyoto del 1997 che anche l'Italia, come tutti i paesi della Comunità Europea, ha ratificato.

Il sito scelto, in tale contesto, viene a ricadere in aree naturalmente predisposte a tale utilizzo. L'area risulta essere idonea e soprattutto ancora non sfruttata in maniera significativa da questo tipo di intervento e quindi ottimale per un razionale sviluppo nel settore rinnovabile.

Lo sviluppo di tali fonti di approvvigionamento energetico, quindi, oltre a contribuire all'incremento dello stesso approvvigionamento ed alla diversificazione delle fonti, favorisce



l'occupazione e il coinvolgimento delle realtà locali riducendo l'impatto sull'ambiente legato al tradizionale ciclo di produzione energetica.

### **Caratteristiche dell'impianto**

L'impianto eolico del Produttore ha una potenza complessiva pari a 39.6 MW ed è costituito da:

- 6 gruppi aerogeneratori asincroni trifasi, ciascuno da 6.6 MW, tensione di macchina di 690 V;

Le macchine eoliche sono interconnesse tra loro attraverso una rete elettrica di alta tensione AT, che interessa i territori comunali di di Gravina in Puglia ed Altamura, realizzata con cavidotti interrati eserciti alla tensione di 36 kV, i quali sono posati ad una profondità media di 1.20 m dal p.c. I cavi impiegati saranno del tipo schermato a conduttori unipolari, del tipo RG16H1R12 26/45kV o equivalenti e giunti con muffe a colata di resina, con sezioni di 300 e 630 mm<sup>2</sup>. L'isolamento sarà costituito da una miscela elastomerica reticolata di propilene corrispondente alle norme CEI 20-13. La protezione meccanica rende i cavi adatti alla posa diretta senza bisogno di protezione meccanica aggiuntiva. I giunti dei cavi saranno realizzati con guaine autorestringenti montate in fabbrica su tubo di supporto, che assicurano la ricostruzione dell'isolamento e della protezione meccanica, e il mantenimento delle caratteristiche elettriche del cavo. Inoltre, il giunto, prima del rinterro, sarà coperto con una protezione meccanica da realizzare con tegoli in pvc o in cav e un letto di sabbia in cui annegare il giunto stesso di almeno 20 cm. In corrispondenza della posizione dei giunti dei cavi, verrà eseguita la messa a terra dello schermo dei cavi. Tale operazione sarà eseguita per tutte le fasi della terna di cavi (3 giunti per ogni buca). In pratica lo schermo dei cavi sarà collegato al collettore di terra di ciascun aerogeneratore ubicato a base torre, così come il quadro AT ove si attestano i cavi. Inoltre, in corrispondenza di ogni buca giunti, per le terne di cavi unipolari non avvolti ad elica visibile sarà eseguita la trasposizione delle fasi.

La messa a terra degli schermi unitamente alla trasposizione delle fasi permette di annullare la corrente indotta negli schermi dei cavi. Infatti si può affermare che:

- allo scopo attribuire ad ogni fase la medesima reattanza i conduttori devono essere disposti ai vertici di un triangolo equilatero ed in tal caso non c'è bisogno di ruotare ciclicamente i conduttori, sia che si tratti di corde di linee aeree che di cavi unipolari interrati. Se le corde o i cavi unipolari non sono a disposizione equilatera si deve effettuare la rotazione in modo che mediamente ogni conduttore venga a trovarsi nella stessa posizione rispetto agli altri due;
- gli schermi se messi a terra permettono di abbassare la reattanza d'esercizio del cavo. Contemporaneamente però si aumenta la resistenza apparente di fase, quindi le perdite di potenza a parità di corrente trasportata, a causa delle perdite dovute alle correnti indotte negli schermi. Allo scopo di ridurre tali correnti in linee abbastanza lunghe, indipendentemente dalla disposizione dei cavi, si tagliano gli schermi e si ricorre alla rotazione dei collegamenti, o trasposizione. In tal modo, in ogni schermo sono indotte correnti di tutte e tre le fasi e non di una sola, come nel caso di schermo integro; poiché la somma delle correnti di fase risulta nulla, anche la corrente totale indotta in ciascuno schermo è nulla.

Inoltre la trasposizione delle fasi permette di minimizzare l'induzione magnetica già a breve distanza dall'asse della linea: i campi di induzione prodotti dalle diverse fasi tendono a cancellarsi ad una certa distanza, in modo più marcato di quanto non avvenga in un elettrodotto posato a trifoglio.



L'immissione dell'energia elettrica prodotta dal parco eolico nella Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) avverrà alla tensione di 150 kV. Nel caso specifico non è prevista a tale scopo una Sottostazione Elettrica di Trasformazione (SET) di proprietà del Produttore, ma l'ingresso in Stazione RTN mediante il cavo AT 36 kV e il successivo innalzamento di tensione a 150 kV internamente alla stazione elettrica Terna.

L'impianto oggetto del presente documento risponde a quanto stabilito dalle vigenti Norme CEI e a quanto previsto nel Codice di Rete in merito all'accesso alla RTN. Inoltre l'impianto è conforme alle Norme tecniche di sicurezza, antinfortunistiche ed igiene del lavoro vigenti.

### **Caratteristiche del collegamento**

La Centrale eolica del Produttore è collegata all'impianto 150 kV di TERNA, del tipo a doppia sbarra isolato in aria con interruttore di parallelo, tramite un collegamento interrato a 36 kV di proprietà del Produttore e costituito da una terna di conduttori in alluminio-acciaio aventi ciascuno una sezione pari a 630 mm<sup>2</sup>.



## 2 Concetti fondamentali

Con interferenza elettromagnetica si intende il fenomeno in base al quale una linea elettrica in corrente alternata genera su conduttori metallici posti nelle sue vicinanze, tensioni e correnti indotte. La linea inducente è costituita da una o più linee di trasporto di energia, mentre la linea indotta è costituita da linee di telecomunicazione, tubazioni metalliche, ecc.

I parametri elettrici che caratterizzano la linea inducente ai fini della descrizione di questo fenomeno sono la tensione, che genera interferenza per accoppiamento elettrico, e la corrente, che genera interferenza per accoppiamento magnetico. L'accoppiamento elettrico è presente solo in caso di linee inducenti aeree e manifesta i suoi effetti solo su linee indotte aeree poste nelle immediate vicinanze delle linee inducenti. L'accoppiamento magnetico invece, è presente nel caso di linee inducenti aeree ed interrate e può manifestare i suoi effetti anche a notevoli distanze dalle linee inducenti. Per linee elettriche trifasi, le correnti circolanti nelle tre fasi, sono in genere equilibrate. Ciò si traduce nel fatto che l'interferenza elettromagnetica in condizione di funzionamento normale delle linee inducenti è solitamente trascurabile, e comunque manifesta effetti solo su linee indotte estremamente vicine alle linee inducenti. In condizioni di guasto monofase a terra viceversa, le correnti sono, non solo di valore più elevato, ma totalmente squilibrate. Questa è dunque la situazione fondamentale di interferenza elettromagnetica che deve essere esaminata.

Gli effetti dell'interferenza sono ciò che le tensioni e correnti indotte possono produrre sull'impianto indotto e sulle persone che si trovano a contatto con esso. In funzione del valore assunto dai risultati e di altre condizioni, quali il tipo di servizio svolto dall'impianto indotto e la presenza di persone a contatto con l'impianto indotto, si possono manifestare danni all'impianto, perturbazioni al suo funzionamento (fino all'interruzione del servizio svolto dall'impianto), pericoli per le persone a contatto con l'impianto indotto. Il concetto chiave associato agli effetti definiti precedentemente ed ai limiti di interferenza stabiliti dalle Norme di interferenza è il seguente: rispetto dei limiti significa che l'interferenza, pur producendo risultati non nulli, non produce effetti, ovvero non produce danni, non produce perturbazioni, non dà luogo a pericoli per le persone. In sintesi, il soddisfacimento dei limiti significa che l'interferenza è accettabile.

Di seguito, sono descritti sommariamente i contenuti delle norme CEI 103-6.



### **3 Interferenza elettromagnetica (CEI 103-6:1997)**

La presente Norma tratta dei fenomeni di induzione elettromagnetica prodotti dalle linee elettriche di trasporto dell'energia a corrente alternata in caso di guasto, sulle linee di telecomunicazione vicine. Fornisce i criteri di calcolo della f.e.m. longitudinale e della tensione verso terra indotta e ne fissa i valori ammissibili.

Essa si applica alle interferenze esistenti e a quelle che vengono a svilupparsi con la creazione di nuove linee elettriche o di telecomunicazioni.

La presente Norma si applica alle interferenze che vengono a determinarsi con la costruzione di nuove linee elettriche o di telecomunicazione, oppure con la costruzione di varianti o con la trasformazione radicale di linee esistenti, tali da alterare apprezzabilmente lo stato preesistente.

Ai fini della presente Norma valgono le seguenti definizioni (per i riferimenti alle figure si rimanda al testo della Norma).

#### *1.2.01 Interferenza*

Per interferenza fra una linea elettrica ed una linea di telecomunicazione si intende il manifestarsi, in occasione di un guasto sulla linea elettrica, di una tensione indotta di valore sensibile sulla linea di telecomunicazione.

#### *1.2.02 Zona di esposizione*

Fascia attorno ad una linea elettrica, centrata rispetto alla linea stessa, all'interno della quale si può verificare l'interferenza.

#### *1.2.03 Distanza di esposizione*

Distanza dalla linea elettrica, da un lato e dall'altro della linea, che definisce la zona di esposizione (Fig. 1). I valori della distanza di esposizione da utilizzare per i calcoli di interferenza sono definiti in 3.1.04.

#### *1.2.04 Lunghezza di esposizione*

Lunghezza della proiezione, sulla linea elettrica, della parte di linea di telecomunicazione posta all'interno della zona di esposizione. Negli avvicinamenti obliqui occorre considerare i casi particolari di Fig. 2, ove si ammette che la tratta a-b della linea di telecomunicazione è sottoposta all'influenza sia del tratto MO sia del tratto ON della linea elettrica, e di Fig. 3, ove si ammette che la tratta c-d non è sottoposta ad alcuna induzione.

#### *1.2.05 Distanza*

Per distanza (d) fra una linea di telecomunicazione ed una linea elettrica si intende la distanza fra gli assi delle due linee misurata in proiezione su di un piano orizzontale (Fig. 4); qualora vi sia un forte dislivello fra le due linee è tuttavia ammesso misurare tale distanza non più in proiezione su un piano orizzontale bensì come illustrato in Fig. 5.

#### *1.2.06 Avvicinamento*

Per avvicinamento tra una linea di telecomunicazione ed una linea elettrica si intende l'insieme delle tratte della linea di telecomunicazione, anche non adiacenti tra loro, poste all'interno della zona di esposizione della linea elettrica considerata. L'avvicinamento può comprendere tratte di parallelismo (1.2.07), di avvicinamento obliquo (1.2.08) e di attraversamento (1.2.09). Estremi dell'avvicinamento sono l'estremo iniziale del primo tratto e l'estremo finale dell'ultimo tratto posti all'interno della zona di esposizione (v. Fig. 1).



### *1.2.07 Parallelismo*

Tratta di percorso in cui le due linee corrono praticamente parallele (si ammette che si abbia parallelismo quando la variazione della distanza fra le due linee, nel tratto considerato, non superi il 5%).

### *1.2.08 Avvicinamento obliquo*

Tratta di percorso in cui la distanza fra le due linee subisce una variazione superiore al 5%.

### *1.2.09 Attraversamento*

Passaggio della linea di telecomunicazione da una parte all'altra della linea elettrica.

### *1.2.10 Abitato*

Si intende per abitato un aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze o simili, o comunque brevi soluzioni di continuità. L'abitato si deve considerare delimitato da una linea che segue il margine esterno delle case oltre le quali ha inizio una notevole soluzione di continuità (spazio senza case); l'ampiezza di detto spazio va commisurata all'importanza dell'abitato in esame (per abitati minori e medi ci si può orientare su una settantina di metri).

### *1.2.11 Corrente di guasto*

Per corrente di guasto si intende la somma vettoriale delle correnti che circolano nei conduttori della linea elettrica fra la stazione che alimenta il guasto e il punto di guasto, pari alla somma delle componenti omopolari delle medesime correnti.

### *1.2.12 Corrente inducente*

Per corrente inducente si intende la quota parte della corrente di guasto che ritorna alla stazione elettrica attraverso il terreno.

### *1.2.13 Corrente di riferimento*

La corrente di riferimento e la corrente di guasto da utilizzare nella prima fase della procedura di calcolo (3.1.01) della f.e.m. longitudinale indotta e della tensione indotta. I valori della corrente di riferimento in funzione della distanza del punto di guasto dalla stazione elettrica che lo alimenta sono riportati nelle Fig. 6, 7, 8, 9 per le linee elettriche rispettivamente a 132, 150, 220 e 380 kV.

### *1.2.14 Effetto schermante*

Effetto esercitato da strutture conduttrici (condutture metalliche, rotaie, guaine metalliche di cavi, funi di guardia, ecc.) se sono percorse da correnti prodotte per induzione magnetica dalla linea elettrica. L'effetto schermante consiste in una riduzione della f.e.m. indotta sulla linea di telecomunicazione, a seguito delle forze contro elettromotrici prodotte dalle correnti circolanti su tali strutture conduttrici.

### *1.2.15 Effetto di riduzione*

Effetto esercitato dalla fune di guardia delle linee elettriche aeree o dalla guaina metallica delle linee elettriche in cavo quando sono percorse da una quota parte della corrente di guasto.

### *1.2.16 Fattore di riduzione*

Rapporto fra la f.e.m. indotta da una linea elettrica su una linea di telecomunicazione in presenza di effetto schermante e/o di effetto di riduzione, e la f.e.m. indotta in assenza di tali effetti.

### *1.2.17 Elementi conduttori della linea di telecomunicazione*

Sono tutti gli elementi metallici presenti nella linea di telecomunicazione, caratterizzati dal fatto di avere Sezione trasversale trascurabile in rapporto alla loro lunghezza.

Essi si dividono in:

n conduttori di trasmissione destinati a veicolare informazioni (coppie simmetriche, coppie coassiali, conduttori per servizi ausiliari, ...);





n elementi strutturali destinati a svolgere altre funzioni (guaine, elementi di tiro, funi portanti, ...).

#### *1.2.18 Forza elettromotrice longitudinale indotta*

F.e.m. che, in conseguenza di una corrente inducente, si manifesta sugli elementi conduttori della linea di telecomunicazione.

#### *1.2.19 Tensione indotta*

La tensione indotta da considerare ai fini della presente Norma è la tensione indotta verso terra e la tensione indotta tra conduttori diversi; queste tensioni indotte comprendono anche la tensione indotta residua. Tali tensioni indotte sono specificate in 1.2.20, 1.2.21 e 1.2.22.

#### *1.2.20 Tensione indotta verso terra*

Differenza di potenziale che, in conseguenza di una corrente inducente, si manifesta in una generica posizione lungo la linea tra un elemento conduttore della linea di telecomunicazione e la terra di riferimento.

#### *1.2.21 Tensione indotta tra elementi conduttori diversi*

Differenza di potenziale che, in conseguenza di una corrente inducente, si manifesta in una generica posizione lungo la linea tra due elementi conduttori della linea di telecomunicazione.

#### *1.2.22 Tensione indotta residua*

Differenza di potenziale che, in conseguenza di una corrente inducente, si manifesta tra due elementi qualsiasi di una installazione di telecomunicazione (tensione indotta residua verso terra o tensione indotta residua tra elementi conduttori diversi) per effetto del funzionamento di limitatori di sovratensione.



## 4 Valori ammissibili per la tensione indotta

Le tensioni e/o le correnti indotte sull'impianto di telecomunicazione possono dar luogo ai seguenti effetti:

- danno per le persone che a qualsivoglia titolo possono venire in contatto con qualunque elemento metallico dell'impianto di telecomunicazione;
- danno all'impianto di telecomunicazione.

### Danno per le persone: valori ammissibili per la tensione indotta

In condizione di guasto della linea elettrica, la tensione tra un elemento conduttore dell'impianto di telecomunicazione e la terra di riferimento non deve superare, in qualsivoglia posizione, i valori di seguito indicati, in funzione del tempo  $t$  di permanenza del guasto:

60 $V_{\text{eff}}$	1	$s < t$	
430 $V_{\text{eff}}$	0,5	$s < t \leq 1$	s
650 $V_{\text{eff}}$	0,35	$s < t \leq 0,5$	s
1000 $V_{\text{eff}}$	0,2	$s < t \leq 0,35$	s
1500 $V_{\text{eff}}$	0,1	$s < t \leq 0,2$	s
2000 $V_{\text{eff}}$		$< t \leq 0,1$	s

### Danno all'impianto: valori ammissibili per la tensione indotta

In condizioni di guasto della linea elettrica di durata  $\leq 1$  s, i valori ammissibili sono i seguenti:

- la tensione tra un elemento conduttore dell'impianto di telecomunicazione e la terra di riferimento non deve superare in qualsivoglia posizione il valore di:
  - per impianti in cavo a cp. simmetriche: 650 Veff
  - per impianti in cavo a cp. coassiali: 2000 Veff
  - per impianti in cavo a fibra ottica: 2000 Veff

In presenza di telealimentazione in corrente continua su alcuni conduttori dell'impianto di telecomunicazione, i valori ammissibili sono adeguatamente diminuiti in modo tale che la somma aritmetica del valore di picco della tensione indotta verso terra ammissibile per quei conduttori e del valore della tensione verso terra dovuta alla telealimentazione sia inferiore ai valori indicati in 1) e 2) moltiplicati per 1.41.

- La tensione tra due elementi conduttori qualsivoglia dell'impianto di telecomunicazione, in una qualsiasi posizione, non deve superare il valore di tenuta dell'isolante interposto fra gli elementi: il suddetto valore non può comunque essere inferiore a 430 Veff.



In condizione di guasto della linea elettrica di durata  $> 1$  s, i valori ammissibili sono i seguenti:

- la tensione tra un elemento conduttore dell'impianto di telecomunicazione e la terra di riferimento non deve superare in qualsivoglia posizione il valore di 150 Veff;
- la tensione tra due elementi conduttori qualsivoglia dell'impianto di telecomunicazione, in una qualsiasi posizione, non deve superare il valore di 150 Veff.

I valori ammissibili di cui sopra possono essere superati in casi eccezionali quando, uno studio approfondito della situazione di interferenza (calcoli, misure) mostri l'impossibilità pratica del loro rispetto. Nei casi in cui i valori che si decide di accettare siano superiori a quelli indicati all'art. 2.1.02 della Norma, devono essere adottate norme di esercizio particolari, tali che il pericolo di danno per le persone non risulti aumentato.

## 4.1 Criteri di calcolo

Lo studio dell'interferenza elettromagnetica è eseguito secondo la procedura seguente:

1. deve essere accertato che la linea elettrica abbia una corrente di guasto non superiore alla corrente di riferimento<sup>1</sup>;
2. il calcolo è effettuato secondo una delle due alternative seguenti:
  - a. la corrente di guasto della linea elettrica non è superiore alla corrente di riferimento;
    - a1) utilizzando il valore di corrente di riferimento (1.2.13) si valuta la necessità di calcolare la tensione indotta verso terra (Cap. III, Sez. 2): se ciò non è necessario, la situazione di interferenza non è pericolosa; in caso contrario si procede come in a2);
    - a2) si calcola la tensione indotta verso terra (3.1.09). Nel caso in cui la massima tensione indotta verso terra sia inferiore al valore ammissibile (Cap. II), la condizione di interferenza non è pericolosa; in caso contrario si segue la procedura indicata in b) utilizzando la corrente di guasto della linea elettrica.
  - b. la corrente di guasto della linea elettrica è nota;
    - b1) utilizzando il valore di corrente di guasto (1.2.11 della Norma), si valuta la necessità di calcolare la tensione indotta verso terra (Cap. III, Sez. 2): se ciò non è necessario, la situazione di interferenza non è pericolosa; in caso contrario si procede come in b2);
    - b2) si calcola la tensione indotta verso terra (3.1.09 della Norma): nel caso in cui la massima tensione indotta verso terra sia inferiore al valore ammissibile (Cap. II), la condizione di interferenza non è pericolosa; in caso contrario occorre adottare provvedimenti di protezione (Cap. IV).

<sup>1</sup> Questa informazione può essere richiesta all'esercente della rete elettrica



## 5 Calcolo della f.e.m. nei parallelismi

Nei parallelismi la f.e.m. longitudinale indotta nei conduttori della linea di telecomunicazione è data dalla formula (Norma paragrafo 3.1.05):

$$e = 2\pi f \cdot M \cdot I \cdot J \cdot k \cdot 10^{-3} [V]$$

dove:

f frequenza della corrente di guasto, in Hz.

M modulo della mutua induttanza per unità di lunghezza, fra la linea elettrica e la linea di telecomunicazione, in mH/km. M è funzione della frequenza f, della distanza fra le due linee d e della resistività del terreno r. Esso può essere rilevato dall'abaco di Fig. 18 della Norma o, in modo più preciso, dalla Tab. 2 dell'App. A o può essere calcolato con le formule relative ad un tratto di parallelismo indicate in App. A.

l lunghezza del parallelismo, in km.

J corrente di guasto, in kA.

k fattore di riduzione. Tale fattore, nel caso di più conduttori schermanti, viene assunto pari al prodotto dei fattori di riduzione relativi a dette condutture. Nell'App. B sono riportate le formule per il calcolo di k nei vari casi ed alcuni diagrammi e Tabelle che danno i valori di k per alcuni casi tipici di impianto.

L'appendice A della Norma CEI 103-6 definisce la mutua induttanza M secondo la formula:

$$M = 100 \cdot \ln \left( 1 + \frac{\alpha^2}{d^2} \right)$$

con

$$\alpha = 100 \cdot \sqrt{\frac{60\rho}{f}}$$

Dove:

$\rho$ , resistività elettrica del terreno agli strati profondi [ $\Omega\text{m}$ ]

d, distanza della linea telefonica dalla linea in cavo di potenza [m]

f, frequenza della corrente di guasto [Hz]

Il fattore di riduzione k è dato dal prodotto dei tre fattori di riduzione seguenti:

- k1 fattore di riduzione dovuto all'effetto schermante proprio della linea di telecomunicazione;
- k2 fattore di riduzione dovuto all'effetto schermante ed alla riduzione della corrente di guasto operata dalle funi di guardia delle linee elettriche aeree o dalle guaine metalliche dei cavi elettrici;



- k3 fattore di riduzione dovuto all'effetto schermante di condutture metalliche estranee poste in vicinanza di una delle due linee e collegate a terra.

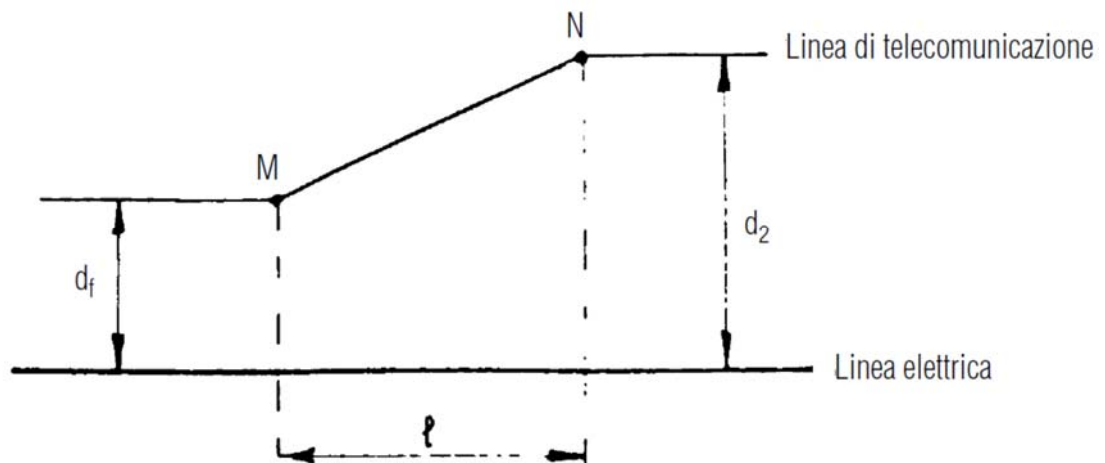
A vantaggio di sicurezza, si è scelto di tener conto solamente del fattore di sicurezza k1 definito nell'Appendice B della Norma CEI 103-6.

## 6 Calcolo della f.e.m. nei tratti di esposizione obliqua

Nei tratti ad esposizione obliqua la f.e.m. è data ancora dalla formula in 3.1.05 della norma. Il valore di M può essere calcolato con le formule relative ad un tratto di avvicinamento obliquo indicate in App. A. In alternativa, il tratto di avvicinamento obliquo può essere trasformato in un tratto di parallelismo, e quindi M può essere calcolato così come indicato in 3.1.05, a condizione che, si attribuisca alla distanza fra le due linee d il valore:

$$d = |\sqrt{d_1 \cdot d_2}|$$

dove  $d_1$  e  $d_2$  sono le distanze riportate nella figura successiva:

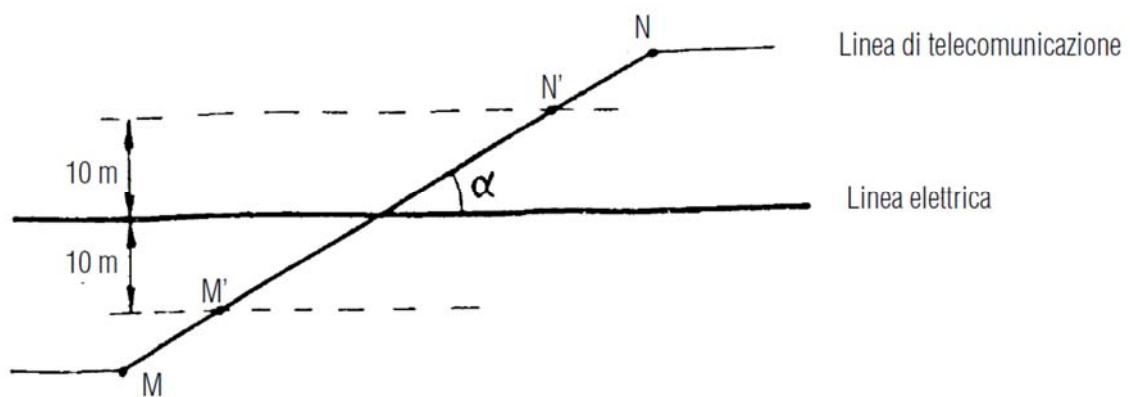


## 7 Calcolo della f.e.m. negli attraversamenti

Gli attraversamenti con angolo di incidenza  $\alpha$  fra le due linee maggiore di  $45^\circ$  possono essere trascurati poiché danno un contributo irrilevante alla f.e.m. indotta.

Gli attraversamenti con angoli di incidenza minore o uguale a  $45^\circ$  devono essere trattati nel seguente modo: si isola la parte M'N' della linea di telecomunicazione compresa entro una fascia di  $\pm 10$  m dalla linea elettrica (cfr figura seguente); la Sezione M'N' viene considerata come un tratto di parallelismo avente distanza  $d$  pari a 6 m.

Le Sezioni MM' ed N'N si considerano esposizioni oblique.





## **8 Calcolo della f.e.m. longitudinale indotta totale**

Il calcolo della f.e.m. longitudinale indotta totale su un tratto elettricamente continuo di un elemento conduttore viene effettuato sommando algebricamente le f.e.m. indotte sulle singole tratte componenti (parallelismi, tratte ad esposizione obliqua, attraversamenti). Si prendono in considerazione i contributi delle sole tratte di linea di telecomunicazione poste all'interno della zona di esposizione.





## 9 Coesistenza tra cavi di energia e cavi di telecomunicazioni – regole generali

Le prescrizioni in merito alla coesistenza tra i cavidotti e le condutture degli altri servizi del sottosuolo derivano principalmente dalle seguenti norme:

- Norme CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo";
- DM 24.11.1984 "Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8".

Le Norme CEI 11-17 precisano in particolare le distanze minime da mantenere tra i cavidotti MT e le linee di telecomunicazione, le tubazioni metalliche in genere e i serbatoi contenenti liquidi o gas infiammabili, mentre il DM 24.11.1984 si occupa specificatamente della coesistenza tra i cavi di energia in tubazione e le condotte del gas metano.

### 9.1 Parallelismi

Nei parallelismi con cavi di telecomunicazione, i cavi di energia devono, di norma, essere posati alla distanza maggiore possibile, e quando vengono posati lungo la stessa viabilità si devono posizionare possibilmente sui lati opposti della medesima.

Ove, per giustificate esigenze tecniche, non sia possibile attuare quanto sopra, è ammesso posare i cavi in vicinanza, purché sia mantenuta fra i due cavi una distanza minima non inferiore a 0.30 m. Qualora detta distanza non possa essere rispettata, è necessario applicare sui cavi uno dei seguenti dispositivi di protezione:

- cassetta metallica zincata a caldo;
- tubazione in acciaio zincato a caldo;
- tubazione in materiale plastico conforme alle norme CEI.

I predetti dispositivi possono essere omessi sul cavo posato alla profondità maggiore quando la differenza di quota tra i due cavi è uguale o superiore a 0.15 m.

Le prescrizioni di cui sopra non si applicano quando almeno uno dei due cavi è posato, per tutta la parte interessata, in appositi manufatti (tubazione, cunicoli ecc...) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la necessità di effettuare scavi. Nel caso in cui i cavi siano posati nello stesso manufatto, non è prescritta nessuna distanza minima da rispettare, purché sia evitata la possibilità di contatti meccanici diretti e siano dislocati in tubazioni diverse.

Il comma b) punto 4.1.1 della Norma CEI 11-17 riporta che nei riguardi dei fenomeni induttivi, dovuti ad eventuali guasti sui cavi di energia, le caratteristiche del parallelismo (distanza tra i cavi, lunghezza del parallelismo) devono soddisfare quanto prescritto dalle Norme CEI 103-6; nei riguardi di altri fenomeni di interferenza tra cavi di energia e cavi di telecomunicazione, devono essere rispettate le direttive del Comitato Consultivo Internazionale Telegrafico e Telefonico (CCITT).

In ogni caso, le eventuali interferenze con le linee di telecomunicazione saranno gestite nel rispetto delle indicazioni e prescrizioni che il proprietario delle linee TLC riporterà nel relativo Nulla Osta, nonché secondo le indicazioni riportate nel Nulla Osta che sarà rilasciato dal Ministero dello Sviluppo Economico.



## 9.2 Incroci

---

Quando entrambi i cavi sono direttamente interrati, devono essere osservate le seguenti prescrizioni:

- il cavo di energia deve, di regola, essere situato inferiormente al cavo di telecomunicazione;
- la distanza tra i due cavi non deve essere inferiore a 0.30 m;
- il cavo posto superiormente deve essere protetto, per una lunghezza non inferiore ad 1 m, con idonea protezione meccanica (es. cassette o tubi in acciaio zincato a caldo o inossidabile, con pareti di spessore non inferiore a 2 mm), dette protezioni devono essere disposte simmetricamente rispetto all'altro cavo. Ove, per giustificate esigenze tecniche, non possa essere rispettata la distanza minima di 0.30 m, si deve applicare su entrambi i cavi la protezione suddetta.

Quando almeno uno dei due cavi è posto dentro appositi manufatti (tubazioni, cunicoli ecc.) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la necessità di effettuare scavi, non è necessario osservare le prescrizioni sopraelencate.



## 10 Risultati di calcolo

Allo stato attuale, a seguito di una verifica a vista, non si ha evidenza specifica e tangibile di alcuna interferenza con linee di telecomunicazione interrate. Nello specifico, nei vari sopralluoghi effettuati in fase di progetto non è stata ravvisata la presenza di cartelli segnalatori di linee di telecomunicazione.

In ogni caso, si deve considerare che l'area interessata dal progetto ha una destinazione prettamente agricola ed è distante dai centri abitati, pertanto, si presume che le interferenze con eventuali reti di telecomunicazione interrate siano limitate a pochi punti o addirittura assenti. Sebbene allo stato attuale non siano state individuate interferenze con linee di telecomunicazione, potrebbe esserci la possibilità che esistano delle reti interrate, tipicamente di proprietà dei principali gestori quali Telecom S.p.A., Fastweb S.p.A., Vodafone S.p.A. ecc... In questi casi, in accordo con la società che gestisce le linee, si procederà ad individuare individuando le modalità tecniche più idonee per la risoluzione dell'interferenza in accordo alle norme sopra citate.

### 10.1 Elettrodotto in cavo interrato AT – 36 kV

La rete elettrica per il trasferimento dell'energia prodotta dagli aerogeneratori è realizzata mediante cavi di alta tensione a 36 kV con posa completamente interrata allo scopo di ridurre l'impatto della rete stessa sull'ambiente, assicurando il massimo dell'affidabilità e della economia di esercizio.

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

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

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

La rete a 36 kV, di lunghezza totale (lunghezza scavo) pari a circa 10275 metri, sarà realizzata per mezzo di cavi unipolari del tipo RG16H1R12 26/45kV o equivalenti con conduttore in rame.

L'isolamento è garantito mediante guaina termo-restringente. Il cavo a fibre ottiche per il monitoraggio ed il telecontrollo delle turbine sarà di tipo monomodale e verrà alloggiato all'interno di un tubo corrugato in PVC posto nello stesso scavo del cavo di potenza.

Insieme al cavo di potenza ed alle fibre ottiche vi sarà anche un dispersore di terra a corda di 35 mm<sup>2</sup> che collegherà gli impianti di terra delle singole turbine allo scopo di abbassare le tensioni di passo e di contatto e di disperdere le correnti dovute alle fulminazioni.

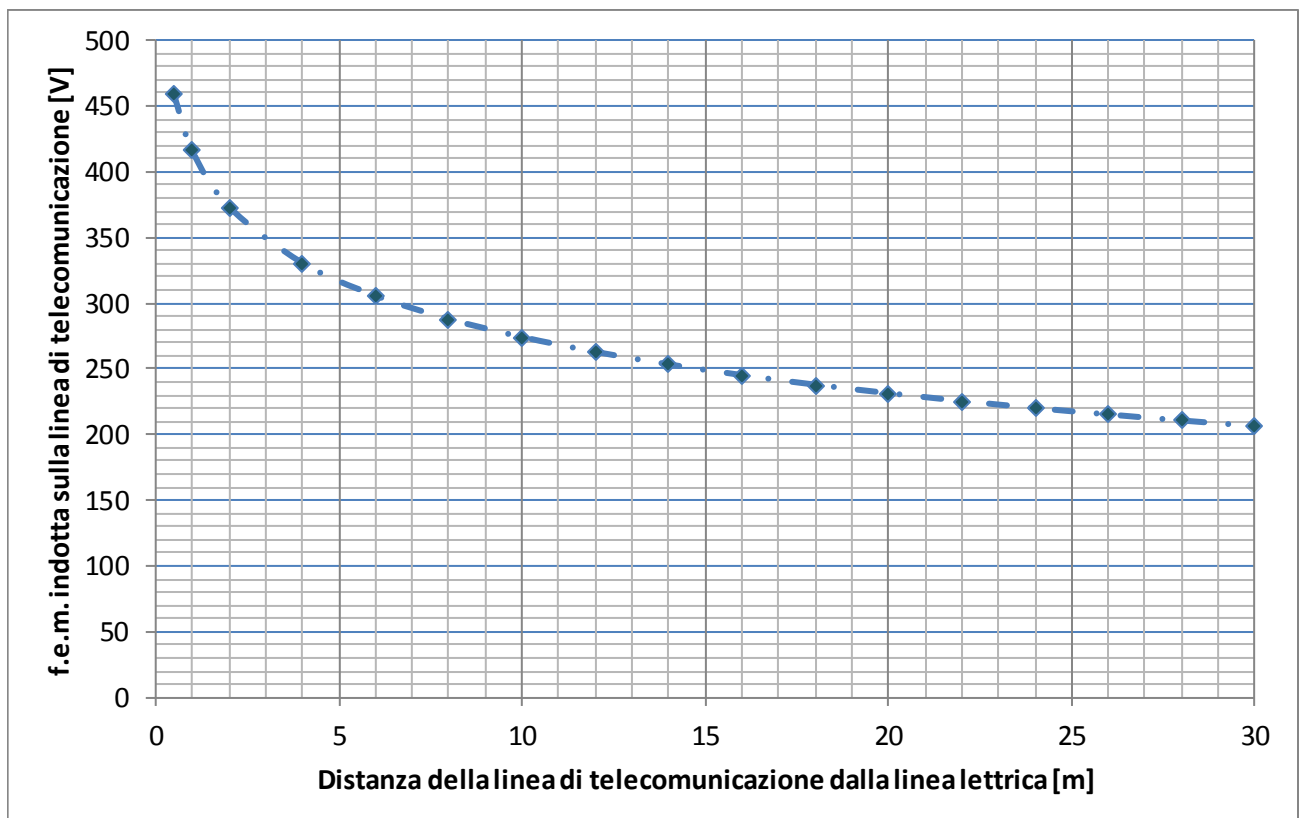


Allo scopo di valutare, cautelativamente, l'influenza del cavidotto MT e quindi la tensione indotta generata, si è considerata una linea di alta tensione (che collega l'area parco alla Stazione Elettrica RTN 150 kV), parallela ad una ipotetica linea di telecomunicazione, la cui distanza si considera variabile.

Il calcolo delle tensioni indotte è stato effettuato utilizzando i seguenti parametri (molto cautelativi):

- Frequenza: 50 Hz
- Tensione: 36 kV
- Corrente di guasto a terra: 0.85 kA (ipotizzando l'intera lunghezza del cavidotto MT di circa 10.3 km)
- Lunghezza massima del parallelismo: 7706 m (ipotizzando, cautelativamente, un parallelismo pari a tre quarti dell'intero tracciato AT)
- Resistività del terreno agli strati profondi: 60  $\Omega\text{m}$
- Resistenza della guaina metallica: 0.13.  $\Omega/\text{km}$  (valore tipico)

Il grafico seguente riporta il risultato del calcolo: in ascissa sono riportate le distanze (m) della linea elettrica AT dalla ipotetica linea di telecomunicazione, mentre in ordinata sono riportati i valori di tensione indotta (V).



La Norma CEI 103-6 definisce i valori di tensione indotta ammissibile (valore efficace  $V_{eff}$ ) per evitare danni all'impianto. Ipotizzando le condizioni di guasto sulla linea elettrica per una durata  $\leq 1$



secondo, si ha che la tensione tra un elemento conduttore dell'impianto di telecomunicazione ipotetico e la terra di riferimento non deve superare in qualsiasi posizione il valore di:

- 650 Veff per impianti in cavo a cp. Simmetriche;
- 2000 Veff per impianto in cavo a cp. Coassiali;
- 2000 Veff per impianti in cavo a fibra ottica.

Come si evince dal grafico, si ha una tensione di circa **459 V** ad una distanza di 0.5 m dalla linea interrata AT. Aumentando la distanza diminuisce il valore di tensione indotta, pertanto, i valori di tensioni indotta sono inferiori ai valori massimi previsti dalla normativa e quindi, in caso di guasto sulla linea AT, non si avranno tensioni indotte pericolose su una ipotetica linea di telecomunicazione, per qualsiasi distanza dalla stessa linea elettrica interrata AT.