



COMUNI DI CASTELNUOVO DELLA DAUNIA -
CASALVECCHIO DI PUGLIA
SAN PAOLO DI CIVITATE - TORREMAGGIORE
PROVINCIA DI FOGGIA



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO

RICHIESTA DI AUTORIZZAZIONE UNICA

D.Lgs. 387/2003

**PROCEDIMENTO UNICO
AMBIENTALE (PUA)**

**VALUTAZIONE DI IMPATTO
AMBIENTALE (VIA)**

D.Lgs. 152/2006 ss.mm.ii. (Art.27)
"Norme in materia ambientale"

PROGETTO

CAMMARATA

DITTA

NVA S.r.l.

REL 02

Titolo dell'allegato:

RELAZIONE TECNICA IMPIANTO EOLICO

0	EMISSIONE	18/10/2023
REV	DESCRIZIONE	DATA

CARATTERISTICHE GENERALI D'IMPIANTO

GENERATORE

IMPIANTO

- Altezza mozzo: fino a 175 m
- Diametro rotore: fino a 172 m
- Potenza unitaria: fino a 7,2 MW
- Numero generatori: 36
- Potenza complessiva: fino a 259,2 MW

Il proponente:

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

Il progettista:

ATS Engineering srl
P.zza Giovanni Paolo II, 8
71017 Torremaggiore (FG)
0882/393197
atseng@pec.it

Il tecnico:

Ing. Eugenio Di Gianvito
atsing@atsing.eu



CAMMARATA

<p>IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 36 AEROGENERATORI PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 259,2 MW UBICATO NEI COMUNI DI CASTELNUOVO DELLA DAUNIA - SAN PAOLO DI CIVITATE - TORREMAGGIORE-CASALVECCHIO DI PUGLIA</p>			<p>Data:</p>	<p>18/10/2023</p>
			<p>Revisione:</p>	<p>1</p>
			<p>Codice Elaborato:</p>	<p>REL 02</p>
<p>Società:</p>	<p>NVA S.r.l.</p>			

Elaborato da:	Data	Approvato da:	Data Approvazione	Rev	Commenti
<p>ATS Engineering S.r.l</p>	<p>18/10/2023</p>	<p>ATS Engineering S.r.l</p>	<p>18/10/2023</p>	<p>1</p>	

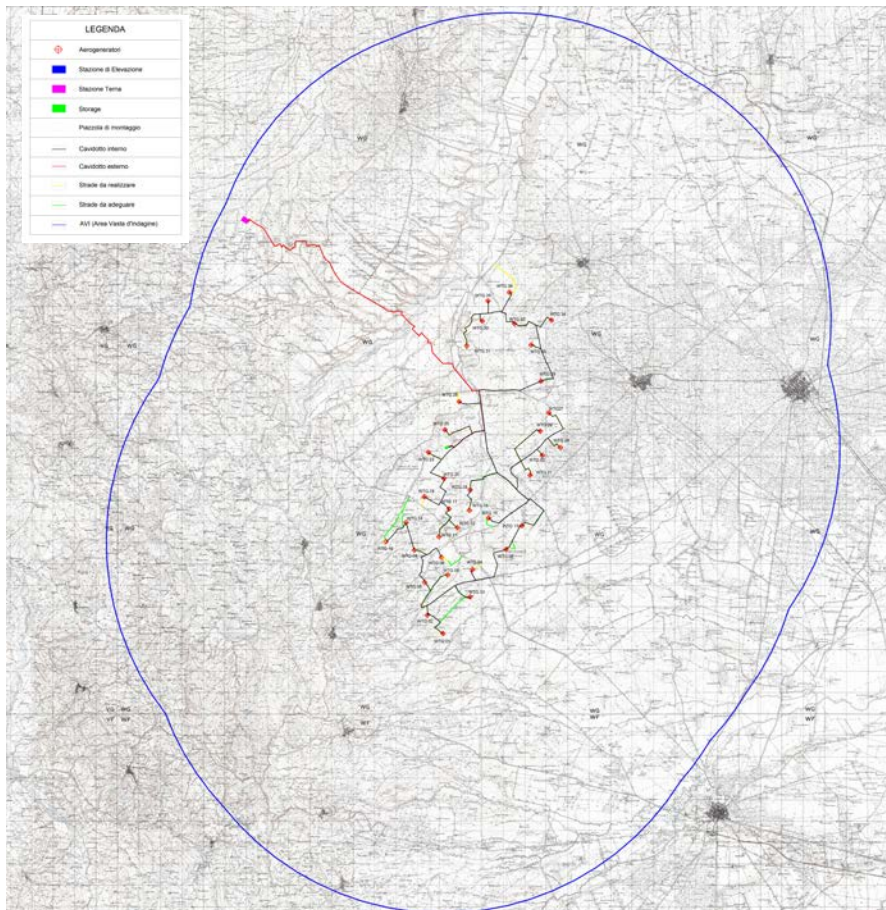
Sommario

Premessa.....	2
Introduzione.....	3
1. Aerogeneratori.....	9
2. Cavidotti interni AT.....	14
2.1. Configurazione cavi interni AT.....	16
2.2. Tipologia dei cavi interni AT.....	18
2.3. Posa in opera del cavo interno AT.....	19
3. Cavidotto esterno AAT.....	21
3.1. Tipologia del cavo esterno AAT.....	23
3.2. Posa in opera del cavo esterno AAT.....	25
4. Stazione di Elevazione.....	30
4.1. Assegnazione dello stallo da parte di Terna.....	37
5. Criteri di scelta delle protezioni e metodo di Calcolo.....	38
5.1. Protezione contro il corto circuito.....	38
5.2. Protezione contro i contatti diretti.....	39
5.3. Protezione contro il sovraccarico.....	40
5.4. Dimensionamento contro la caduta di tensione.....	41
5.5. Determinazione delle correnti di cortocircuito.....	42
6. Opere civili.....	48
7. Impatti.....	56
7.1. Acustico.....	56
7.2. Elettromagnetico.....	59
7.2.1. Cavidotto interno AT.....	59
7.2.2. Cavidotto esterno AAT.....	68

Relazione tecnica impianti

Premessa

La *Relazione Tecnica Impianti* è allegata al progetto del parco eolico *CAMMARATA*, ubicato nei territori comunali di Castelnuovo della Daunia, San Paolo di Civitate, Torremaggiore e Casalvecchio di Puglia in provincia di Foggia, progettista *ATS Engineering s.r.l.* con sede in Torremaggiore alla P.zza Giovanni Paolo II, n. 8. Il parco eolico è costituito da n. 36 aerogeneratori con potenza nominale attiva fino a 7,2 MW e sviluppa una potenza complessiva fino a 259,2 MW.



Corografia di inquadramento su IGM

Introduzione

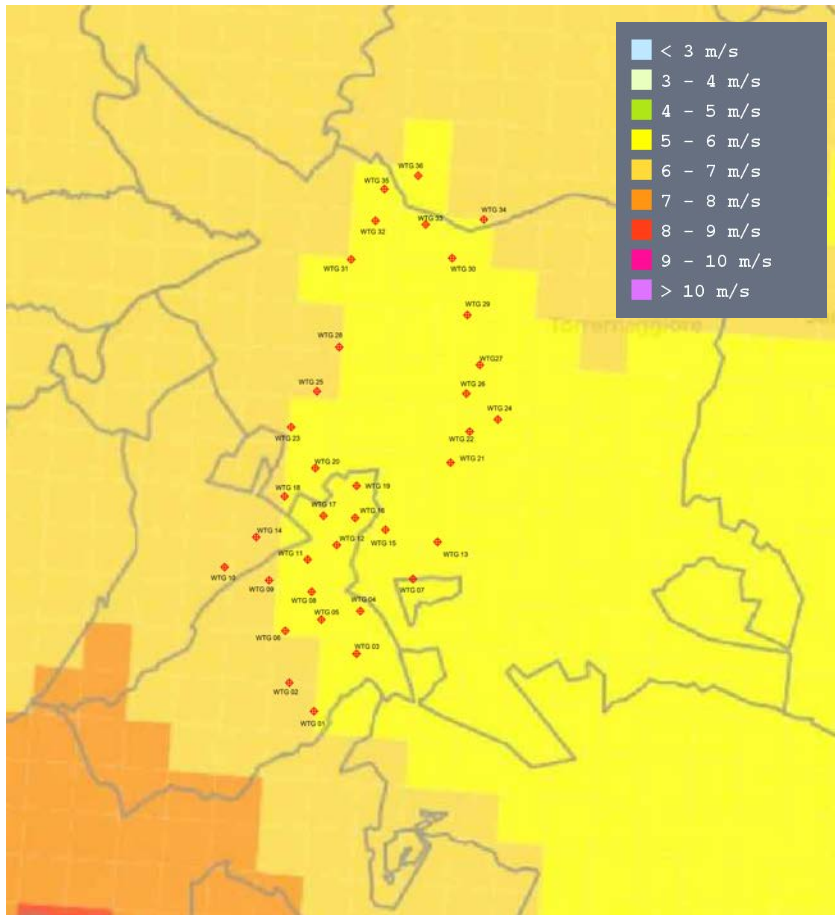
La scelta dell'area da destinare alla ubicazione dell'impianto è giustificata dalla coesistenza di:

1. presenza di altri impianti eolici;
2. assenza di aree non eleggibili in base ai piani territoriali vigenti e quindi nel rispetto della destinazione d'uso del suolo e sua vocazione alla trasformazione.

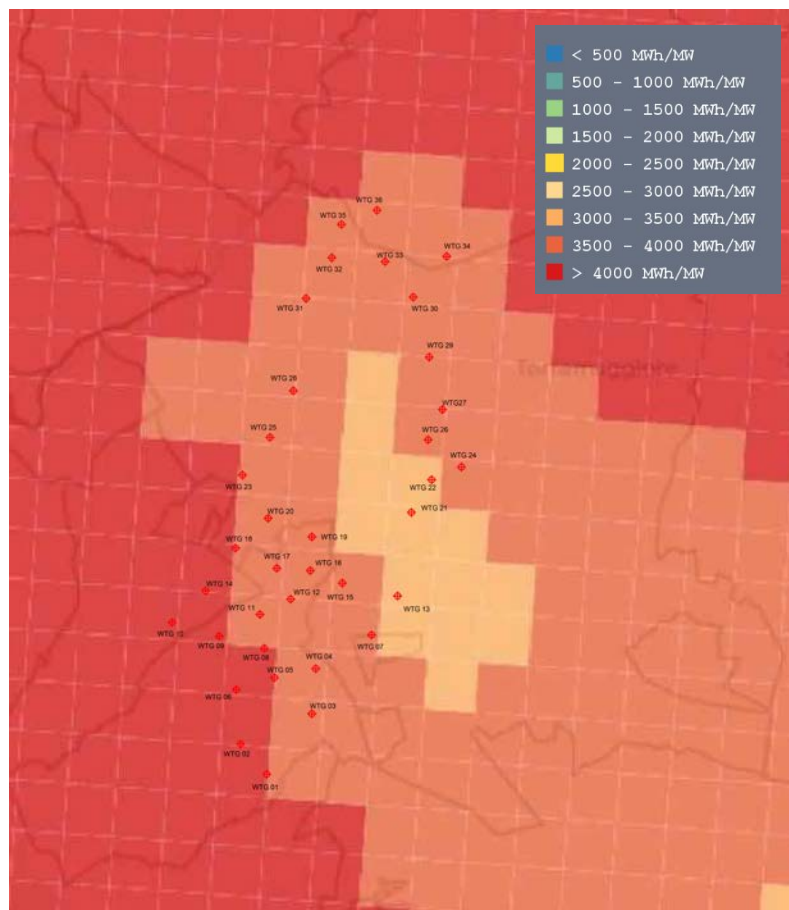
Il sito, in particolare, è stato individuato per le caratteristiche di fattibilità registrate dopo un'attenta analisi basata su parametri come:

- rilevazioni anemometriche;
- orografia dei luoghi;
- contesto sociale;
- accessibilità;
- vicinanza alla Rete di Trasmissione e distribuzione cui saranno collegati gli aerogeneratori eolici.

Nelle mappe desunte dall'*Atlante eolico* del Cesi e dall'*Atlante Eolico Regionale* sono riportate gli aerogeneratori del progetto in esame con la relativa velocità media riferita ad un'altezza di 150 m.s.l.m e la loro producibilità a 100 m.s.l.m. Per le valutazioni sulla velocità media degli aerogeneratori e della loro producibilità si rimanda alla relazione specifica REL 13 "Relazione Anemologica e Producibilità".



Impianto su Atlante eolico interattivo con velocità media annua del vento a 150 m s.l.m.



Impianto su Atlante eolico interattivo con producibilità specifica a 100 m s.l.m.

Nello specifico, le aree interessate da un elettrodotto interrato sono individuate, dal *Testo Unico sugli espropri*, come *Aree Impegnate*, cioè le aree necessarie per la sicurezza dell'esercizio e manutenzione dell'elettrodotto; nel caso specifico esse hanno un'ampiezza di 2 m dall'asse linea per parte per il tratto in cavo interrato. Il vincolo preordinato all'esproprio sarà invece apposto sulle "aree potenzialmente impegnate", che equivalgano alle *zone di rispetto* di cui all'art. 52 quater, comma 6, del *Testo Unico sugli espropri n. 327 del 08/06/2001* e successive modificazioni, all'interno delle quali poter inserire eventuali modeste varianti al tracciato dell'elettrodotto senza che le stesse comportino la necessità di nuove autorizzazioni. L'ampiezza delle zone di rispetto (ovvero aree potenzialmente impegnate) sarà di circa 3 m dall'asse linea per parte per il tratto in cavo interrato (ma corrispondente a quella impegnata nei tratti su sede stradale), come meglio indicato nella planimetria catastale allegata. Pertanto, ai fini dell'apposizione del vincolo preordinato all'esproprio, le "aree potenzialmente impegnate" coincidono con le "zone di rispetto"; di conseguenza i terreni ricadenti all'interno di dette zone risulteranno soggetti al suddetto vincolo.

In fase di progetto esecutivo dell'opera si procederà alla delimitazione delle aree effettivamente impegnate dalla stessa con conseguente riduzione delle porzioni di territorio soggette a vincolo preordinato all'esproprio e servitù. L'elenco delle particelle catastali interessate dall'apposizione del vincolo preordinato all'esproprio, con l'indicazione dei nominativi dei proprietari come da risultanze catastali, è riportato nel documento "REL 22 Particellare di esproprio". Le fasce di rispetto sono quelle definite dalla Legge 22 febbraio 2001 n. 36, all'interno delle quali non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario, ovvero un uso che comporti una permanenza superiore a 4 ore, da determinare in conformità alla metodologia di cui al D.P.C.M. 08/07/2003, emanata con Decreto MATT del 29 Maggio 2008. Le simulazioni di campo magnetico riportate nei paragrafi seguenti sono state elaborate tramite l'ausilio di software, le cui routine di calcolo fanno riferimento alla norma CEI 211 - 4; norma di riferimento anche per la metodologia di calcolo utilizzata nella CEI 106 - 11.

Il progetto, oltre all'ubicazione nell'area di n. 36 aerogeneratori - le cui coordinate sono riportate nella tabella - prevede anche la realizzazione di una linea interrata di collegamento alla stazione di elevazione AT-AAT da realizzare, oltre a tutti gli altri interventi connessi alla realizzazione ed all'esercizio dell'impianto eolico (adeguamenti della viabilità interna all'impianto eolico e realizzazione di nuova viabilità di cantiere e di esercizio/servizio, piazzole di montaggio e di esercizio, ecc.).

COORDINATE UTM 33N WGS 84	COORDINATE UTM 33N WGS 84	TORRE
EST (X)	NORD (Y)	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.

Pertanto, sono parte integrante del progetto le opere connesse alla realizzazione dello stesso, ossia:

- le fondazioni delle torri degli aerogeneratori, dimensionate e progettate tenendo conto le massime sollecitazioni che l'opera trasmette al terreno;
- la stazione di elevazione, di ricezione dai gruppi di aerogeneratori e trasformazione, costituita da elementi prefabbricati in C.A.V. (Calcestruzzo Armato Vibrato) le cui dimensioni saranno tali da consentire tutte le operazioni necessarie per la corretta gestione dell'impianto, compresa la manutenzione;
- la viabilità interna, di collegamento di ciascuna delle postazioni con la viabilità principale, costituita da una serie di strade e di piazzole necessarie ad un agevole raggiungimento di tutti gli aerogeneratori.

La realizzazione delle strade:

- rispetta l'andamento topografico del luogo;
- riduce al minimo potenziali movimenti di terra, tramite l'uso di materiale calcareo da sottofondo e la rifinitura in superficie con una pavimentazione a *Macadam*.
- i cavidotti AT per la distribuzione dell'energia.

Si evince che lo scopo principale della relazione è quello di esporre le caratteristiche principali degli impianti presenti nel parco eolico. Le strutture e gli impianti principali sono i seguenti:

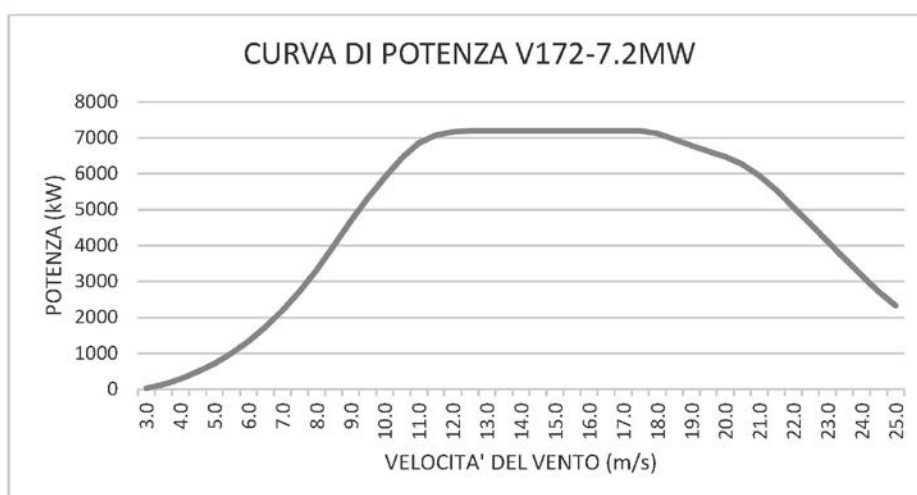
- **n. 36 aerogeneratori ognuno di potenza fino a 7,2 MW**, con trasformatori interni multitemperatura in uscita a 36 kV/50 Hz;
- **n. 36 fondazioni aerogeneratori**, plinti circolari su pali di fondazione;
- **strade e piazzole**;
- **cavidotto interrato interno AT**, che collega gli aerogeneratori in gruppi e i gruppi alla cabina di smistamento sita all'interno della stazione di Elevazione;
- **cavidotto interrato esterno AAT a 380 KV**, per connessione della stazione di elevazione AT alla stazione di Terna Distribuzione collocata presso la SE di Trasformazione della RTN denominata "Rotello";
- **n. 1 Stazione di Elevazione AT/AAT**;
- **n. 1 Storage** per accumulo energia elettrica;
- **rete telematica di monitoraggio** interna per il controllo dell'impianto mediante trasmissione dati via modem.

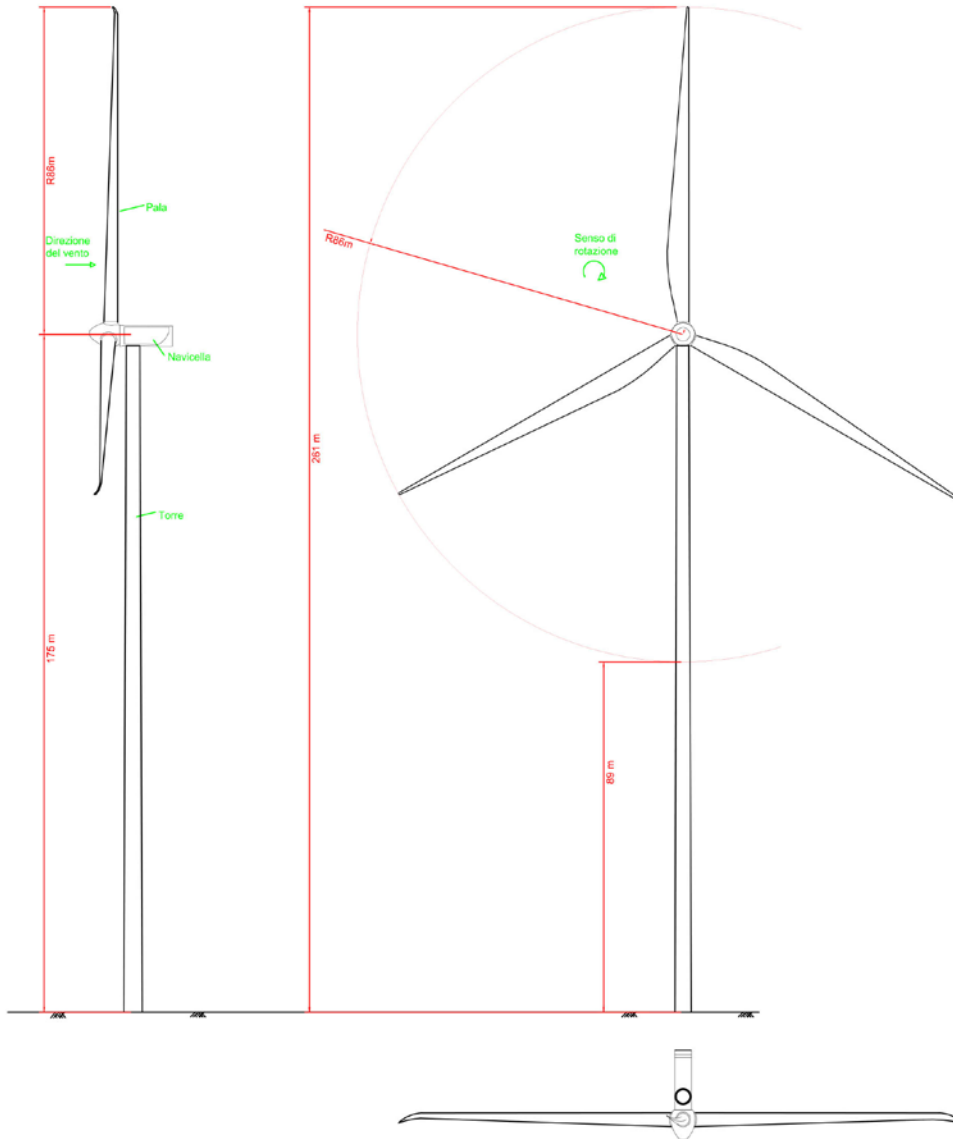
1. Aerogeneratori

Il layout finale delle torri è frutto di uno studio approfondito che ha tenuto conto sia di tutti i fattori ambientali e dell'orografia dei luoghi, sia della direzione e velocità dei venti, della vegetazione o degli ostacoli presenti, tutto ciò in relazione al tipo di aerogeneratore prescelto.

Il risultato di dette elaborazioni ha consentito di ottimizzare il più possibile il layout definitivo del parco eolico, minimizzando sia l'uso delle superfici direttamente interessate dalle torri eoliche, sia di quelle utili per il montaggio e la gestione delle stesse - superfici per le fondazioni, il piazzale, la cabina di trasformazione e il locale tecnico – e senza apportare significative trasformazioni all'uso attuale dei suoli interessati.

La scelta di torri poste a una distanza elevata è stata dettata principalmente a due diversi aspetti progettuali: uno legato all'effetto scia, tanto più lontane sono le turbine tanto minore sarà la perdita di efficienza del parco; l'altro relativo all'inserimento paesaggistico delle stesse per il quale tutti i piani consigliano di posizionare le torri a distanze elevate per diminuire l'effetto barriera. Ogni torre è dotata di apposita piazzola di circa 3040 m² e ad essa si potrà accedere realizzando apposite stradine larghe circa 5,5 m che le congiungeranno alle strade esistenti e assicureranno l'accesso ad ogni aerogeneratore per l'effettuazione dei controlli e manutenzioni periodiche.





Aerogeneratore tipo: prospetto laterale, prospetto frontale e pianta

Il *generatore tipo* da utilizzare sarà a tre eliche, ad asse orizzontale e con generatore elettrico asincrono, del tipo trifase, con potenza nominale fino a 7.200 kW della tipologia fino a 172 m di diametro e fino a 175 m di altezza al mozzo.

La definizione esatta del tipo di macchina sarà fatta in sede di progettazione esecutiva del progetto.

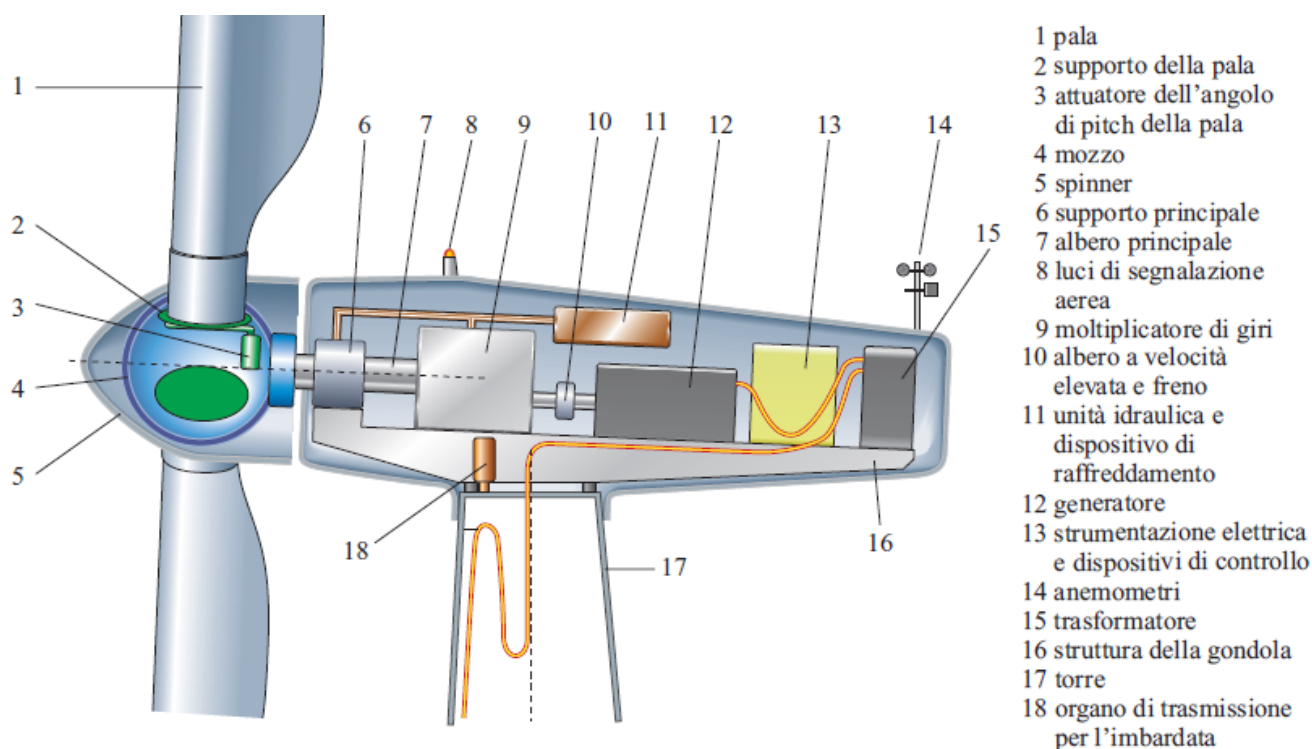
Allo stato attuale l'aerogeneratore di progetto è il generatore Vestas V172-7.2.

La scelta del tipo di generatore, comunque, non varia la tipologia del sistema costruttivo-tecnologico, costituito da:

opere di fondazione che nello specifico è di tipo indiretta, su pali e verrà dimensionata sulla base delle risultanze geotecniche del sito. In particolare, la fondazione sarà eseguita con un plinto a base circolare con diametro di circa 36 m, ancorato a un numero adeguato di pali, di tipo trivellato, infissi nel terreno ad una profondità variabile tra 25-40 m.

torre, composta da un cilindro in acciaio di altezza fino a 175 m. Il cilindro tubolare sarà formato da più conci, montati in sito, fino a raggiungere l'altezza voluta. All'interno del tubolare saranno inserite la scala di accesso alla navicella e il cavedio in cui correranno i cavi elettrici necessari al *vettoriamento* dell'energia. Alla base della torre, dove una porta consentirà l'accesso all'interno, nello spazio utile, sarà ubicato il quadro di controllo che, oltre a consentire il controllo da terra di tutte le apparecchiature della navicella, conterrà l'interfaccia necessaria per il controllo remoto dell'intero processo tecnologico. La base della torre è dipinta di verde più scuro, fino ad un'altezza di 5-8 m. Più in alto le variazioni di colore si verificano dopo 2-3 m. L'altezza delle bande di colore è adatto a ogni tipo di torre al fine di garantire un quadro armonico;

navicella, costituita da un involucro in vetroresina, conterrà tutte le apparecchiature necessarie al funzionamento elettrico e meccanico dell'aerogeneratore. In particolare, includerà la turbina che, azionata dalle eliche, con un sistema di ingranaggi e riduttori oleodinamici trasmetterà il moto al generatore elettrico. Oltre ai dispositivi per la produzione energetica, nella navicella saranno ubicati anche i motori che consentono il controllo della posizione della navicella e delle eliche. La prima può ruotare a 360° sul piano di appoggio navicella-torre, le eliche, invece, possono ruotare di 90° sul loro asse longitudinale.



Esempio degli elementi di una navicella

L'energia prodotta sarà portata ad un trasformatore elettrico, posizionato sempre nella navicella, che porterà il valore della tensione da 720 V (tensione di uscita dal generatore) a 36 kV (tensione di uscita dal trasformatore). Il tipo di trasformatore è un trifase chiuso ermeticamente con raffreddamento ad olio di silicone: uno speciale olio sintetico con un punto di infiammabilità di oltre 300 °C e permette il raffreddamento del trasformatore.

I cavi in uscita dal trasformatore, passando all'interno del cavedio ricavato nella torre, arriveranno al quadro AT di smistamento posto alla base della torre e indi proseguiranno verso la Stazione di elevazione elettrica 36 kV/380 kV;

eliche: le eliche o pale realizzate in *fibra di vetro*, impregnate con resine epossidiche, rinforzate con fibra di carbonio, assicurano leggerezza e non creano fenomeni indotti di riflessione dei segnali ad alta frequenza che percorrono l'etere. Nel caso specifico la macchina adotta un sistema a tre eliche calettate attorno ad un mozzo, a sua volta fissato all'albero della turbina. Il diametro del sistema mozzo-eliche è fino a 172 m. Ciascuna pala/elica, in grado di ruotare intorno al proprio asse longitudinale, ad una velocità di rotazione variabile, assume sempre il profilo migliore ai fini dell'impianto del vento. Al *rotore* dell'aerogeneratore tipo, formato da tre pale e avente un diametro fino a 172 m corrisponde un'area spazzata di 23.235 m². Per il controllo dell'erogazione ci sono tre modalità per la verifica della resa energetica:

- 1) a stallo passivo: il rotore gira ad una velocità costante e le pale non sono regolabili;
- 2) a stallo attivo: il rotore opera ad una velocità costante e le pale sono regolabili;
- 3) a controllo di passo: il rotore gira sia a velocità costante che variabile.

Per ridurre le sollecitazioni sugli elementi strutturali delle pale, le stesse sono orientate verso la direzione del vento predominante.

Quando il vento supera i 25 m/s, l'aerogeneratore viene posto fuori servizio perché una velocità di vento superiore potrebbe sottoporre i componenti a una eccessiva sollecitazione.

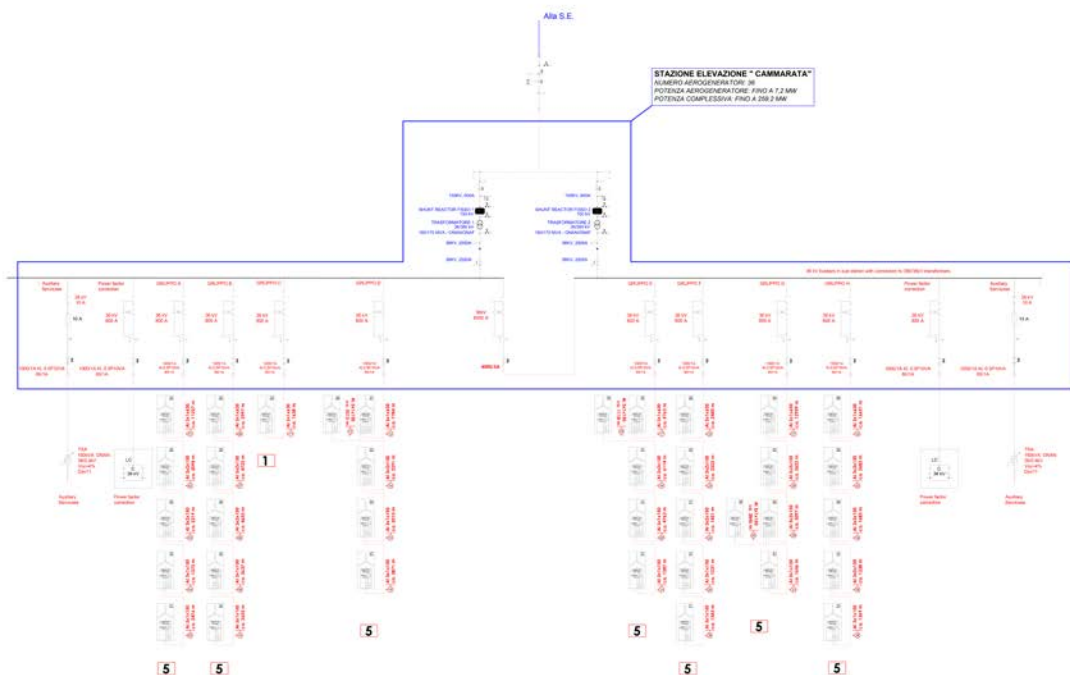
2. Cavidotti interni AT

L'energia elettrica prodotta da ciascuna torre verrà convogliata al punto di consegna, attraverso le linee AT realizzate con cavi interrati. Questa energia, prodotta in loco, verrà poi conferita tutta alla RTN che la utilizzerà smistandola sul territorio nazionale.

Pertanto, si rende necessaria la realizzazione di un cavidotto interrato a 36 kV di tipo entra-esce per collegare gli 36 aerogeneratori tra di loro e questi alla RTN mediante collegamento in antenna definiti da TERNA S.p.A. e collegati secondo le normative tecniche vigenti.

In particolare, il progetto riguarda gli impianti necessari per permettere il collegamento degli aerogeneratori, a valle della sezione di trasformazione interna AT (interna agli aerogeneratori).

Vista la conformazione del territorio i 36 aerogeneratori sono suddivisi in otto gruppi (A, B, C, D, E, F, G, H).



Schema elettrico unifilare

I gruppi sono così suddivisi:

Gruppo A: T31, T32, T33, T35 e T36;

Gruppo B: T25, T28, T29, T30 e T34;

Gruppo C: T23;

Gruppo D: T21, T22, T24, T26 e T27;

Gruppo E: T07, T13, T15, T16 e T19;

Gruppo F: T11, T12, T17, T18 e T20;

Gruppo G: T01, T02, T03, T04 e T05;

Gruppo H: T06, T08, T09, T10 e T14.

Gli aerogeneratori di ciascun gruppo sono tra loro collegati mediante linea trifase interrata (cavo tripolare AT 36/60 kV), in configurazione entra-esci.

Dall'ultimo aerogeneratore di ciascun gruppo (cluster), la stessa linea interrata prosegue fino alla *cabina di smistamento AT*.

Il dimensionamento delle linee in cavo si è basato sul criterio della portata in regime permanente con condizioni di carico 100%, secondo quanto prescritto dalle Norme CEI 20-21, e in maniera tale da garantire una caduta di tensione accettabile su ciascuna linea, cosicché la perdita risulti contenuta entro i limiti determinati dalle regolazioni di tensione consentite dai trasformatori; inoltre dovranno sopportare la massima corrente termica in condizioni di corto circuito.

2.1. Configurazione cavi interni AT

Gruppo A

inizio linea	Fine Linea	distanza (m)	Potenza Kw	cosφ	sinφ	Volt	Amp	sez. Cavo mmq	lo	lz	n. cavi x fase	c.d.t. %	conf.
WTG 31	WTG 32	2476	7200	0,95	0,31	36000	121,55	150	322	290,48	1	0,41	3x1x150
WTG 32	WTG 35	1373	14400	0,95	0,31	36000	243,09	150	322	290,48	1	0,46	3x1x150
WTG 35	WTG 36	2319	21600	0,95	0,31	36000	364,64	150	322	580,95	2	0,58	3x2x150
WTG 36	WTG 33	2094	28800	0,95	0,31	36000	486,19	150	322	580,95	2	0,70	3x2x150
WTG 33	SE	11227	36000	0,95	0,31	36000	607,74	630	714	644,1	1	2,24	3x1x630

Gruppo B

inizio linea	Fine Linea	distanza (m)	Potenza Kw	cosφ	sinφ	Volt	Amp	sez. Cavo mmq	lo	lz	n. cavi x fase	c.d.t. %	conf.
WTG 34	WTG 30	2655	7200	0,95	0,31	36000	121,55	150	322	290,4762	1	0,44	3x1x150
WTG 30	WTG 29	2637	14400	0,95	0,31	36000	243,09	150	322	290,4762	1	0,88	3x1x150
WTG 29	WTG 28	4655	21600	0,95	0,31	36000	364,64	150	322	580,9524	2	1,16	3x2x150
WTG 28	WTG 25	4723	28800	0,95	0,31	36000	486,19	150	322	580,9524	2	1,58	3x2x150
WTG 25	SE	2997	36000	0,95	0,31	36000	607,74	630	714	644,0994	1	0,60	3x1x630

Gruppo C

inizio linea	Fine Linea	distanza (m)	Potenza Kw	cosφ	sinφ	Volt	Amp	sez. Cavo mmq	lo	lz	n. cavi x fase	c.d.t. %	conf.
WTG 23	SE	1638	7200	0,95	0,31	36000	121,55	630	714	644,0994	1	0,07	3x1x630

Gruppo D

inizio linea	Fine Linea	distanza (m)	Potenza Kw	cosφ	sinφ	Volt	Amp	sez. Cavo mmq	lo	lz	n. cavi x fase	c.d.t. %	conf.
WTG 27	WTG 24	2871	7200	0,95	0,31	36000	121,55	150	322	290,4762	1	0,48	3x1x150
WTG 24	WTG 22	2010	14400	0,95	0,31	36000	243,09	150	322	290,4762	1	0,67	3x1x150
WTG 22	WTG 21	2291	21600	0,95	0,31	36000	364,64	150	322	580,9524	2	0,57	3x2x150
WTG 21	WTG 26	3212	7200	0,95	0,31	36000	121,55	150	322	290,4762	1	0,54	3x1x150
WTG 21	SE	7784	36000	0,95	0,31	36000	607,74	630	714	644,0994	1	1,55	3x1x630

Gruppo E

inizio linea	Fine Linea	distanza (m)	Potenza Kw	cosφ	sinφ	Volt	Amp	sez. Cavo mmq	lo	lz	n. cavi x fase	c.d.t. %	conf.
WTG 07	WTG 13	1387	7200	0,95	0,31	36000	121,55	150	322	290,4762	1	0,23	3x1x150
WTG 13	WTG 15	4763	14400	0,95	0,31	36000	243,09	150	322	290,4762	1	1,59	3x1x150
WTG 15	WTG 19	6114	21600	0,95	0,31	36000	364,64	150	322	580,9524	2	1,53	3x2x150
WTG 19	WTG 16	1118	7200	0,95	0,31	36000	121,55	150	322	290,4762	1	0,19	3x1x150
WTG 19	SE	5763	36000	0,95	0,31	36000	607,74	630	714	644,0994	1	1,15	3x1x630

Gruppo F

inizio linea	Fine Linea	distanza (m)	Potenza Kw	cosφ	sinφ	Volt	Amp	sez. Cavo mmq	lo	lz	n. cavi x fase	c.d.t. %	conf.
WTG 11	WTG 12	1543	7200	0,95	0,31	36000	121,55	150	322	290,4762	1	0,26	3x1x150
WTG 12	WTG 17	1231	14400	0,95	0,31	36000	243,09	150	322	290,4762	1	0,41	3x1x150
WTG 17	WTG 18	1451	21600	0,95	0,31	36000	364,64	150	322	580,9524	2	0,36	3x2x150
WTG 18	WTG 20	2322	28800	0,95	0,31	36000	486,19	150	322	580,9524	2	0,77	3x2x150
WTG 20	SE	2440	36000	0,95	0,31	36000	607,74	630	714	644,0994	1	0,49	3x1x630

Gruppo G

inizio linea	Fine Linea	distanza (m)	Potenza Kw	cosφ	sinφ	Volt	Amp	sez. Cavo mmq	lo	lz	n. cavi x fase	c.d.t. %	conf.
WTG 01	WTG 02	1656	7200	0,95	0,31	36000	121,55	150	322	290,4762	1	0,28	3x1x150
WTG 05	WTG 02	2846	7200	0,95	0,31	36000	121,55	150	322	290,4762	1	0,47	3x1x150
WTG 02	WTG 03	3097	21600	0,95	0,31	36000	364,64	150	322	580,9524	2	0,78	3x2x150
WTG 03	WTG 04	2622	28800	0,95	0,31	36000	486,19	150	322	871,4286	3	0,58	3x3x150
WTG 04	SE	12959	36000	0,95	0,31	36000	607,74	630	714	644,0994	1	2,58	3x1x630

Gruppo H

inizio linea	Fine Linea	distanza (m)	Potenza Kw	cosφ	sinφ	Volt	Amp	sez. Cavo mmq	lo	lz	n. cavi x fase	c.d.t. %	conf.
WTG 10	WTG 14	1369	7200	0,95	0,31	36000	121,55	150	322	290,4762	1	0,23	3x1x150
WTG 14	WTG 09	1338	14400	0,95	0,31	36000	243,09	150	322	580,9524	2	0,22	3x2x150
WTG 09	WTG 08	1683	21600	0,95	0,31	36000	364,64	150	322	871,4286	3	0,28	3x3x150
WTG 08	WTG 06	2683	28800	0,95	0,31	36000	486,19	150	322	871,4286	3	0,60	3x3x150
WTG 06	SE	16651	36000	0,95	0,31	36000	607,74	630	714	644,0994	1	3,32	3x1x630

2.2. Tipologia dei cavi interni AT

HIGH-VOLTAGE XLPE CABLES

36/60÷69(72.5) kV

ALUMINIUM CONDUCTOR
NA2XS(FL)2Y according to DIN VDE 0276-632
A2XS(FL)2Y according to IEC 60840
XRUHAKXS according to ZN-TF-530:2009; IEC 60840



Electrical data

RM (RMC) - Round Multiwire Conductor (C - compacted), Class 2
RMS (Milliken type) - Round Multiwire Segmented Conductor
SPB - Single Point Bonded
CB - Cross Bonded

BE - Both Ends
D_c - Cable diameter
1 - Cables in flat formation, the distance between cables 2 x D_c
2 - Cables in trefoil formation, the distance between cables D_c

Cross section of conductor	Resistance of conductor		Resistance of metallic screen		Electric field strength at the conductor screen / insulation	Short-circuit current-carrying capacity		Capacitance	Inductance	Current-carrying capacity		
	DC 20°C	AC 90°C	DC 20°C	AC 80°C		Conductor	Metallic screen			ooo ¹	SPB,CB / BE	SPB,CB / BE
mm ²	Ω/km				kV/mm	kA/1sec.	μF/km	mH/km	A			
1 x 120RM	0.2530	0.3247	0.542	0.670	5.23 / 1.80	11.6	7.4	0.120	0.654	300 / 288	360 / 351	
									0.469	286 / 285	320 / 318	
1 x 150RM	0.2060	0.2645	0.542	0.670	5.27 / 2.06	14.5	7.4	0.136	0.627	338 / 321	412 / 399	
									0.443	322 / 319	363 / 361	
1 x 185RM	0.1640	0.2108	0.542	0.670	5.09 / 2.11	17.8	7.4	0.145	0.612	382 / 360	473 / 454	
									0.427	364 / 361	415 / 412	
1 x 240RM	0.1250	0.1610	0.542	0.670	5.21 / 2.42	23.1	7.4	0.167	0.588	444 / 410	560 / 529	
									0.403	422 / 417	488 / 483	
1 x 300RM	0.1000	0.1292	0.542	0.670	5.05 / 2.48	28.8	7.4	0.180	0.574	503 / 454	642 / 599	
									0.389	477 / 470	559 / 552	
1 x 400RM	0.0778	0.1011	0.542	0.670	4.85 / 2.56	38.3	7.4	0.199	0.561	578 / 508	750 / 686	
									0.376	547 / 536	652 / 642	
1 x 500RM	0.0605	0.0794	0.542	0.670	5.08 / 2.93	47.8	7.4	0.232	0.541	663 / 562	878 / 781	
									0.356	625 / 609	757 / 741	
1 x 630RM	0.0469	0.0624	0.542	0.670	4.93 / 3.00	60.2	7.4	0.258	0.528	761 / 619	1027 / 885	
									0.343	714 / 690	881 / 858	
1 x 800RM	0.0367	0.0497	0.542	0.670	4.82 / 3.06	76.4	7.4	0.282	0.516	865 / 672	1190 / 989	
									0.332	806 / 774	1015 / 982	
1 x 1000RM	0.0291	0.0402	0.379	0.468	4.69 / 3.14	95.3	10.5	0.317	0.506	975 / 691	1368 / 1060	
									0.321	898 / 845	1157 / 1102	
1 x 1200RM	0.0247	0.0347	0.379	0.468	4.64 / 3.17	114.3	10.5	0.336	0.499	1056 / 719	1501 / 1123	
									0.314	963 / 900	1259 / 1192	
1 x 1200RMS	0.0247	0.0322	0.379	0.468	4.56 / 3.21	114.3	10.5	0.364	0.499	1121 / 740	1601 / 1173	
									0.314	1034 / 957	1362 / 1281	

Cavi per impianti eolici – Fonte brochure *Clean Energy*

Caratteristiche Funzionali

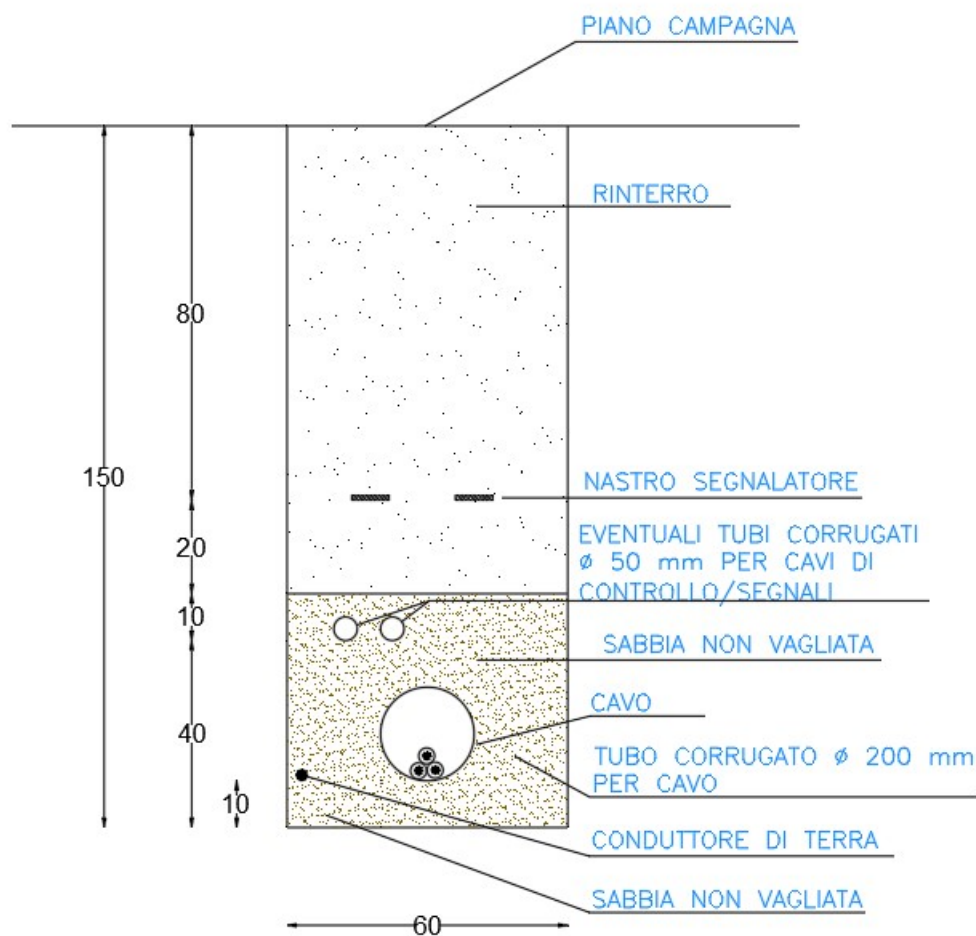
- *Tensione nominale U_o/U: 36/60 (72.5) kV;*
- *Temperatura massima di esercizio: 90 °C;*
- *Temperatura massima di corto circuito: 250 °C;*
- *Raggio minimo di curvatura consigliato: 20 volte il diametro del cavo;*
- *Temperatura minima di posa: - 25 °C.*

2.3. Posa in opera del cavo interno AT

La modalità di posa in opera del cavo può essere in aria libera o interrata, in tubo o canale. I suddetti cavi saranno interrati ad una profondità di circa 1,5 metri, e la posa sarà effettuata realizzando una trincea a sezione costante di circa 60 centimetri di larghezza (minima), ponendo sul fondo dello scavo, opportunamente livellato un letto sabbia fine di 10 cm o di terreno escavato se dalle buone caratteristiche geomeccaniche. Sul fondo dello scavo sarà posato il conduttore di protezione costituito da una corda di rame stagnata avente una sezione di 50 mm² o in alluminio di sezione equivalente, tale conduttore sarà interamente ricoperto dalla terra compattata. Al di sopra di tale strato si poseranno quindi le terne di conduttori ad alta tensione. I cavi saranno poi ricoperti da uno strato di circa 10 cm di terra vagliata e compattata. Al di sopra di tale strato saranno posate per tutta la lunghezza dello scavo, ed in corrispondenza dei cavi, delle beole aventi la funzione di protezione da eventuali colpi di piccone o altro attrezzo da scavo, in caso di dissotterramenti futuri, nonché quella di indicare la posizione dei cavi stessi. Dopo la posa delle beole, si procederà al reiterno dello scavo con la terra proveniente allo scavo stesso debitamente compattata, fino ad una quota superiore di 20 centimetri al piano di posa. A tale quota si poserà quindi, una rete di plastica rossa o altro mezzo indicativo simile (nastri plastificati rossi, etc.) atto a segnalare la presenza dei cavi sottostanti.

In caso di percorso totalmente su terreno vegetale, lo scavo sarà completato con altro terreno vegetale, proveniente dallo scavo stesso, fino alla quota del piano campagna. In caso di attraversamenti stradali o di percorsi lungo una strada, la trincea di posa verrà realizzata secondo le indicazioni dei diversi Enti Gestori (Amm.ne Comunale e/o Provinciale). Tutto il percorso dei cavi sarà opportunamente segnalato con l'infissione

periodica - ogni 50 m - di cartelli metallici indicanti l'esistenza dei cavi a AT sottostanti. Tali cartelli potranno essere eventualmente, sostituiti da mattoni collocati a filo superiore dello scavo e riportanti le indicazioni relative ai cavi sottostanti (profondità di posa, tensione di esercizio). Ogni 500 m, o a una distanza diversa, dipendente dalle lunghezze commerciali dei cavi, si predisporranno delle camere cavi, costituite da *pozzetti di ispezione* 80 x 80 centimetri, adatte ad eseguire le giunzioni necessarie fra le diverse tratte di cavi.



Sezione tipo cavidotto ad una terna di cavi

Lo schermo dei cavi a AT in alluminio laminato non può essere usato come conduttore di terra per altre parti dell'impianto. Ai sensi della CEI 11-27 gli schermi dei cavi AT saranno sempre aterrati alle estremità e possibilmente nella mezzera del tratto più lungo collegandoli alla corda di terra presente nello scavo.

Inoltre, la sottostazione sarà dotata di interruttori AT separati per i vari gruppi di

generazione, sezionatori di terra, lampade di presenza rete ad accoppiamento capacitivo, trasformatori di misura. Gli interruttori AT forniranno la protezione dai corto circuiti, dai sovraccarichi, dai guasti a terra.

Infine, per quanto riguarda la protezione di interfaccia, avente lo scopo di separare i gruppi di generazione a AT della rete di trasmissione AT in caso di malfunzionamento della rete stessa, sarà garantita dalla presenza di rilevatori di minima e massima tensione, minima e massima frequenza, minima tensione omeopolare.

3. Cavidotto esterno AAT

Oggetto del presente capitolo è il collegamento AAT dalla Stazione di Elevazione (SE) alla Stazione Terna S.p.A. Il tracciato del cavidotto interno si estende nella sua lunghezza totale per 72.310,64 m, mentre il cavidotto esterno per 19.720,85 m.

L'elettrodotto sarà costituito da una terna composta di tre cavi unipolari realizzati con conduttore in rame, isolante in XLPE, schermatura in alluminio e guaina esterna in polietilene ed è stato progettato in modo tale da recare minor sacrificio possibile alle proprietà interessate, avendo cura di vagliare le situazioni esistenti sui fondi da asservire rispetto anche alle condizioni dei terreni limitrofi. Ciascun conduttore di energia avrà una sezione indicativa di circa 630 mm².

La Normativa che regola la progettazione dell'elettrodotto è il *D.M. 21.03.1988*, regolamento di attuazione della *Legge n. 339 del 28.06.1986*, per quanto applicabile, ed alle *Norme CEI 11-17* e ss.mm.ii.

Il collegamento dovrà essere in grado di trasportare la potenza massima dell'impianto.

Se si considera il funzionamento a $\cos\varphi$ pari a 0,95, poiché l'impianto è costituito da **36** aerogeneratori di potenza pari a **7,2 MW**, si ha:

$$I_n = P/\sqrt{3}V\cos\varphi = \mathbf{414,54 \text{ A}}$$

Dalle tabelle dei cavi, per un cavo di sezione pari a **630 mm²** e per le condizioni standard da catalogo (resistività termica del terreno: 1 Km/W; profondità di posa: 1,2 metri; temperatura del cavo: 90°C; frequenza elettrica: 50 Hz), considerando la posa a trifoglio, otteniamo un valore di corrente massima *I*0 pari **865 A**.

*K*4 per resistività termica del terreno diversa da 1 Km/W. Dove:

*I*0 = portata per posa interrata ad una temperatura di 20°C per cavi isolati multipolari o unipolari ad una profondità di posa di 1,2 m e resistività termica del terreno di 1 Km/W.

La resistività del terreno non è sempre di facile valutazione, per il calcolo abbiamo assunto un valore pari a circa 1,2 Km/W.

$K1$ = fattore di correzione per temperature diverse da 20 °C;

$K2$ = fattore di correzione per gruppi di più circuiti affiancati sullo stesso piano;

$K3$ = fattore di correzione per profondità di posa diverse da 1 m;

$K4$ = fattore di correzione per terreni con resistività termica diversa da 1 Km/W.

$I_z = I_0 \times K1 \times K2 \times K3 \times K4$ = portata massima corretta.

Table 8

Rating factor for laying depth	
Laying depth, m	Rating factor
0.50	1.10
0.70	1.05
0.90	1.01
1.00	1.00
1.20	0.98
1.50	0.95

Table 9

Rating factor for ground temperature								
Conductor temperature, °C	Ground temperature, °C							
	10	15	20	25	30	35	40	45
90	1.07	1.04	1	0.96	0.93	0.89	0.84	0.80
65	1.11	1.05	1	0.94	0.88	0.82	0.74	0.66

Table 10

Rating factor for ground thermal resistivity							
Thermal resistivity, Km/W	0.7	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0
Rating factor	1.14	1.00	0.93	0.84	0.74	0.67	0.61

Tabella coefficienti correttivi

distanza (m)	Potenza Kw	cosφ	sinφ	Tensione	Corrente	sez. Cavo mmq	I_0	I_z	n. cavi x fase	c.d.t. %
19720	259200	0,95	0,31	380000	414,54	630	865	780,3165	1	0,02

Caratteristiche elettriche dei cavi

Tanto più elevata è la resistività termica del terreno tanto maggiore diventa la difficoltà del cavo a smaltire il calore attraverso gli strati del terreno.

La resistività termica varia a seconda del tipo di terreno e del suo grado di umidità, correggendo i valori della portata con le condizioni di posa considerate, si ottiene:

- $K1 = 1$;
- $K2 = 1$;
- $K3 = 0,93$;
- $K4 = 0,97$;

- $I_z = I_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 = 780,3165 \text{ A}$ (portata massima corretta).

Da cui si evince che la sezione selezionata è adeguata al trasporto della potenza richiesta. Nel seguito sono riassunte le caratteristiche elettriche principali del collegamento:

- Frequenza nominale: **50 Hz**
- Tensione nominale: **380 KV**
- Potenza nominale dell'impianto eolico da collegare: **259,2 MW**
- Intensità di corrente nominale I_n (per fase): **414,54 A**
- Intensità di corrente massima I_z nelle condizioni di posa (per fase): **780,3165 A > 414,54 A**

In base ai calcoli precedentemente effettuati, ciascun cavo d'energia a 380 kV sarà costituito da 1 conduttore in rame compatto di sezione indicativa pari a circa **630 mm²**.

3.1. Tipologia del cavo esterno AAT

4. HIGH-VOLTAGE XLPE CABLES 220/380 ÷ 400(420) kV
5. COPPER CONDUCTOR
6. NA2XS(FL)2Y according to IEC 62067
7. XRUHAKXS according to ZN-TF-530:2009; IEC 62067

COPPER CONDUCTOR

2XS(FL)2Y according to IEC 62067

XRUHKXS according to ZN-TF-530:2009; IEC 62067



Cavo AAT

Electrical data

RM (RMC) - Round Multiwire Conductor (C - compacted), Class 2
 RMS (Milliken type) – Round Multiwire Segmented Conductor
 SPB - Single Point Bonded
 CB - Cross Bonded

BE - Both Ends
 D_e - Cable diameter
 1 - Cables in flat formation, the distance between cables $2 \times D_e$
 2 - Cables in trefoil formation, the distance between cables D_e

Cross section of conductor	Resistance of conductor		Resistance of metallic screen		Electric field strength at the Conductor screen / insulation	Short-circuit current-carrying capacity		Capacitance	Inductance	Current-carrying capacity	
	DC	AC	DC	AC		Conductor	Metallic screen			In ground	In air
	20°C	90°C	20°C	80°C							
mm ²	Ω/km				kV/mm	kA/1sec.	μF/km	mH/km	A		
1 x 630RM	0.0283	0.0385	0.200	0.247	12.40/4.45	90.9	19.0	0.130	0.640	930/660	1165/950
									0.460	865/80	1060/1000
1 x 800RM	0.0221	0.0311	0.200	0.247	11.90/4.60	115.4	19.0	0.140	0.620	1050/695	1340/1045
									0.440	970/860	1210/1120
1 x 1000RM	0.0176	0.0258	0.200	0.247	11.85/4.85	144.1	19.0	0.150	0.605	1160/725	1350/1235
									0.420	1070/925	1350/1235
1 x 1200RMS	0.0151	0.0201	0.200	0.247	11.65/5.30	172.8	19.0	0.170	0.585	1335/765	1775/1230
									0.400	1235/1010	1595/1400
1 x 1400RMS	0.0129	0.0174	0.200	0.247	11.95/5.80	201.5	19.0	0.185	0.570	1445/780	1950/1285
									0.385	1325/1055	1735/1495
1 x 1600RMS	0.0113	0.0154	0.200	0.247	11.80/5.90	230.3	19.0	0.190	0.560	1540/795	2110/1335
									0.375	1405/1095	1865/1580
1 x 1800RMS	0.0101	0.0140	0.200	0.247	11.60/5.95	259.0	19.0	0.200	0.555	1630/805	2250/1380
									0.370	1475/1130	1980/1655
1 x 2000RMS	0.0090	0.0126	0.200	0.247	11.75/6.30	287.7	19.0	0.215	0.545	1700/815	2355/1405
									0.360	1535/1155	2065/1705
1 x 2500RMS	0.0072	0.0106	0.135	0.150	11.35/6.50	359.8	29.1	0.240	0.540	1885/830	2675/1480
									0.355	1675/1150	2315/1780
1 x 3000RMS	0.0062	0.0095	0.135	0.150	11.25/6.55	430.8	29.1	0.250	0.530	2045/845	2950/1530
									0.345	1790/1185	2525/1880

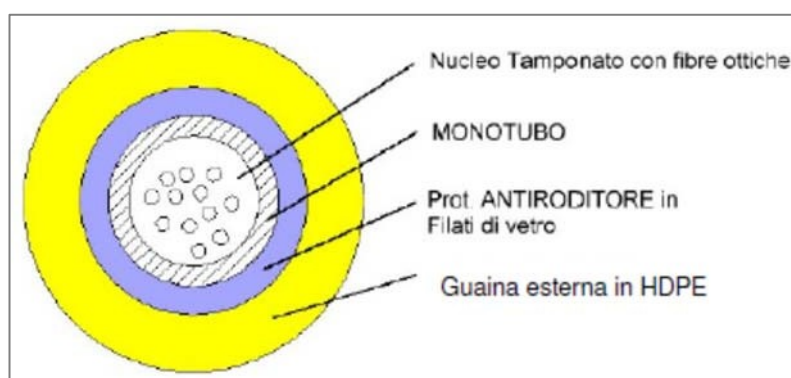
Caratteristiche tecniche del cavo AAT adottato

I giunti unipolari saranno posizionati lungo il percorso del cavo, a circa 500 m l'uno dall'altro, ed ubicati all'interno di opportune buche giunti che avranno una configurazione come descritto in allegato. Il posizionamento dei giunti sarà determinato in sede di progetto esecutivo in funzione delle interferenze sotto il piano di campagna e della

possibilità di trasporto.

Tali dati potranno subire adattamenti comunque non essenziali dovuti alla successiva fase di progettazione esecutiva e di cantierizzazione, anche in funzione delle soluzioni tecnologiche adottate dai fornitori e/o appaltatori.

Il sistema di telecomunicazioni sarà realizzato per la trasmissione dati dalla Stazione Elettrica di TERNA alla Stazione di Elevazione. Sarà costituito da un cavo con 12 o 24 fibre ottiche. Nella figura seguente è riportato lo schema del cavo f.o. che potrà essere utilizzato per il sistema di telecomunicazioni.



Sezioni dei cavi a fibre ottiche

3.2. Posa in opera del cavo esterno AAT

La modalità di posa in opera del cavo terrà conto degli attraversamenti di eventuali opere interferenti, eseguiti in accordo a quanto previsto dalla *Norma CEI 11-17*.

I cavi saranno interrati ed installati normalmente in una trincea della profondità di 1.6 m, con disposizione delle fasi a trifoglio. Nello stesso scavo, a distanza di almeno 0,3 m dai cavi di energia, sarà posato un cavo con fibre ottiche e/o telefoniche per trasmissione dati. Tutti i cavi verranno alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela opportuna di sabbia vagliata. Saranno protetti e segnalati superiormente da una rete in PVC e da un nastro segnaletico, ed ove necessario anche da lastre di protezione in cemento armato dello spessore di 6 cm. La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto.

Parallelismo ed incroci tra cavi elettrici. I cavi aventi la stessa tensione possono essere posati alla stessa profondità, ad una distanza di circa 3 volte il loro diametro nel caso di posa diretta.

Incroci tra cavi elettrici e cavi di telecomunicazione. Negli incroci il cavo elettrico, di regola, deve essere situato inferiormente al cavo di telecomunicazione. La distanza fra i due cavi non deve essere inferiore 0,30 m ed inoltre il cavo posto superiormente deve essere protetto, per una lunghezza non inferiore ad 1 m, mediante un dispositivo di protezione identico a quello previsto per i parallelismi. Tali dispositivi devono essere disposti simmetricamente rispetto all'altro cavo.

Ove, per giustificate esigenze tecniche, non possa essere rispettato il distanziamento minimo di cui sopra, anche sul cavo sottostante deve essere applicata una protezione analoga a quella prescritta per il cavo situato superiormente. Non è necessario osservare le prescrizioni sopraindicate quando almeno uno dei due cavi è posto dentro appositi manufatti che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza necessità di effettuare scavi.

Parallelismo tra cavi elettrici e cavi di telecomunicazione. Nei parallelismi con cavi di telecomunicazione i cavi elettrici devono di regola, essere posati alla maggiore distanza possibile fra loro e quando vengono posati lungo la stessa strada si devono posare possibilmente ai lati opposti di questa. Ove, per giustificate esigenze tecniche, non sia possibile attuare quanto sopra è ammesso posare i cavi in vicinanza purchè sia mantenuta tra i due cavi una distanza minima, in proiezione sul piano orizzontale, 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 PVC o fibrocemento, rivestite esternamente con uno spessore di calcestruzzo non inferiore a 10 cm.

I predetti dispositivi possono essere omessi sul cavo posato alla maggiore profondità 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 rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la possibilità di effettuare scavi.

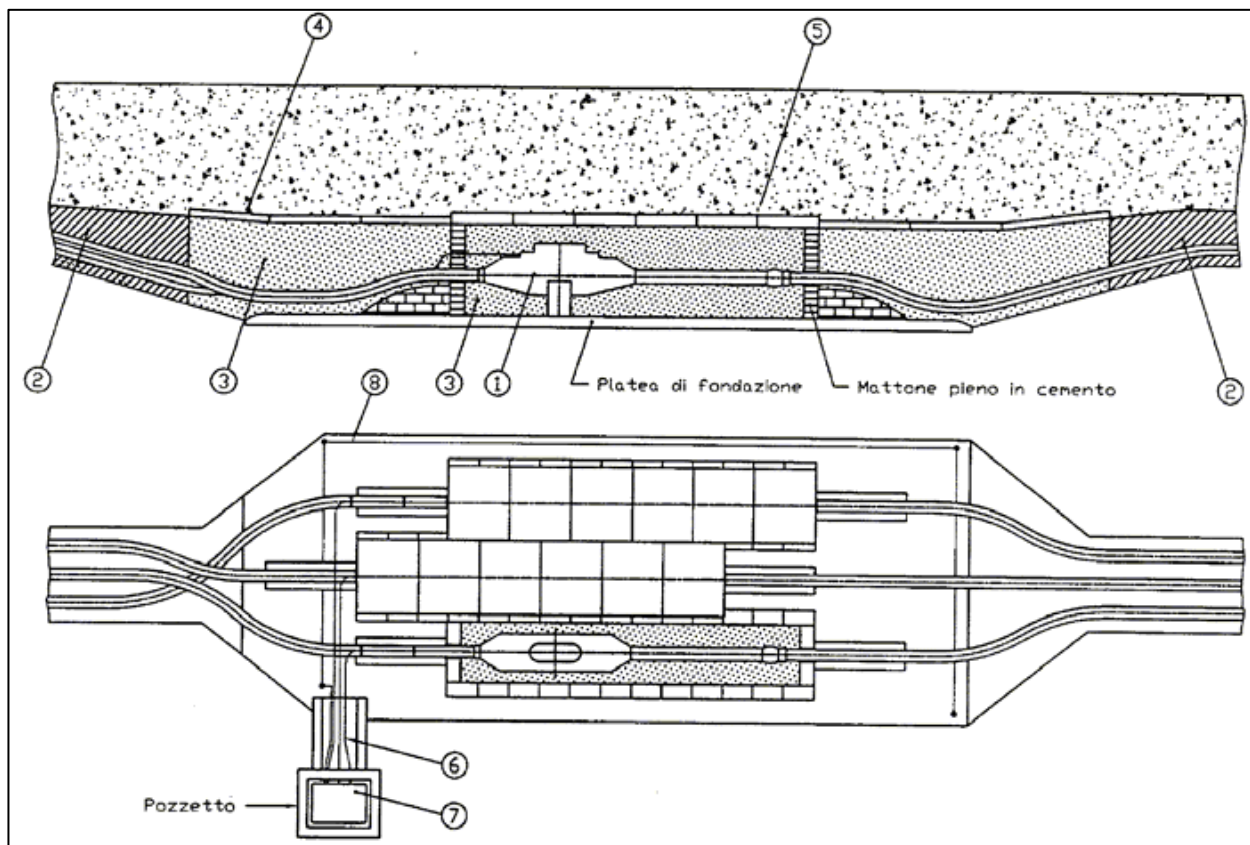
Parallelismo ed incroci tra cavi elettrici e tubazioni oppure strutture metalliche interrato. La distanza in proiezione orizzontale tra cavi elettrici e tubazioni metalliche interrato parallelamente ad esse non deve essere inferiore a 0,30 m. Si può tuttavia derogare dalla prescrizione suddetta previo accordo tra gli esercenti quando:

1. la differenza di quota fra le superfici esterne delle strutture interessate è superiore a 0,50 m;
2. tale differenza è compresa tra 0,30 m e 0,50 m, ma si interpongono fra le due strutture elementi separatori non metallici nei tratti in cui la tubazione non è contenuta in un manufatto di protezione non metallico.

Non devono mai essere disposti nello stesso manufatto di protezione cavi di energia e tubi convoglianti fluidi infiammabili; per le tubazioni per altro tipo di posa è invece consentito, previo accordo tra gli Enti interessati, purché il cavo elettrico e la tubazione non siano posti a diretto contatto fra loro.

L'incrocio fra cavi elettrici e tubazioni metalliche interrato non deve essere effettuato sulla proiezione verticale di giunti non saldati delle tubazioni stesse. Non si devono effettuare giunti sui cavi a distanza inferiore ad 1 m dal punto di incrocio. Nessuna prescrizione è data nel caso in cui la distanza minima, misurata fra le superfici esterne di cavi elettrici e di tubazioni metalliche o fra quelle di eventuali loro manufatti di protezione, è superiore a 0,50 m. Tale distanza può essere ridotta fino ad un minimo di 0,30 m, quando una delle strutture di incrocio è contenuta in manufatto di protezione non metallico, prolungato per almeno 0,30 m per parte rispetto all'ingombro in pianta dell'altra struttura oppure quando fra le strutture che si incrociano si venga interposto un elemento separatore non metallico (ad esempio lastre di calcestruzzo o di materiale isolante rigido); questo elemento deve poter coprire, oltre alla superficie di sovrapposizione in pianta delle strutture che si incrociano, quella di una striscia di circa 0,30 m di larghezza ad essa periferica. Le distanze suddette possono ulteriormente essere ridotte, previo accordo fra gli Enti proprietari o Concessionari, se entrambe le strutture sono contenute in un manufatto di protezione non metallico. Prescrizioni analoghe devono essere osservate nel caso in cui non risulti possibile tenere l'incrocio a distanza uguale o superiore a 1 m dal giunto di un cavo oppure nei tratti che precedono o seguono immediatamente incroci eseguiti sotto angoli inferiori a 60° e per i quali non risulti possibile osservare prescrizioni sul distanziamento.

La realizzazione dell'opera avverrà per *fasi sequenziali di lavoro* che permettano di contenere le operazioni in un tratto limitato - circa 500 metri - della linea in progetto, avanzando progressivamente sul territorio.



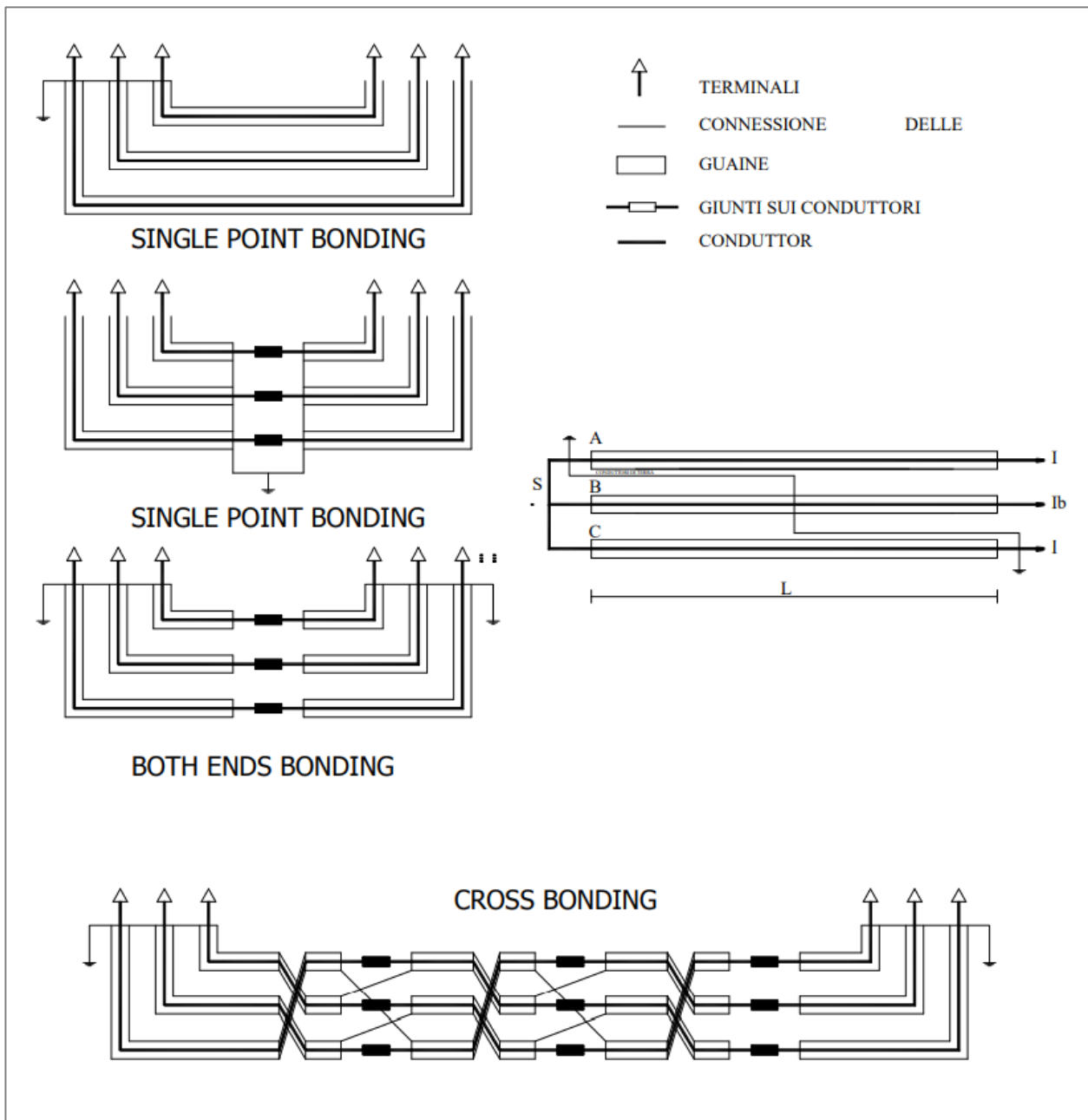
Buca giunti

Descrizione dei materiali

1. Giunti unipolari sezionati GMS 1170/1245
2. Cemento Magro
3. Sabbia a bassa resistività
4. Lastra protezione cavi
5. Lastra protezione giunti
6. Cavo concentrico
7. Cassetta sezionamento guaine
8. Coll. di messa a terra guaine metalliche

Dimensioni standard della buca giunti sezionati

- Lunghezza 8 m
- Larghezza 2,5 m
- Profondità 2 m



Schema connessione delle guaine metalliche

In generale le operazioni si articoleranno secondo le fasi elencate nel modo seguente:

- realizzazione delle infrastrutture temporanee di cantiere;
- apertura della fascia di lavoro e scavo della trincea;
- posa dei cavi e realizzazione delle giunzioni
- ricopertura della linea e ripristini.

In alcuni casi particolari e comunque dove si renderà necessario, in particolare per tratti interni ai centri abitati e in corrispondenza di attraversamenti, si potrà procedere anche con modalità diverse da quelle su esposte.

In particolare si evidenzia che in alcuni casi sarà necessario procedere con:

- posa del cavo in tubo interrato;
- staffaggio su ponti o strutture preesistenti;
- perforazione teleguidata;
- realizzazione manufatti per attraversamenti corsi d'acqua;

Al termine dei lavori civili ed elettromeccanici sarà effettuato il collaudo della linea.

L'elettrodotto in cavo non costituisce fonte di rumore.

4. Stazione di Elevazione

L'allacciamento di un campo eolico alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) è subordinato alla richiesta di connessione alla rete da presentare al Gestore o in alternativa all'ente distributore qualora la rete non faccia parte della rete di trasmissione nazionale.

Sostanzialmente possono presentarsi due casi:

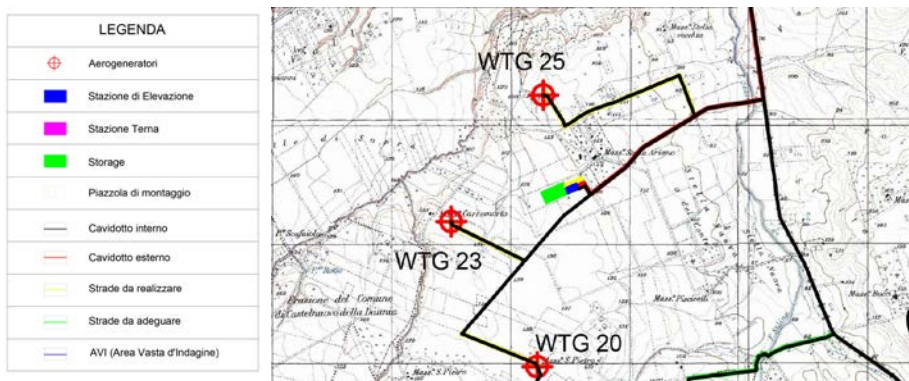
- la connessione alla RTN o alla rete di distribuzione avviene attraverso una stazione esistente;
- la connessione avviene attraverso la realizzazione di una *nuova stazione elettrica*.

Gli Enti suddetti definiscono i requisiti e le caratteristiche di riferimento delle nuove stazioni elettriche, poiché ovviamente esse devono essere compatibili con la rete esistente, oltre alle dimensioni delle stesse nel caso in cui debbano avere future espansioni.

Per il parco eolico il Gestore prescrive che l'impianto debba essere collegato con la sezione a 380 kV della Stazione Elettrica di TERNA attraverso la realizzazione di una stazione elettrica di elevazione che serve a concentrare l'energia prodotta dagli

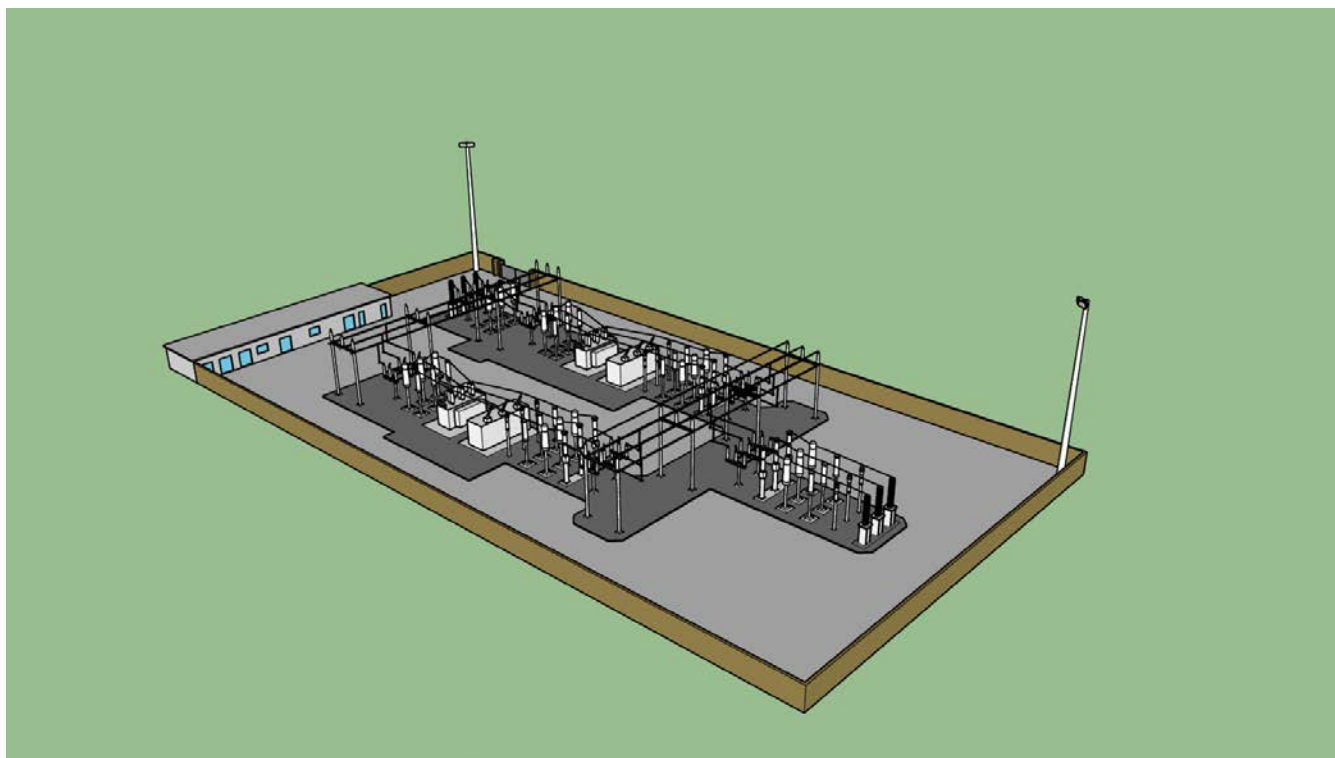
aerogeneratori per trasformarla in alta tensione a 380 kV e per il successivo smistamento alla Stazione di Rete.

Per il dimensionamento della stazione di Elevazione e la definizione delle modalità di connessione dell'impianto alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) si è fatto riferimento al Codice di Rete di TERNA S.p.A. e, in particolare, alla *Guida agli schemi di connessione* (N° INSIX.1000 Rev.00 del 23.05.2000).



Inquadramento territoriale Stazione di Elevazione - Storage

La stazione di Elevazione, ubicata all'interno di un'area recintata di 99,10 x 50,70 metri, il trasformatore AT/AAT e tutta la sezione impiantistica in AAT a 380 kV, sono posizionati all'aperto, mentre le sezioni MT e BT sono all'interno di un manufatto in muratura ordinaria e/o strutture prefabbricate leggere, avente le seguenti dimensioni complessive di 29,40 x 6,70 metri con altezza interna di circa 3 metri, suddiviso in vari locali funzionali: locale quadri MT; locale trasformatore MT/BT per servizi ausiliari di cabina; locale misure; locale sistema di telecontrollo.



Esempio in 3D di una stazione elettrica di Elevazione

LEGENDA	
TR	Trasformatore di potenza 380/36 kV
INT	Interruttore
SEZ	Sezionatore combinato linea terra
TA	Trasformatore di corrente
TV	Trasformatore di tensione
SC	Scaricatore di terra
TC	Ingresso/Terminale cavo
SBARRE	Supporto sbarre con isolatori a colonna
SR	Shunt reactor

La stazione di Elevazione presenterà, quindi, una sezione AAT a 380 kV ed una sezione AT a 33/36 kV, con interposti 2 trasformatori di potenza. In tal modo in caso di guasto di uno stallo l'altro potrà trasformare l'intera potenza dell'impianto.

Lo stallo arrivo trasformatore è costituito da: un sistema di sbarre, un interruttore INT1, un trasformatore 380/36 kV, uno scaricatore SC1, un trasformatore di tensione ad avvolgimento secondario TV1, un trasformatore di corrente a quattro avvolgimenti secondari TA1, un interruttore INT2, un sezionatore combinato linea terra.

Lo stallo partenza cavo AT è composto, invece, da un sistema di sbarre, da un trasformatore di corrente a tre avvolgimenti secondari TA2, un interruttore INT2, un trasformatore di tensione a tre avvolgimenti secondari TV2, un sezionatore combinato linea terra SEZ1, uno scaricatore SC1.

Le principali distanze di progetto sono quelle di seguito riportate:

- A. *distanza fra le fasi per le sbarre, le apparecchiature e i conduttori pari ad almeno 5,50 m;*
- B. *larghezza degli stalli pari a 44 m;*
- C. *distanza minima dei conduttori da terra pari a 6,5 m;*
- D. *quota asse sbarre pari a 11,80 m.*

I conduttori utilizzati per il collegamento delle apparecchiature elettromeccaniche (per le stazioni) saranno i seguenti:

- I. tubo in lega Al Ø 100/86 mm;
- II. corda in Al Ø 36 mm.

In considerazione delle caratteristiche dimensionali delle opere costituenti la stazione di Elevazione si ritiene che le fondazioni potranno essere, di norma, di tipo diretto poggianti sulla formazione *in posto*.

Tutte le basi di sostegno dei tralicci in calcestruzzo, per l'alloggiamento delle apparecchiature elettriche necessarie per la costruzione della sottostazione in esame, si realizzeranno con tirafondi in acciaio zincato.

L'illuminazione della stazione sarà realizzata con pali tradizionali di tipo stradale, con proiettori orientabili.

Le aree in cui verranno posizionate le apparecchiature elettriche saranno riempite con materiale drenante (tipo ghiaia), al cui contorno saranno posizionati i cordoli di delimitazione in c.l.s. armato prefabbricato.

Tutte le restanti superfici, carrabili e non, verranno asfaltate con un primo strato di binder ed un tappetino di usura e si troveranno a quota inferiore rispetto al piano di installazione delle apparecchiature elettriche.

Per la raccolta delle acque piovane si provvederà a realizzare il piazzale con pendenze tali da permettere il naturale scolo delle stesse verso l'apposito impianto di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche.

Condizioni ambientali di riferimento

- Valore minimo temperatura ambiente all'interno: -5°C
- Valore minimo temperatura ambiente all'esterno: -25°C
- Temperatura ambiente di riferimento per la portata delle condutture: 30°C
- Grado di inquinamento: III
- Irraggiamento: 1000 W/m²
- Altitudine e pressione dell'aria: poiché l'altitudine è inferiore ai 1000 m s.l.m. non si considerano variazioni della pressione dell'aria
- Umidità all'interno: 95%
- Umidità all'esterno: fino al 100% per periodi limitati.
- Classificazione sismica (NTC 14/01/2008): zona 2
- Accelerazione orizzontale massima: 0,15 - 0,25g.

Sistema di protezione, monitoraggio, comando e controllo

La stazione sarà controllata da un *sistema centralizzato di controllo* in sala quadri e un *sistema di telecontrollo* da una o più postazioni remote collegati con cavi tradizionali multifilari alle apparecchiature di alta tensione dello stallo e con cavi a fibre ottiche alla sala quadri centralizzata. Essi hanno la funzione di provvedere al comando, al rilevamento segnali e misure e alla protezione dello stallo, agli interblocchi tra le apparecchiature di stallo e tra queste e apparecchiature di altri stalli, all'elaborazione dei comandi in arrivo dalla sala quadri e a quella dei segnali e misure da inoltrare alla stessa, alle previste funzioni di automazione dello stallo, all'oscillo per turbografia di stallo e all'acquisizione dei dati da inoltrare al registratore cronologico di eventi.

Dalla *sala quadri centralizzata* è possibile il controllo della stazione qualora venga a mancare il sistema di teletrasmissione o quando questo è messo fuori servizio per

manutenzione. In sala quadri la situazione dell'impianto (posizione degli organi di manovra), le misure e le segnalazioni sono rese disponibili su un display video dal quale è possibile effettuare le manovre di esercizio.

Per le esigenze del *Sistema di controllo di TERNA*, si installeranno le apparecchiature necessarie al prelievo ed alla trasmissione delle seguenti informazioni:

Telemisure

- misura della tensione sulle sbarre 380 kV;
- misura della potenza attiva, della potenza reattiva e della corrente sul montante di ingresso a 380 kV;
- misura della potenza attiva e della potenza reattiva sul montante a 380 kV dei 2 trasformatori 380/36 kV.

Telesegnali

- stato del sezionatore del montante con lo stato degli interruttori dei trasformatori AT;
- stato dell'interruttore AT sui tre trasformatori;

Le informazioni saranno trasmesse alla Sala Controllo Nazionale di Roma.

Servizi ausiliari in c.a. (corrente alternata) e c.c. (corrente continua)

Il sistema dei servizi ausiliari in c.a. è costituito da:

- quadro MT (costituito da due semiquadri);
- trasformatori MT/BT;
- quadro BT centralizzato di distribuzione (costituito da due semiquadri).

Le principali utenze in c.a. sono: pompe dei trasformatori, motori interruttori e sezionatori, raddrizzatori, illuminazione esterna ed interna, scaldiglie, ecc. il sistema dei servizi ausiliari in c.c. è, invece, costituito da:

- batteria;
- raddrizzatori;
- quadro di distribuzione centralizzato;
- quadri di distribuzione nei chioschi (comuni per c.a. e c.c.).

I servizi ausiliari (s.a.) in c.c. a 110 V sono alimentati da due raddrizzatori carica-batteria in tampone con una batteria prevista per un'autonomia di 4 ore. Ciascuno dei due raddrizzatori è in grado di alimentare i carichi di tutto l'impianto e contemporaneamente di

fornire la corrente di carica della batteria; in caso di anomalia su un raddrizzatore i carichi vengono commutati automaticamente sull'altro.

I s.a., inoltre, della stazione elettrica di Elevazione, progettati e realizzati con riferimento agli attuali standard delle Cabine Primarie AT - ENEL, saranno alimentati da trasformatori MT/BT derivati dalla sezione MT locale ed integrati da un sistema di emergenza che assicuri l'alimentazione dei servizi essenziali in caso di mancata tensione alle sbarre dei quadri principali BT.

La rete di terra sarà dimensionata in accordo alla Norma CEI 11-1. In particolare, si procederà:

- al dimensionamento termico del dispersore e dei conduttori di terra in accordo all'Allegato B;
- alla definizione delle caratteristiche geometriche del dispersore, in modo da garantire il rispetto delle tensioni di contatto e di passo, secondo la curva di sicurezza prescritta.

4.1. Assegnazione dello stallo da parte di Terna

Lo stallo di arrivo in stazione Terna sarà costituito principalmente da:

- Terna di terminali AT per esterno;
- Terna di scaricatori di sovratensione;
- Interruttore tripolare;
- Terna di trasformatori di corrente (TA);
- Terna di trasformatori di Tensione capacitivi (TVC);
- Sezionatore di linea.

Tutti i componenti saranno conformi alle specifiche Terna

5. Criteri di scelta delle protezioni e metodo di Calcolo

5.1. Protezione contro il corto circuito

La protezione contro gli effetti del corto circuito sarà realizzata nell'intervento efficace degli organi di protezione, nel dimensionamento corretto delle apparecchiature e materiali ed inoltre nella resistenza agli sforzi elettrodinamici di quadri e quant'altro. Per garantire l'interruzione automatica dell'alimentazione in Media Tensione (nei valori e tempi previsti dalla norma, coordinati con i dati caratteristici della rete MT), la corrente di intervento della protezione contro il cortocircuito deve essere accuratamente selezionata, tra le varie impostazioni offerte dall'apparecchiatura di protezione. Le apparecchiature di MT e di BT dovranno resistere senza danneggiarsi, nel caso avvenga un corto-circuito, potendo riprendere il servizio normale (senza risentirne in modo grave) passato ed eliminato il guasto.

L'impianto e le apparecchiature che lo compongono, saranno in grado di resistere a:

1. sforzi elettrodinamici che interessano i conduttori vicini, durante il passaggio di un elevato valore di corrente che si verifica durante un guasto;
2. sollecitazioni termiche a cui viene sottoposto il conduttore e l'isolante che lo ricopre senza alterare le proprie caratteristiche;
3. sollecitazioni dovute ad arco elettrico che interessano apparecchiature come interruttori (che dovranno essere in grado di estinguerlo senza diminuire le proprie prestazioni);
4. sollecitazioni determinate dal passaggio di elevati valori di corrente che si verificano, in genere nei vari punti di una installazione, ogni volta che avviene un guasto con conseguente corto-circuito.

La protezione contro gli effetti del corto circuito su apparecchiature, distributori di energia e sistemi di sbarre sarà garantita dal costruttore delle stesse, a seguito di prove di laboratorio e dimensionamenti accurati, in particolare questi potrà garantire a catalogo le proprie apparecchiature. Tali considerazioni sono riferite soprattutto agli interruttori automatici, ai quadri di distribuzione che li contengono, ai sistemi prefabbricati di distribuzione dell'energia elettrica all'interno dei quadri elettrici.

Per gli organi di protezione automatici dovrà essere verificata la condizione:

$$ICC \leq P. \text{ di I.}$$

Dove:

ICC corrente di cortocircuito massima nel punto considerato [kA];

P.di I. potere di interruzione dell'interruttore automatico di protezione [kA]

La protezione contro gli effetti termici del corto circuito sui cavi avviene verificando che l'energia che l'organo di protezione lascia passare nel tempo, sia dissipabile dal cavo senza danneggiarsi secondo la proporzione:

$$I^2t \leq K^2S^2$$

Dove:

I^2t integrale di joule, energia sviluppata per la durata del cortocircuito [A^2s]

K^2S^2 fattore caratteristico del cavo, dipendente dalla sezione e dall'isolante [A^2s]

I corrente di cortocircuito [A]

t tempo di durata del cortocircuito [s]

K fattore caratteristico del cavo in PVC tra 115 e 143 se in GOMMA tra 143 e 176

S sezione conduttore [mm^2]

5.2. Protezione contro i contatti diretti

La protezione contro i contatti diretti delle parti in MT, deve essere di tipo totale, da attuarsi mediante isolamento e l'adozione di involucri con grado di protezione idoneo. In particolare, le parti attive sono accessibili solo aprendo alcune portelle dopo sicure operazioni interbloccate, oppure togliendo parti di involucri con l'uso di attrezzi, il tutto conformemente alle norme e leggi in vigore.

Il minimo grado di protezione deve raggiungere almeno IP2X conformemente alle prescrizioni della norma CEI 17-6. La protezione contro i contatti diretti delle parti in BT,

deve essere di tipo totale, da attuarsi mediante isolamento o l'adozione di involucri con grado di protezione almeno: IPXXD, per le superfici orizzontali superiori a portata di mano, e IPXXB per le altre superfici. In particolare, le parti attive sono accessibili solo togliendo parti di involucri con l'uso (almeno) di attrezzi. Per le linee elettriche in cavo la protezione sarà di tipo totale, costituita dall'isolamento del conduttore, asportabile solo mediante distruzione, pertanto sicura contro i contatti diretti lungo tutto il suo percorso.

5.3. Protezione contro il sovraccarico

Per garantire l'interruzione automatica dell'alimentazione per sovraccarico, saranno adottate le protezioni di cui saranno fornite le apparecchiature di Media Tensione. Le tarature di queste saranno dettate dal tipo di apparecchiatura installata a valle. La curva caratteristica di intervento sarà scelta tra le varie opzioni disponibili dal sistema di protezione, cercando quella più adatta allo scopo. Il valore nominale di questi dovranno considerare i carichi a cui sarà sottoposta la rete MT; questi saranno dello stesso tipo sulle tre fasi, senza particolari applicazioni, data la natura ordinaria dell'impianto. La protezione dal sovraccarico degli impianti di Bassa Tensione, sarà assicurata mediante l'adozione di interruttori automatici magnetotermici coordinati con la portata delle condutture installate a valle di essi.

La verifica della protezione dal sovraccarico avviene assicurando le seguenti relazioni:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad I_f \leq 1,45 * I_Z$$

Dove:

I_B = corrente di impiego del circuito[A]

I_n = corrente nominale del dispositivo di protezione [A]

I_Z = portata a regime permanente della conduttura elettrica [A]

I_f = corrente convenzionale di funzionamento del dispositivo di protezione [A]

La determinazione di I_Z viene riferita alle recenti tabelle CEI-UNEL 35024/1, per cavi isolati con materiale elastomerico, nei campi di applicazione previsti; per altri tipi di posa o di cavo valgono le normative specifiche. In base a questa normativa, maggiormente restrittiva rispetto alle precedenti edizioni, l'effettiva portata di un cavo è oggetto di diversificate considerazioni; per cui:

$$I_Z = I_0 * k_1 * k_2$$

Dove:

I_z = portata a regime permanente della conduttura elettrica [A];

I_0 = portata alla temperatura ambiente di 30°C relativa al singolo cavo multipolare, o insieme di cavi unipolari che compongono un solo circuito (valori reperibili nelle tabelle della stessa norma) [A];

k_1 = fattore di correzione per temperatura ambiente diversa da 30 °C (valori reperibili nelle tabelle);

k_2 = fattore di correzione per cavi installati in fascio od in strato;

La determinazione del fattore di correzione denominato k_2 è frutto di considerazioni distinte e complesse, riguardanti il concetto secondo cui un cavo, posto in prossimità di altri circuiti, diminuisce la sua portata, in quanto viene riscaldato dagli altri e viceversa. Per cavi raggruppati in fascio o strato è prevista l'applicazione del fattore quando i cavi considerati hanno sezioni simili (tre sezioni commerciali consecutive)

$$k_2 = 1/\sqrt{n}$$

intendendo n come numero di circuiti (circuiti cautelativamente considerati percorsi dall'intera corrente di portata), trascurando da n i circuiti percorsi da una corrente:

$$I < 30\% I_z$$

5.4. Dimensionamento contro la caduta di tensione

Il fenomeno di abbassamento di tensione tra due punti, uno a monte e l'altro a valle, in una rete elettrica di distribuzione, viene denominato caduta di tensione. In tutti gli impianti elettrici occorre valutare che la differenza tra la tensione al punto d'origine dell'alimentazione e la tensione all'utilizzatore d'energia sia adeguatamente contenuta, nei limiti normativi e nei limiti di funzionamento dell'apparecchio utilizzatore. Un'eccessiva differenza tra i due valori nuoce al funzionamento ed al rendimento degli impianti, inoltre elevate differenze di tensione tra monte e valle è sinonimo di perdite sulla linea elettrica, con conseguente cattivo dimensionamento e non ottimizzazione dell'impianto di

trasmissione dell'energia. La caduta di tensione sarà contenuta mediante un corretto calcolo dimensionale delle linee.

Il valore della caduta di tensione può essere determinato mediante la formula:

$${}_D U = k * I * L * (r_0 \cos f + x_0 \sin f)$$

Dove:

${}_D U$ = caduta di tensione [V]

I = corrente efficace della linea [A]

L = lunghezza della linea [km]

r_0 = resistenza della linea (rif. 90°C) [Ω /km]

x_0 = reattanza della linea [Ω /km]

V = tensione inizio linea [V]

k = sistema trifase = $\sqrt{3}$ sistema monofase = 2

la caduta di tensione percentuale sarà quindi:

$${}_D V\% = 100 * {}_D U / V$$

5.5. Determinazione delle correnti di cortocircuito

La presente sezione riporta la descrizione del metodo con cui è stato elaborato il procedimento per il calcolo delle correnti di cortocircuito.

La potenza di cortocircuito della Rete AT (P_r) è la potenza, espressa in MVA, che si ottiene dalla corrente di cortocircuito simmetrica (I_{ccs}) alla tensione nominale.

Essa si calcola come:

$$P_r = c * (\sqrt{3}) * U_n * I_{ccs}$$

Dove:

P_r = Potenza di corto circuito della Rete [MVA];

U_n = Tensione nominale della Rete Ω ;

I_{ccs} = Corrente di cortocircuito trifase simmetrica [kA];

c = Coefficiente di margine indicato dalla Norma CEI per le reti AT e MT, che tiene conto del possibile aumento della tensione in rete (Valore = 1.1).

Per il computo corretto del contributo della rete AT, riferito alla tensione dei montanti MT, si deve calcolare la reattanza equivalente della Rete (X_r), riferita al lato MT dei trasformatori:

$$X_r = (U_{t2})^2 / P_r$$

Dove:

X_r = Reattanza equivalente della Rete riferita all'avvolgimento MT del trasformatore [Ω];

U_{t2} = Tensione riferita all'avvolgimento MT del trasformatore, con la maggiorazione del 10% (condizione limite) [kV];

P_r = Potenza di corto circuito della Rete [MVA].

Per determinare l'impedenza equivalente (e la relativa resistenza e reattanza) del trasformatore riferita all'avvolgimento MT, si sono utilizzate le seguenti formule:

$$Z_{t2} = [(U_{t2})^2 / P_{tn}] * [U_{cc} / 100];$$

$$R_{t2} = [(U_{t2})^2 / P_{tn}] * [P_{p(Cu)} / 100];$$

$$X_{t2} = \sqrt{[(Z_{t2})^2 - (R_{t2})^2]};$$

Dove:

Z_{t2} = Impedenza equivalente riferita all'avvolgimento MT (U_{t2}) del trasformatore [Ω];

R_{t2} = Resistenza equivalente riferita all'avvolgimento MT (U_{t2}) del trasformatore [Ω];

X_{t2} = Reattanza equivalente riferita all'avvolgimento MT (U_{t2}) del trasformatore, calcolata come differenza vettoriale tra l'impedenza e la resistenza [Ω];

U_{cc} = Tensione di cortocircuito del trasformatore [%];

P_{tn} = Potenza nominale del trasformatore [MVA];

$P_{p(Cu)}$ = Perdite nel rame del trasformatore [%];

Per determinare il contributo fornito dai generatori alla corrente di cortocircuito, si è utilizzata la seguente formula:

$$X_{cc(s)g} = (c * U_g) / [(\sqrt{3}) * X''_d]$$

Dove:

$X_{cc(s)g}$ = Corrente simmetrica di cortocircuito (iniziale) prodotta dal Generatore [kA]

U_g = Tensione nominale del trasformatore [kV]

c = Coefficiente di margine indicato dalla Norma CEI per le reti AT e MT, che tiene conto del possibile aumento della tensione in rete (Valore = 1.1)

X''_d = Reattanza subtransitoria diretta satura del generatore [Ω]

A sua volta X''_d è calcolato come:

$$X''_d = (U_g^2 * X''_{d_{pu}}) / [(\sqrt{3}) * I_g * U_g]$$

Dove:

$X''_{d_{pu}}$ = Reattanza subtransitoria diretta satura del generatore espressa in [per unit]

U_g = Tensione nominale del trasformatore [kV]

I_g = Corrente nominale del trasformatore [kA]

Il prodotto $(\sqrt{3}) * I_g * U_g$ rappresenta la potenza nominale apparente del generatore [MVA]

Le impedenze relative alle sbarre dei quadri e dei componenti di linea non vengono, nel calcolo in oggetto, considerate in quanto si ritengono di valore trascurabile.

Il valore simmetrico della corrente di cortocircuito " $I_{cc(s)x}$ ", nel punto richiesto (x), viene calcolato come:

$$I_{cc(s)x} = [c * (U_{t_x})] / [(\sqrt{3}) * Z_{x_{cc}}]$$

Dove:

$I_{cc(s)x}$ = Valore simmetrico della corrente di corto circuito al punto di guasto (x) considerato [kA]

c = Coefficiente di margine indicato dalla Norma CEI per le reti AT e MT, che tiene conto del possibile aumento della tensione in rete (Valore = 1.1)

U_{tx} = Valore di tensione al punto di guasto (x) considerato [kv]

$Z_{x_{cc}}$ = Impedenza totale del circuito al punto di guasto considerato [Ω]

A sua volta $Z_{x_{cc}}$ è calcolata come:

$$Z_{x_{cc}} = \sqrt{[(R_{x_{cc}})^2 + (X_{x_{cc}})^2]}$$

Dove:

$R_{x_{cc}}$ = Resistenza totale del circuito come somma delle resistenze delle apparecchiature fino al punto di guasto considerato (comprensivo anche delle resistenze delle linee elettriche) [Ω].

$X_{x_{cc}}$ = Reattanza totale del circuito come somma delle reattanze delle apparecchiature fino al punto di guasto considerato (comprensivo anche delle reattanze delle linee elettriche) [Ω].

Il valore di cresta della corrente di cortocircuito " $I_{cc(p)x}$ " nel punto richiesto (x), viene calcolato come:

$$I_{cc(p)x} = k(p) * I_{cc(s)x}$$

Dove:

$I_{cc(p)x}$ = Valore di cresta della corrente di corto circuito al punto di guasto (x) considerato [kA]

$I_{cc(s)x}$ = Valore simmetrico della corrente di corto circuito al punto di guasto (x) considerato [kA]

$k(p)$ = fattore di cresta, dipendente dalle caratteristiche del circuito (resistenza e reattanza) ove avviene il cortocircuito, che definiscono l'angolo di sfasamento dato da $\tan\varphi = X_{x_{cc}} / R_{x_{cc}}$

Data una certa sezione del conduttore, deve essere verificato che, nelle condizioni di corto circuito, la corrente passante non sia tale da danneggiare l'isolamento del cavo stesso. La massima corrente di corto circuito $I_{cc(H)x}$, ammessa nel cavo del circuito (x), è data dalla relazione:

$$I_{cc}(H)_x = (S * C) / \sqrt{T}$$

dove:

S = Sezione del conduttore [mm²]

T = Durata del cortocircuito, assumendo il tempo di intervento delle protezioni che interrompono il cortocircuito [s];

C = Coefficiente di tipo del cavo che tiene in considerazione il tipo di materiale e d'isolamento, la temperatura iniziale e finale ammessa, come da Norma CEI 11-17, tabella 2.02.02.

Nel caso di collegamento con più conduttori in parallelo per fase, il valore di I_{cc} di linea deve essere ridotto proporzionalmente per l'ottenimento del valore di I_{cc}(H)_x del conduttore da inserire nella formula, come:

$$I_{cc} / N_c = I_{cc}(H)_x$$

Dove:

N_c = Numero di conduttori in parallelo sulla stessa fase.

La verifica della corrente minima di cortocircuito viene effettuata per stabilire la corrente sotto la quale la linea non può considerarsi protetta, ovvero la lunghezza massima protetta per una certa corrente di cortocircuito. Come corrente di cortocircuito minima si considera quella corrispondente ad un cortocircuito che si produca tra le fasi, nel punto più lontano della linea protetta. Per la determinazione della corrente di cortocircuito minima saranno utilizzate le seguenti formule:

$$I_{cc}(m)_x = [k\delta U_L * (U_{c_x})] / \{1.5 * \rho * [(2 * L) / S]\}$$

Dove:

U_{c_x} = Tensione concatenata di alimentazione del circuito (x) [V]

ρ = Resistività a 20°C del materiale dei conduttori (0.0179 per il rame) [Ωmm²/m]

L = Lunghezza della linea protetta [m]

S = Sezione del conduttore) [mm²]

I_{cc}(m) = Corrente di cortocircuito presunta [A]

kδU_L = Coefficiente di riduzione della tensione di alimentazione per effetto della corrente di cortocircuito, rispetto alla tensione di alimentazione, dato da:

$$k\delta U_L = 1 - [(\sqrt{3}) * I_{cc}(p) * Z_L] / U_{f_x}$$

Dove:

U_{f_x} = Tensione di fase di alimentazione del circuito (x) [V]

$I_{cc}(p)$ = Corrente di cortocircuito nella situazione di cresta (picco) [A]

Z_L = Impedenza di linea [Ω]

Si può ricavare la massima lunghezza protetta di un cavo, con la seguente formula:

$$L = (k\delta U_L * U_{c_x} * S) / [1,5 * \rho * 2 * I_{cc}(m)_x]$$

Nel caso di collegamento con più conduttori in parallelo per fase, il valore di I_{cc} di linea deve essere ridotto proporzionalmente per l'ottenimento del valore di $I_{cc}(m)$ del conduttore da inserire nella formula, come:

$$I_{cc} / N_c = I_{cc}(m)_x$$

Dove:

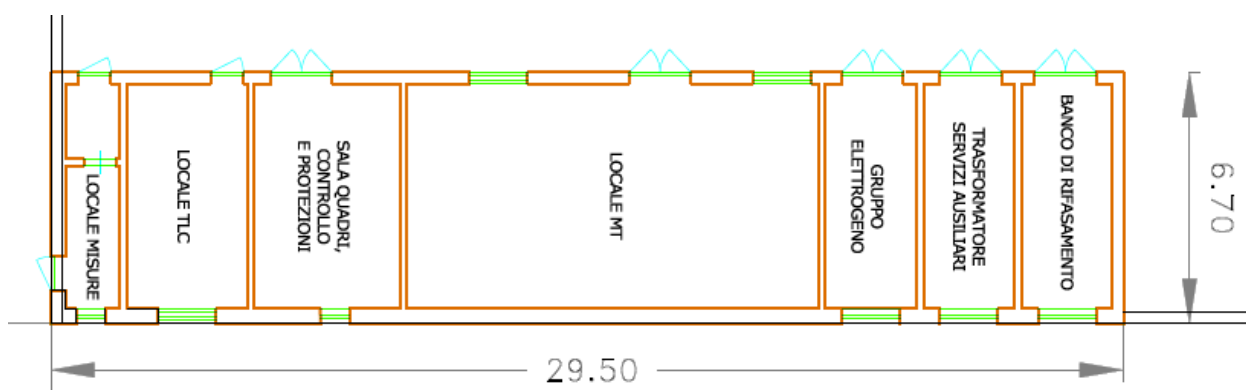
N_c Numero di conduttori in parallelo sulla stessa fase.

6. Opere civili

Fabbricati

I fabbricati sono costituiti, sostanzialmente, da un *edificio quadri comando e controllo* costituito da un manufatto in muratura ordinaria e/o strutture prefabbricate leggere, di dimensioni: 29,50 x 6,70 x 3 metri, e composto dai seguenti locali:

- banco di rifasamento;
- trasformatore servizi ausiliari;
- gruppo elettrogeno;
- locale MT;
- sala quadro, controllo e protezioni;
- locale TLC;
- locale misure fiscali.



Pianta edificio quadri di comando e di controllo

In esso saranno realizzati, in particolare, i seguenti impianti tecnologici:

- illuminazione e prese F.M.;
- riscaldamento, condizionamento e ventilazione;
- rilevazione incendi;
- controllo accessi e antintrusione;
- telefonico.

Fondazioni dei sostegni sbarre e cunicoli cavi

Le fondazioni dei sostegni sbarre, delle apparecchiature e degli ingressi di linea in stazione,

sono realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera; per le sbarre e per le apparecchiature, con esclusione degli interruttori, potranno essere realizzate anche fondazioni di tipo prefabbricato, con caratteristiche uguali o superiori a quelle delle fondazioni gettate in opera. Esse sono state calcolate in tempi recenti a seguito della redazione del progetto unificato ENEL per le stazioni, e tengono conto di pressioni massime sul terreno pari a 0,8 da N/cm².

In fase di progettazione esecutiva sarà verificata la adeguatezza delle fondazioni ai sensi della vigente normativa sismica.

Le coperture dei pozzetti e dei cunicoli, facenti parte delle suddette fondazioni, saranno in PRFV (materiale rinforzato con fibre a matrice polimerica) con resistenza di 2000 daN. I cunicoli per cavetteria saranno realizzati in calcestruzzo armato gettato in opera, oppure prefabbricati; le coperture in PRFV saranno carrabili con resistenza di 5000 daN.

Strade e piazzole

Le strade interne all'area della stazione saranno asfaltate e di larghezza non inferiore a 4 m; le piazzole per l'installazione delle apparecchiature saranno ricoperte con adeguato strato di ghiaione stabilizzato; tali finiture superficiali contribuiranno a ridurre i valori di tensione di contatto e di passo effettive, in caso di guasto a terra sul sistema AT.

Ingressi e recinzioni

Il collegamento dell'impianto alla viabilità ordinaria sarà garantito da una strada di accesso locale che avrà una larghezza opportuna e sarà realizzata con caratteristiche idonee per qualsiasi tipo di mezzo di trasporto su strada.

Per l'ingresso alla stazione, è previsto un cancello carrabile largo 7,00 m di tipo scorrevole ed un cancello pedonale, ambedue inseriti fra pilastri e pannellature in conglomerato cementizio armato e posizionati sul lato S-E della recinzione perimetrale. Quest'ultima sarà conforme alla *Norma CEI 11-1*.

Movimenti di terra

L'area sulla quale dovrà sorgere la nuova stazione è pianeggiante. I movimenti di terra sono pertanto di modestissima entità e legati sostanzialmente alla realizzazione delle fondazioni.

I lavori civili di preparazione, in funzione delle caratteristiche plano altimetriche e

fisico/meccaniche del terreno, consisteranno in un eventuale sbancamento/riporto, al fine di ottenere un piano a circa 60-80 centimetri rispetto alla quota del piazzale di stazione. Il criterio di gestione del materiale scavato prevede il suo deposito temporaneo presso l'area di cantiere e, successivamente, il suo utilizzo per il riempimento degli scavi e per il livellamento del terreno alla quota finale di progetto, previo accertamento, in fase esecutiva, dell'idoneità di detto materiale per il suo riutilizzo in sito.

Poiché per l'esecuzione dei lavori non saranno utilizzate tecnologie di scavo con impiego di prodotti contaminanti (dannosi per rocce e terre, aree a verde, boschive, agricole, residenziali, aste fluviali o canali dove siano assenti scarichi e tutte le eventuali altre aree in cui non sia accertata e/o non si sospetti potenziale contaminazione), il materiale scavato a questa scala del progetto sarà considerato idoneo al riutilizzo in sito; invece, nel caso in cui i campionamenti eseguiti forniscano esito negativo, il materiale scavato sarà destinato ad idonea discarica e il riempimento verrà effettuato con materiale inerte di idonee caratteristiche.

In tutti i casi, l'eventuale terreno rimosso in eccesso, sarà conferito in discarica nel rispetto della normativa vigente.

Smaltimento acque meteoriche e fognarie

Per la raccolta delle acque meteoriche sarà realizzato un sistema di drenaggio superficiale che convoglierà la totalità delle acque raccolte dalle strade e dai piazzali in appositi collettori (tubi, vasche di prima pioggia, pozzi perdenti, ecc.). Lo smaltimento delle acque meteoriche è regolamentato dagli enti locali; pertanto, a seconda delle norme vigenti, si dovrà realizzare il sistema di smaltimento più idoneo, che potrà essere in semplice tubo, da collegare alla rete fognaria, mediante sifone o pozzetti ispezionabili, da un pozzo perdente, da un sistema di sub-irrigazione o altro.

Schede tecniche componistiche

Tipo TERNA	Corrente di interruzione (kA)			
Y1/8-C – Y1/12-C	50			
Y1/8-P – Y1/12-P	50			
Y1/10-C – Y1/14-C	63			
Y1/10-P – Y1/14-P	63			
GRANDEZZE NOMINALI				
Tipo	Y1/8	Y1/10	Y1/12	Y1/14
Tensione nominale (kV)	420			
Livello di isolamento nominale:				
Tensione nominale di tenuta a impulso atmosferico:				
- verso terra (kV)	1425			
- tra i contatti aperti (kV)	1425 (+240)			
Tensione nominale di tenuta a impulso di manovra:				
- verso terra (kV)	1050			
- tra i contatti aperti (kV)	900 (+345)			
Tensione nominale di tenuta a frequenza industriale:				
- verso terra (kV)	520			
- tra i contatti aperti (kV)	610			
Frequenza nominale (Hz)	50			
Corrente nominale (A)	3150		4000	
Durata nominale di corto circuito (s)	1			
Tensioni nominali di alimentazione dei circuiti ausiliari:				
- corrente continua (V)	110			
- corrente alternata monofase/trifase a quattro fili (V)	230/400			
Potenza massima assorbita da ogni singolo circuito indipendente (CH, AP1, AP2, AP3, motore/i, climatizzazione):				
- corrente continua (W)	1500			
- corrente alternata monofase/trifase (VA)	850/2500			
Corrente di stabilimento nominale di corto circuito (kA)	125	160	125	160
Sequenza di manovra nominale	O-0,3 s-CO-1 min-CO			
Corrente di interruzione nominale di linee a vuoto (A)	400			
Corrente di interruzione nominale di cavi a vuoto (A)	400			
Corrente di interruzione nominale di batteria singola di condensatori (A)	400			
Corrente di interruzione nominale in discordanza di fase (kA)	12,5	16	12,5	16
Durata massima di interruzione (ms)	60			
Durata massima di stabilimento/interruzione (ms)	80			
Durata massima di chiusura (ms)	150			
Forze statiche ai morsetti:				
- orizzontale longitudinale (N)	1750			
- orizzontale trasversale (N)	1250			
- verticale (N)	1500			
Livello di qualificazione sismica	AF5			

Interruttori a tensione nominale 380kV

Codifica Tema	Y12/2	Y12/4	Y12/6	Y12/8
Classe di corrente indotta del sezionatore di terra	A		B	
Salinità di tenuta a 243 kV (kg/m ³)	40			
Tensione nominale (kV)	420			
Corrente nominale (A)	3150			
Frequenza nominale (Hz)	50			
Corrente nominale di breve durata:				
- valore efficace (kA)	50	63	50	63
- valore di cresta (kA)	125	160	125	160
Durata ammissibile della corrente di breve durata (s)	1			
Accoppiamento elettromagnetico (sezionatore di terra)				
- corrente induttiva nominale (A)	80		200	
- tensione induttiva nominale (kV)	2		22	
Accoppiamento elettrostatico (sezionatore di terra)				
- corrente induttiva nominale (A)	1,25		18	
- tensione induttiva nominale (kV)	5		22	
Tensione di prova ad impulso atmosferico:				
- verso massa (kV)	1425			
- sul sezionamento (kV)	1425 (+240)			
Tensione di prova ad impulso di manovra:				
- verso massa (kV)	1050			
- sul sezionamento (kV)	900 (+345)			
Tensione di prova a frequenza di esercizio:				
- verso massa (kV)	520			
- sul sezionamento (kV)	610			
Sforzi meccanici nominali sui morsetti:				
- orizzontale longitudinale (N)	2000			
- orizzontale trasversale (N)	660			
- verticale (N)	1500			
Tensione nominale di alimentazione:				
- motore e circuiti di comando ed ausiliari (V _{cc})	110			
- resistenza di riscaldamento (V _{ca})	230			
Assorbimento massimo complessivo dei motori di comando di ciascun sezionatore (kW)	2			
Tempo di apertura/chiusura (s)	≤15			

Sezionatori orizzontali a tensione nominale 420 kV con lame di messa a terra

Tema Type	T31
------------------	------------

GRANDEZZE NOMINALI		
Corrente termica di breve durata (I_{th})	(kA)	63
Tensione nominale (U_m)	(kV)	420
Frequenza nominale	(Hz)	50
Rapporto di trasformazione nominale:	(A/A)	800/5 1600/5 3200/5
Numero di nuclei	(n)	3
Corrente termica nominale permanente	(A)	1,2 I_p
Corrente termica nominale di emergenza 1 h	(A)	1,5 I_p
Corrente dinamica nominale (I_{dyn})	(p.u.)	2,5 I_{th}
Resistenza secondaria II e III nucleo a 75°C	(Ω)	$\leq 0,2$ $\leq 0,4$ $\leq 0,8$
Prestazioni e classi di precisione sul rapporto 800/5: I nucleo II e III nucleo	(VA/Cl.) (VA/Cl.)	20/0,2 40/0,5 15/5P30
Prestazioni e classi di precisione sul rapporto 1600/5 e 3200/5: I nucleo II e III nucleo	(VA/Cl.) (VA/Cl.)	30/0,2 60/0,5 30/5P30
Fattore di sicurezza (I nucleo)	-	≤ 10
Tensione di tenuta a impulso atmosferico	(kV)	1550
Tensione di tenuta a frequenza industriale	(kV)	680
Tensione di tenuta a impulso di manovra	(kV)	1175

Trasformatore di corrente a tensione di esercizio 380kV

GRANDEZZE NOMINALI				
Codice TERNA	Y41/1	Y43/1	Y46/1	Y44/1
Tensione primaria nominale [kV]	380 /√3	220 /√3	150 /√3	132 /√3
Tensione secondaria nominale [V]	100 /√3			
Frequenza nominale [Hz]	50			
Prestazione nominale e classe di precisione [VA/Cl.]	50/0,2 – 75/0,5 – 100/3P			
Capacità nominale [pF]	4000÷10000			
Tensione massima per l'apparecchiatura [kV]	420	245	170	145
Tensione di tenuta a frequenza industriale [kV]	630	460	325	275
Tensione di tenuta ad impulso atmosferico [kV]	1425	1050	750	650
Tensione di tenuta ad impulso di manovra [kV]	1050	-	-	-
Carico di tenuta meccanica sui terminali AT [N]	3000	2500	2000	2000
Carico di tenuta meccanica sulla flangia [N]	-	-	4000	4000

Trasformatori di tensione capacitivi

GRANDEZZE NOMINALI				
Codice TERNA	Y41/2	Y43/2	Y46/2	Y44/2
Tensione primaria nominale [kV]	380/√3	220/√3	150/√3	132/√3
Tensione secondaria nominale [V]	100/√3			
Numero avvolgimenti secondari [n]	1			
Frequenza nominale [Hz]	50			
Prestazione nominale e classe di precisione [VA/Cl.]	50/0,2			
Tensione massima per l'apparecchiatura [kV]	420	245	170	145
Tensione di tenuta a frequenza industriale [kV]	630	460	325	275
Tensione di tenuta ad impulso atmosferico [kV]	1425	1050	750	650
Tensione di tenuta ad impulso di manovra [kV]	1050	-	-	-
Carico di tenuta meccanica sui terminali AT [N]	3000	2500	2000	2000

Trasformatori di tensione induttivi

Tipo Terna	Y56	Y57	Y58	Y59
Tensione della rete 50Hz (max tensione)	380 kV (420 kV)	220 kV (245 kV)	132 kV (145 kV)	150 kV (170 kV)
Tensione servizio continuo U _c	265 kV	156 kV	94 kV	108 kV
Max tensione temporanea 1 s	366 kV	219 kV	132 kV	156 kV
Max tensione residua con impulsi atmosferici (20 kA - 8/20 μs)	830 kV	520 kV	-	-
Max tensione residua con impulsi atmosferici (10 kA - 8/20 μs)	-	-	336 kV	396 kV
Max tensione residua con impulsi fronte ripido (20 kA - 1 μs)	955 kV	600 kV	-	-
Max tensione residua con impulsi fronte ripido (10 kA - 1 μs)	-	-	386 kV	455 kV
Max tensione residua con impulsi manovra (30/60 μs)	2000 A: 720 kV	2000 A: 440 kV	1000 A: 270 kV	1000 A: 318 kV
Classe di scarica della linea (IEC)	4	4	3	3
Corrente nominale scarica	20 kA	20 kA	10 kA	10 kA
Valore di cresta impulsi forte corrente	100 kA	100 kA	100 kA	100 kA
Corrente nominale di corto circuito	63 kA	50 kA	40 kA	40 kA

Scaricatori

7. Impatti

7.1. Acustico

L'inquinamento acustico potenziale degli aerogeneratori è legato a due tipi di rumore:

- *meccanico*, proveniente dal generatore
- *aerodinamico*, proveniente dall'interazione pale/vena fluida.

Per quanto riguarda il rumore, in termini di decibel, il ronzio degli aerogeneratori è ben al di sotto dei rumori che si percepiscono in un'area urbana. Già allontanandosi di *300 m* da un aerogeneratore, infatti, si rilevano gli stessi decibel che si avvertono normalmente in ambienti poco urbanizzati. Attualmente, inoltre, nuove tecnologie hanno permesso di ridurre in maniera notevole l'impatto acustico, grazie ad una minore frequenza di rotazione, ad un design appropriato e all'utilizzo di materiali fonoassorbenti all'interno della navicella per l'isolamento della stessa.

Nel caso in cui il vento spiri a velocità sostenute, il rumore generato dagli aerogeneratori si confonde con quello che la vena fluida produce attraversando la vegetazione o impattando contro i manufatti.

L'impianto eolico in progetto è ubicato in una *zona agricola* tipizzata secondo il *D.M. 1444/68 in Tutto il territorio nazionale*. Per i Comuni in assenza di un *Piano di Zonizzazione Acustica* del proprio territorio, ai sensi dell'art. 8 comma 1 del D.P.C.M. 14.11.1997 - *Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore* -, i valori assoluti di immissione devono essere confrontati con i limiti di accettabilità della tabella di cui art. 6 del D.P.C.M. 01.03.1991 - *Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno* - di seguito riportati:

ZONIZZAZIONE	LIMITE DIURNO Leq (A)	LIMITE NOTTURNO LEQ (A)
Tutto il territorio nazionale	70	60
Zona A (D.M. n. 1444/68)	65	55
Zona B (D.M. n. 1444/68)	60	50
Zona esclusivamente industriale	70	70

Tabella 8: Art. 6 del D.P.C.M. 01.03.1991

Si riportano di seguito le fonti normative ed i principi regolatori che sono alla base della legislazione speciale in tema di inquinamento acustico.

- **Legge Quadro sull'inquinamento acustico** n. 447 del 26/10/1995, che prevede la predisposizione di documentazione previsionale dell'impatto acustico, redatta da un tecnico competente in acustica ambientale, relativamente alla realizzazione ed esercizio di impianti ed attività produttive (Art. 8 comma 4);
- D.Lgs n. 387 2003 relativo all'installazione di impianti per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.
- D. Lgs n. 152 2006 relativo alla Valutazione di Impatto Ambientale.
- **Legge Regionale del 14 giugno 2007, n. 17:** *"Disposizioni in campo ambientale, anche in relazione al decentramento delle funzioni amministrative in materia ambientale."*, in BURP del 18 giugno 2007, n. 87.
- Le misure di rumore ambientale sono attualmente disciplinate dalla Legge Quadro sull'inquinamento acustico n. 447 del 26/10/95.
- La legge è stata integrata successivamente dai seguenti decreti attuativi:
- **DPCM 14/11/97:** Determinazione dei valori limiti delle sorgenti sonore (pubblicato su Gazzetta Ufficiale N.280 del 1/12/97)
- **DMA 16/03/98:** Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico (pubblicato su Gazzetta Ufficiale N.76 del 1/4/98)

Si considerano qui di seguito le applicazioni relative al decreto sui livelli limite (D.P.C.M. 14/11/97) e tecniche di rilevamento (D.M.A. 16/3/98).

Tenuto conto delle normative in vigore adottate nel territorio nazionale e degli studi con

simulazione degli effetti riportati su un'area prossima a quella di intervento da parte di "n" ricettori su "n" punti sensibili, ad una velocità del vento di 8 m/s, si è dedotto che in un'area di tipo misto il Leq nel periodo diurno è di 60 dB, mentre il Leq nel periodo notturno è di 50 dB. Per ogni punto sensibile il risultato è ben al di sotto dei 50 dB. Pertanto il valore del livello di pressione sonora stimato ed immesso nell'ambiente esterno dai futuri generatori sarebbe inferiore al valore limite fissato dalla normativa Leq= 60.0 dB(A) per il periodo di riferimento diurno e Leq=50.0 dB(A) per il periodo di riferimento notturno. La rumorosità ambientale prevista, dunque, rientra nei limiti massimi consentiti dalla legislazione vigente. Nella stazione di Elevazione non sono installate apparecchiature/sorgenti di rumore permanente, fatta eccezione per il trasformatore, per il quale si può considerare un livello di pressione sonora Lp (A) a vuoto alla tensione nominale non superiore a 72 dB(A) a 0.3 metri in funzionamento ONAN e 78 dB(A) a 2 metri in funzionamento ONAF: esso, però, generalmente non viene percepito all'esterno del perimetro di recinzione. Solo gli interruttori durante le manovre (di brevissima durata e pochissimo frequenti) possono provocare un rumore trasmissibile all'esterno. In ogni caso il rumore sarà contenuto nei limiti previsti dal DPCM 01/03/ 1991 e dalla Legge Quadro sull'inquinamento acustico del 26/10/1995, n. 447.

Va sottolineato che per quel che concerne l'impatto acustico, il dato relativo alla distanza turbina/casa la progettazione dell'impianto è stata effettuata in modo da risultare opportunamente distante dalle abitazioni (minimo 300 metri).

7.2. Elettromagnetico

7.2.1. Cavidotto interno AT

In questa sezione si valuta l'entità delle *emissioni elettromagnetiche*, o intensità dei campi elettromagnetici, associate ai cavidotti di collegamento AT tra gruppi di aerogeneratori del parco eolico in oggetto e la stazione di elevazione AT/AAT, in base al DM del MATTM del 29.05.2008, e le *fasce di rispetto* dei cavidotti AT.

Innanzitutto la linea elettrica durante il suo normale funzionamento genera un *campo elettrico* e un *campo magnetico*. Il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, mentre il secondo è proporzionale alla corrente che vi circola. Entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza come mostrato dai grafici seguenti. Tuttavia, nel caso di cavi interrati, la presenza dello schermo e la relativa vicinanza dei conduttori delle tre fasi elettriche rende di fatto il campo elettrico nullo ovunque. Pertanto, il rispetto della normativa vigente in corrispondenza dei recettori sensibili è sempre garantito indipendentemente dalla distanza degli stessi dall'elettrodotto. Per quanto riguarda invece il campo magnetico si rileva che la maggiore vicinanza dei conduttori delle tre fasi tra di loro rispetto alla soluzione aerea rende il campo trascurabile già a pochi metri dall'asse dell'elettrodotto. Di seguito sarà esposto l'andamento del campo magnetico massimo lungo il tracciato della linea interrata a 33/36 kV. La linea di connessione genera, con andamento radiale rispetto ai cavi, dei campi elettromagnetici dovuti al passaggio della corrente e ad essa proporzionali. Il campo elettrico è prodotto da un sistema polifase risulta associato alle cariche in gioco, e quindi alle tensioni, ed è quindi presente non appena la linea sia posta in tensione, indipendentemente dal fatto che essa trasporti o meno potenza. Il campo magnetico è invece associato alla corrente (e quindi alla potenza) trasportata dalla linea: esso scompare quando la linea è solo "in tensione" ma non trasporta energia.

I campi elettromagnetici, in base alla loro frequenza, possono essere suddivisi in:

- *onde ionizzanti* (IR): onde ad alta frequenza così chiamate in quanto capaci di modificare la struttura molecolare rompendone i legami atomici (l'esempio più ricorrente è quello dei raggi X) e perciò cancerogene;
- *onde non ionizzanti* (NIR): su cui sono tuttora in corso numerosi studi tesi a verificare gli effetti sull'uomo. Questo tipo di onde comprende, tra le varie frequenze, le microonde, le

radiofrequenze ed i campi a frequenza estremamente bassa (ELF - Extremely Low Frequency da 0 a 10 kHz). Fra questi campi a bassa frequenza (ELF) è compresa anche l'energia elettrica trasmessa a frequenza di 50 Hz.

Le grandezze che determinano l'intensità e la distribuzione del campo magnetico nello spazio circostante una linea interrata sono fondamentalmente:

- 1 intensità delle correnti di linea;
- 2 distanza dai conduttori;
- 3 isolanti, schermature e profondità di interrimento del cavo;
- 4 disposizione e distanza tra conduttori.

Per mitigare il campo magnetico generato da una linea elettrica è necessario agire su una o più delle grandezze sopra elencate, dal momento che la schermatura mediante materiali ad alta permeabilità e/o conducibilità non è strada praticabile.

L'influenza dei vari fattori si evince immediatamente dalla *legge di Biot-Savart*: il campo magnetico è direttamente proporzionale all'intensità di corrente e inversamente proporzionale alla distanza dalla sorgente.

Legge di Biot-Savart:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi R}$$

Il quarto fattore, entra in gioco per il fatto che il sistema di trasmissione è trifase, cioè composto da una terna di correnti di uguale intensità ma sfasate nel tempo. Poiché il campo magnetico in ogni punto dello spazio circostante è dato dalla composizione vettoriale dei contributi delle singole correnti alternate, ne deriva un effetto di mutua compensazione di tali contributi tanto maggiore quanto più vicine tra loro sono le sorgenti, fino ad avere una compensazione totale se le tre correnti fossero concentriche.

Per le linee aeree, la distanza minima tra i conduttori è limitata alla necessaria distanza tra le fasi e dipende dalla tensione di esercizio, mentre per le linee in cavo tale distanza può essere dell'ordine di 20-30 cm con un abbattimento sostanziale del campo magnetico già a poca distanza.

Come avviene ormai sempre più di frequente, le linee di Media Tensione non vengono più costruite mediante linea aerea, ma interrate consentendo di ridurre drasticamente l'effetto dovuto ai campi elettromagnetici attenuati dal terreno che agisce da "schermatura naturale", abbassando l'intensità di tali emissioni a valori addirittura inferiori ai più comuni elettrodomestici di uso quotidiano. Il calcolo è stato effettuato in aderenza alla Norma CEI 211-4.

La *Legge 36/2001*, con finalità di riordino e di miglioramento della normativa fin da allora vigente in materia, ha individuato ben tre livelli di esposizione ed ha affidato allo Stato il compito di determinare e di aggiornare periodicamente i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità, in relazione agli impianti suscettibili di provocare inquinamento elettromagnetico.

L'art. 3 della Legge 36/2001 ha definito:

- il limite di esposizione il valore di campo elettromagnetico da osservare ai fini della tutela della salute da effetti acuti;
- il valore di attenzione, come quel valore del campo elettromagnetico da osservare quale misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine;
- l'obiettivo di qualità come criterio localizzativo e standard urbanistico, oltre che come valore di campo elettromagnetico ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione.

Tale legge quadro italiana (36/2001), come ricordato sempre dal citato Comitato, è stata emanata nonostante che le raccomandazioni del Consiglio della Comunità Europea del 12-7-99 sollecitassero gli Stati membri ad utilizzare le linee guida internazionali stabilite dall'ICNIRP; tutti i paesi dell'Unione Europea, hanno accettato il parere del Consiglio della CE, mentre l'Italia ha adottato misure più restrittive di quelle indicate dagli Organismi internazionali.

In esecuzione della predetta Legge, è stato infatti emanato il D.P.C.M. 8.7.2003, che ha fissato:

- il limite di esposizione in 100 microtesla per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico;
- il valore di attenzione di 10 microtesla, a titolo di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti

- scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere;
- l'obiettivo di qualità, da osservare nella progettazione di nuovi elettrodotti, il valore di 3 microtesla.

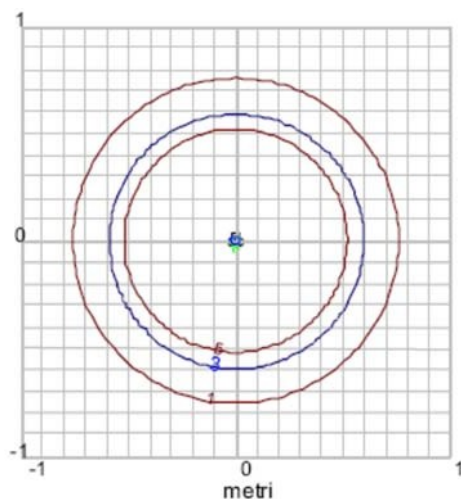
È stato altresì esplicitamente chiarito che tali valori sono da intendersi come mediana di valori nell'arco delle 24 ore, in condizioni normali di esercizio. Non si deve dunque fare riferimento al valore massimo di corrente eventualmente sopportabile da parte della linea.

Si segnala come i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità stabiliti dal Legislatore italiano siano rispettivamente 10 e 33 volte più bassi di quelli internazionali. Al riguardo è opportuno anche ricordare che, in relazione ai campi elettromagnetici, la tutela della salute viene attuata – nell'intero territorio nazionale – esclusivamente attraverso il rispetto dei limiti prescritti dal D.P.C.M. 8.7.2003, al quale soltanto può farsi utile riferimento. Infatti il D.M. del MATTM del 29.05.2008, che definisce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto degli elettrodotti, riprende l'art. 6 di tale D.P.C.M. Il tracciato AT è stato eseguito tenendo conto del limite di qualità dei campi magnetici, fissato dalla suddetta legislazione a 3 μ T. La disposizione delle fasi sarà quella indicata nelle sezioni cavidotti riportate nel documento. In particolare, ai fini del calcolo, la tipologia di cavidotti presenti nell'impianto eolico si può racchiudere nelle due seguenti tipologie:

1. *cavidotti nei quali sono posati solo cavi elicordati;*
2. *cavidotti nei quali sono posati cavi unipolari.*

Nel primo caso, cavidotti nei quali sono posati solo cavi elicordati, vale quanto riportato nella norma CEI 106-11 e nella norma CEI 11-17.

Infatti, come illustrato nella norma CEI 106-11 la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione, dovuta alla cordatura, fa sì che l'obiettivo di qualità di 3 μ T, anche nelle condizioni limite di conduttori di sezione maggiore e relativa "portata nominale", venga raggiunto già a brevissima distanza (50÷80 cm) dall'asse del cavo stesso.



Curve di equilivello per il campo magnetico di una linea AT interrata in cavo elicordato (dalla Norma CEI 106-11)

Si fa notare in proposito che anche il recente decreto del 29.05.2008, sulla determinazione delle fasce di rispetto, ha esentato dalla procedura di calcolo le linee AT in cavo interrato e/o aereo con cavi elicordati, pertanto a tali fini si ritiene valido quanto riportato nella norma richiamata. Ne consegue che in tutti i tratti realizzati mediante l'uso di cavi elicordati si può considerare che l'ampiezza della fascia di rispetto sia pari a 2 m, a cavallo dell'asse del cavidotto, uguale alla fascia di asservimento della linea.

Primo caso: cavidotti nei quali sono posati solo cavi elicordati

Qui di seguito sarà effettuato il calcolo dell'emissione elettromagnetica di tutti i cavidotti che utilizzano un sistema di cavi elicordati tale sistema come menzionato prima è vantaggioso dal punto di vista dell'impatto elettromagnetico.

Sono riportati in seguito i diagrammi ottenuti dal software di calcolo *CalcoloElf_versione 1.0*, i diagrammi più significativi sono stati calcolati su due livelli a quota zero dal suolo, e a quota +1 metro dal suolo, in ottemperanza alle norme vigenti, per il calcolo degli effetti a lunga esposizione sui recettori sensibili. Sull'asse y dei diagrammi avremo il valore dell'intensità del campo magnetico espressi in microtesla (μT), sull'asse x avremo le distanze in metri (m).

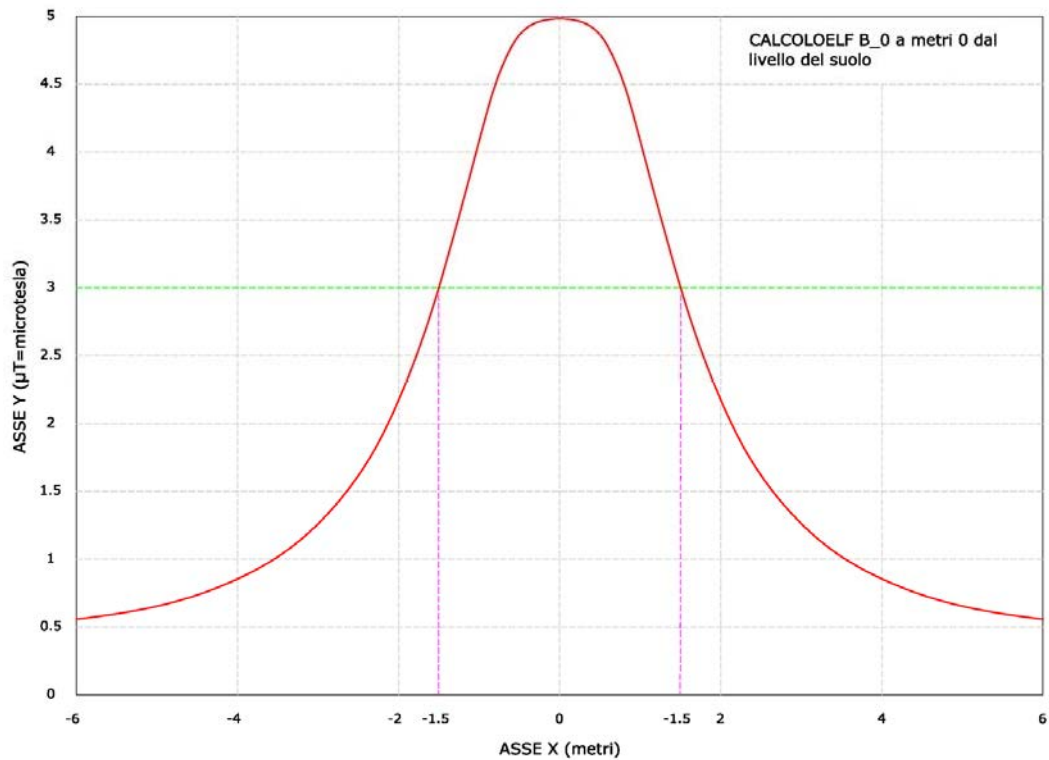
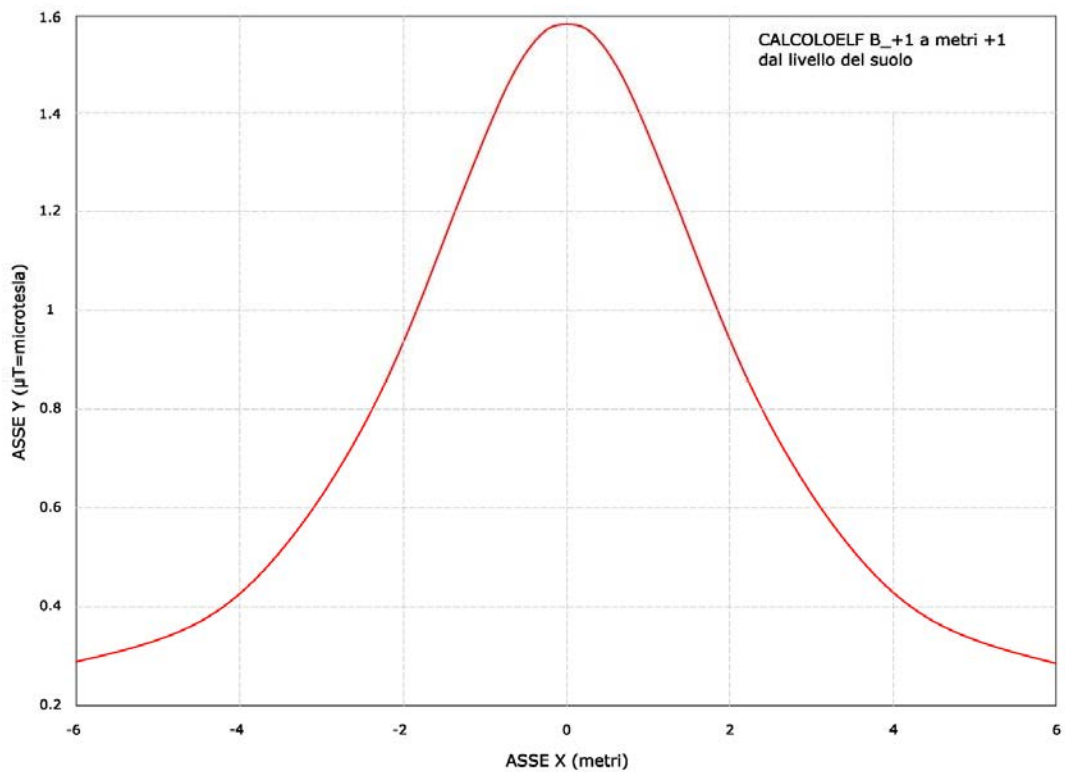
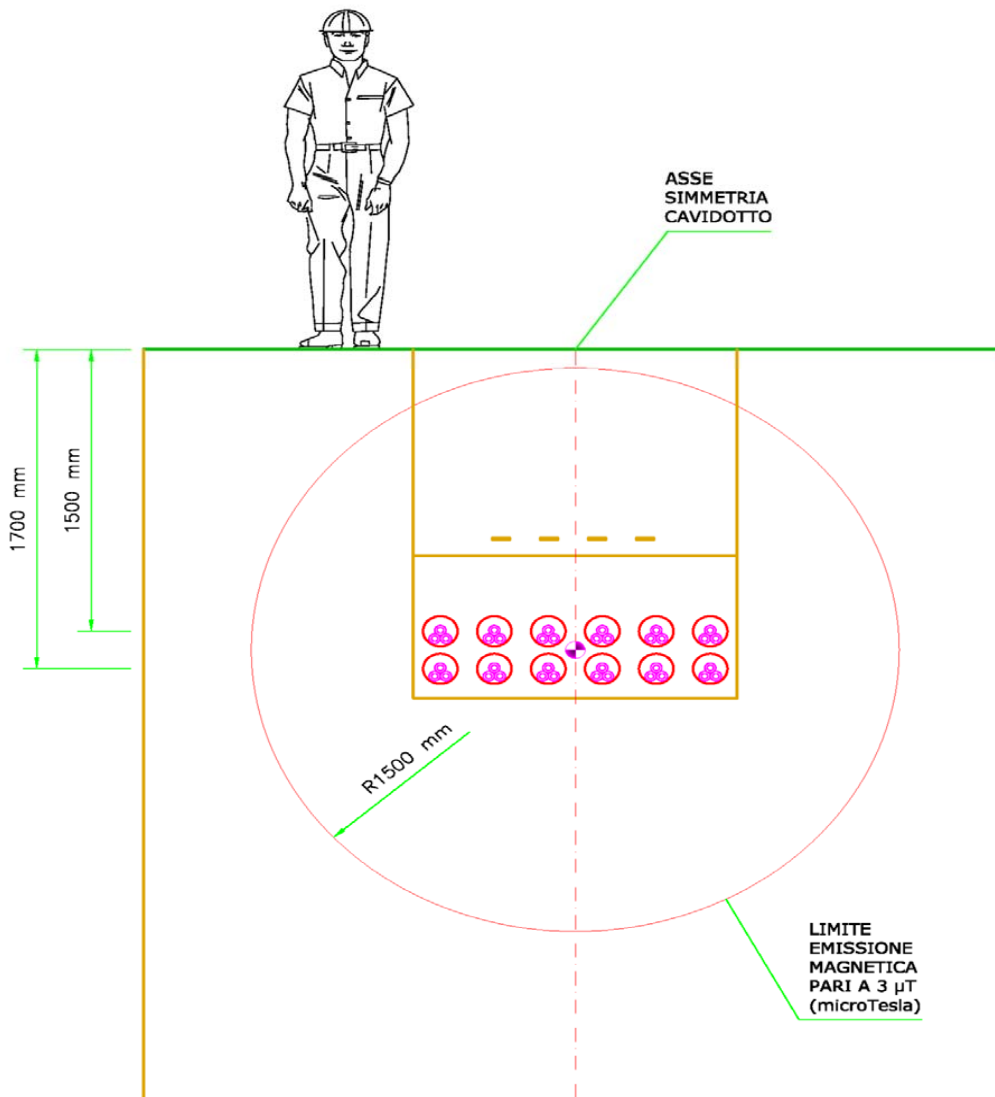


Diagramma campo magnetico delle linee AT interrate in cavo elicordato a quota 0 m dal suolo



Pertanto per quanto concerne il calcolo del campo magnetico delle linee AT interrate si individua come volume di rispetto relativo al cavidotto AT interrato il volume cilindrico in

asse col cavidotto con raggio pari a 1,5 metri e come fascia di rispetto la sua proiezione al suolo. Si evince chiaramente dall'immagine che il volume di rispetto cilindrico *non oltrepassa la quota zero e quindi non esiste alcuna interazione con recettori sensibili pertanto c'è pieno rispetto dei limiti vigenti.*



Volume di rispetto campo magnetico delle linee AT interrate in cavo elicordato.

Secondo caso: cavidotti nei quali sono posati cavi unipolari

Nel secondo caso abbiamo considerato il caso peggiore: cavidotti *all'interno della stazione elettrica.*

La distanza fra le terne è di 20 cm e la profondità di posa è di 1,5 m, la distanza fra

ciascun gruppo di terne è di 1,5 metri circa.

Secondo il DPCM 8 luglio 2003 in vigore dal 13/09/03 per quanto riguarda la Linea in cavo interrato con cavi unipolari posati in piano, la formula da applicare può essere la stessa utilizzata per le linee aeree in piano:

$$B = \frac{P \times I}{R'^2} \times (0,2 \times \sqrt{3})$$

Dove P [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti (in caso di distanze differenti, P diventa la media delle distanze fra i conduttori esterni e quello centrale), I [A] è la corrente, simmetrica ed equilibrata, che attraversa i conduttori, R' [m] è la distanza dei conduttori alla quale calcolare l'induzione magnetica B.

In tale configurazione è stato effettuato il calcolo del campo di induzione magnetica secondo quanto previsto dalla Norma CEI 211-4 - *Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche* -.

Tale norma considera la linea infinitamente lunga e consente di calcolare i campi elettromagnetici secondo una sezione trasversale della linea stessa.

Il software di calcolo *CalcoloElf_versione 1.0* utilizzato elabora le componenti verticali e orizzontali del campo magnetico prodotto dai singoli conduttori, tenendo conto dei loro sfasamenti, combina le varie componenti e fornisce come output principale il valore efficace del campo magnetico risultante.

Sono riportati in seguito i diagrammi ottenuti dal software. I diagrammi più significativi sono stati calcolati su due livelli a quota zero dal suolo, e a quota +1 metro dal suolo, in ottemperanza alle norme vigenti, per il calcolo degli effetti a lunga esposizione sui recettori sensibili.

Sull'asse y dei diagrammi avremo il valore dell'intensità del campo magnetico espressi in microtesla (μT), sull'asse x avremo le distanze in metri (m).

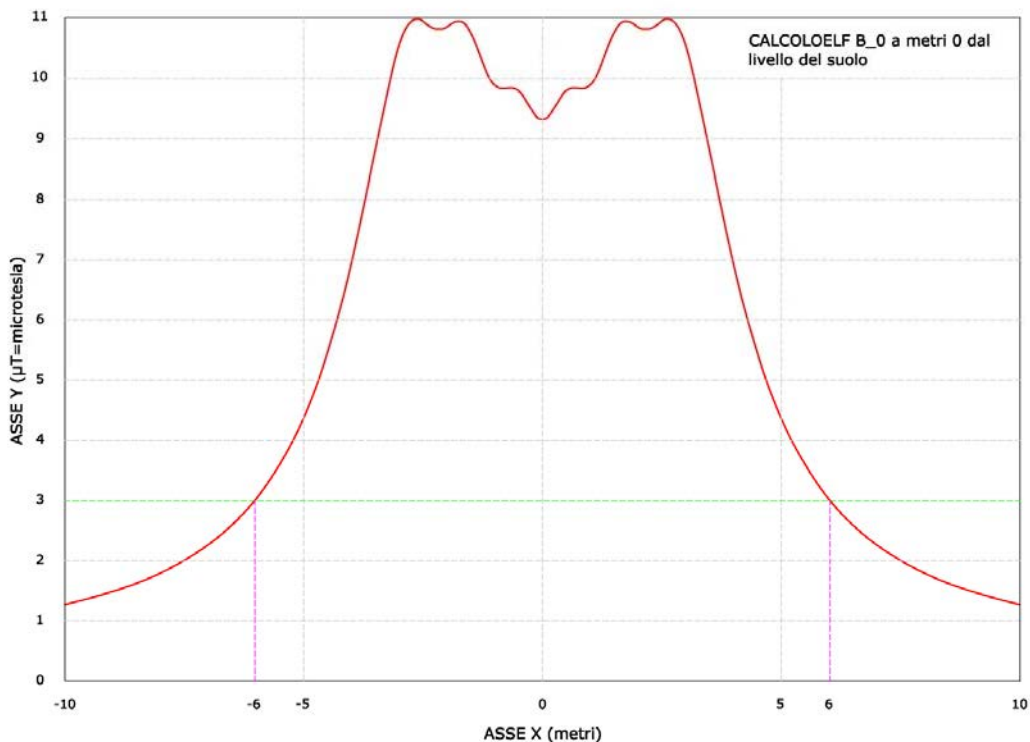


Diagramma campo magnetico delle linee AT interrate in cavo unipolare in prossimità della cabina a quota 0 m dal suolo.

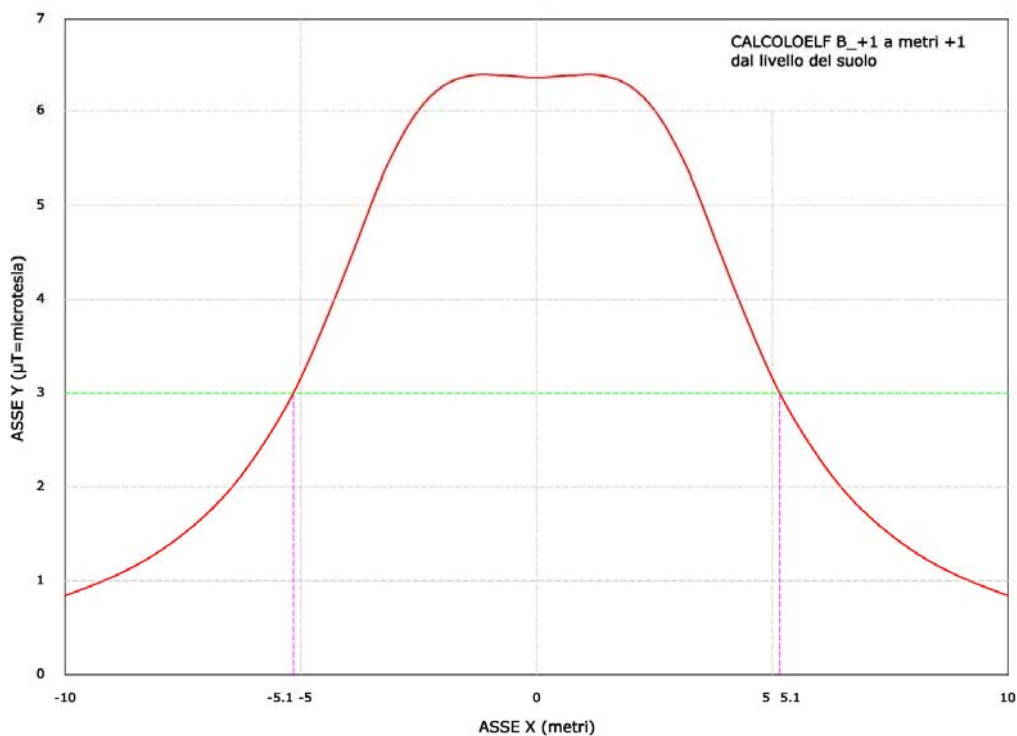


Diagramma campo magnetico delle linee AT interrate in cavo unipolare in prossimità della cabina a quota +1 m dal suolo.

Inoltre, in base al recente decreto del 29.05.2008, sulla determinazione delle fasce di rispetto, si può considerare che l'ampiezza della fascia di rispetto in questo secondo caso è pari a circa 12 m (6+6 m rispetto asse di simmetria del cavidotto).

Il calcolo dei campi elettrici non è stato condotto in quanto tutti i cavi in media tensione impiegati sono dotati di armatura metallica connessa a terra, che scherma l'effetto del campo elettrico, di conseguenza il campo elettrico esterno allo schermo è nullo.

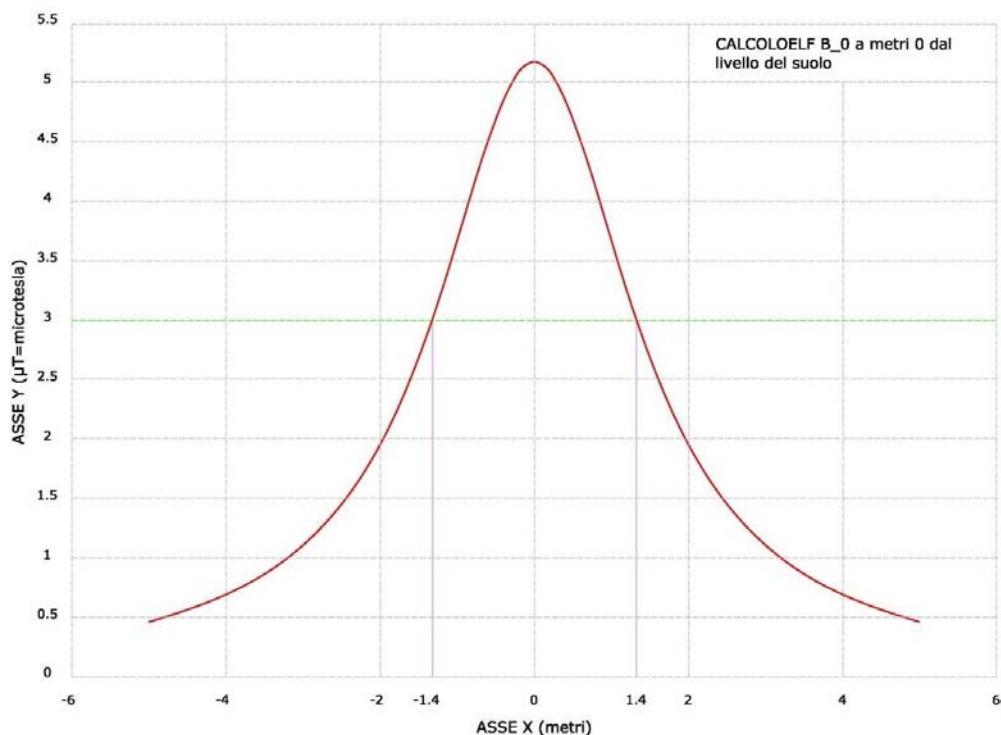
Si può concludere che *non sussistono pericoli per la salute umana*.

7.2.2. Cavidotto esterno AAT

Di seguito è esposto l'andamento del campo magnetico lungo il tracciato della linea interrata a 380 kV all'asse dell'elettrodotto.

Il calcolo è stato effettuato in aderenza alla Norma CEI 211-4, valori esposti si intendono calcolati al suolo.

Nel calcolo, essendo il valore dell'induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione la configurazione di carico che prevede una posa dei cavi a trifoglio, ad una profondità di 1,6 m, con un valore di corrente pari a 414,54 A. La norma di riferimento per la metodologia di calcolo utilizzata nella CEI 106-11.



Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo

Il tracciato di posa dei cavi è stato studiato in modo che il valore di induzione magnetica sia sempre inferiore a **3** μT in corrispondenza dei ricettori sensibili (abitazioni e aree in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata).

Si segnala, tuttavia, che i percorsi di tali cavidotti non interessano ricettori sensibili come aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere.

In casi particolari, ove necessario, potrà essere utilizzata la tecnica di posa con schermatura realizzata inserendo i cavi, con disposizione a trifoglio ed inglobati in tubi in PE riempiti di bentonite, in apposite canalette in materiale ferromagnetico riempite con cemento a resistività termica stabilizzata.

Il comportamento delle canalette ferromagnetiche è stato sperimentalmente provato ed applicato in altri impianti già realizzati con risultati attesi.

L'efficacia della canaletta consentirà un'attenuazione dell'induzione magnetica pari almeno ad un ordine di grandezza; ciò che garantirà il pieno rispetto del limite imposto.