



REGIONE BASILICATA
PROVINCIA DI POTENZA
COMUNE DI MELFI



AUTORIZZAZIONE UNICA ex. d.lgs. 387/03

Progetto Definitivo per la realizzazione del parco eolico "SANTA IRENE" e relative opere connesse nel comune di MELFI (Pz)

Titolo elaborato

**A.15 - Disciplinare descrittivo e
prestazionale degli elementi tecnici**

Codice elaborato

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0389	A	R15	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Scala

—

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
Marzo 2021	Prima emissione	ADP	GDS	GMA

Proponente

Oceano Rinnovabili s.r.l.

Largo Augusto 3
20122 Milano



Progettazione



F4 Ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni DI SANTO)



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





Sommario

1	Introduzione	4
2	Descrizione generale	6
2.1	Componenti meccaniche	6
2.2	Rotore	6
2.3	Pale	6
2.4	Sistema frenante meccanico	7
2.5	Scatola del cambio	7
2.6	Albero rotore	7
2.7	Sistema di imbardata	8
2.8	Torri	8
2.9	Navicella basamento e copertura	8
2.10	Sistema di Raffreddamento	9
2.10.1	Scatola del cambio	9
2.10.2	Generatore	9
2.10.3	Convertitore	9
2.10.4	Trasformatore	9
2.11	Sistema di regolazione del passo	10
2.12	Protezione dalla corrosione	10
3	Progetto elettrico	11
3.1	Sistema elettrico	11
3.2	Generatore	11
3.3	Convertitore	11
3.4	Trasformatore	12
3.5	Quadro MT	12



4	Sicurezza	13
4.1	Accesso	13
4.2	Via di fuga	13
4.3	Aree e spazi di lavoro	13
4.4	Pavimenti, piattaforme e luoghi di lavoro	13
4.5	Parti mobili, protezioni e dispositivi di blocco	13
4.6	Luci	14
4.7	Arresto d'emergenza	14
4.8	Disconnessione dell'energia	14
4.9	Protezione dal fuoco	14
4.10	Segnali d'avvertimento	14
4.11	Manuali e avvertenze	14
5	Ambiente	15
5.1	Prodotti chimici	15
6	Approvazioni e codici di progettazione	16
6.1	Approvazioni tipo	16
6.2	Approvazioni dei Codici – Progettazione strutturale	16
7	Condizioni di funzionamento	18
7.1	Condizioni del sito e clima	18
7.1.1	Altitudine	18
7.1.2	Layout d'impianto	18
8	Fondazioni turbine	19
8.1	Plinto di fondazione	19
8.1.1	Calcestruzzo	21
8.1.2	Rinforzi	21



8.1.3	Acciaio	21
9	Cavidotti MT interni	22
9.1	Criteri progettuali	22
9.2	Caratteristiche dei cavidotti	23
9.3	Modalità di posa e realizzazione	24
9.4	Interferenze	26



1 Introduzione

Il progetto in esame prevede l'installazione di 7 aerogeneratori del tipo Nordex N149/5.6 MW-HH 105 o similare, con le seguenti caratteristiche dimensionali:

Potenza nominale aerogeneratore	5.6 MW
Diametro massimo rotore	150 m
Altezza totale	180 m
Area spazzata	17.460 m ²
Posizione rotore	sopravento
Rate rotor speed	10,75 rpm
Numero di pale	3

I principali componenti dell'impianto risultano essere, quindi:

- i generatori eolici;
- le linee elettriche MT (a 30 kV) in cavo interrato, che collegano gli aerogeneratori tra loro e con la Sottostazione Elettrica (SSE);
- la Sottostazione Elettrica (SSE) per l'innalzamento della tensione da 30 kV a 150 kV con tutte le apparecchiature necessarie alla realizzazione della connessione elettrica dell'impianto alla Rete Nazionale;
- la linea elettrica AT (a 150 kV) per la connessione della SSE alla Stazione Terna.

Ogni aerogeneratore produrrà energia elettrica rinnovabile alla tensione di 720 V ca. All'interno di ciascuna torre è installato un trasformatore 0.72/30 kV che provvederà all'innalzamento della tensione a 30 kV. L'energia sarà quindi immessa in una rete in cavo interrato a 30 kV per il trasporto alla Sottostazione Elettrica, dove subirà un'ulteriore trasformazione di tensione (30/150 kV) prima dell'immissione nella rete di alta tensione.

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

Il sito scelto, in tale contesto, viene a ricadere in aree naturalmente predisposte a tale utilizzo e quindi ottimali per un razionale sviluppo nel settore rinnovabile.

Lo sviluppo di tali fonti di approvvigionamento energetico, quindi, oltre a contribuire all'incremento dello stesso approvvigionamento ed alla diversificazione delle fonti, favorisce l'occupazione e il coinvolgimento delle realtà locali riducendo l'impatto sull'ambiente legato al tradizionale ciclo di produzione energetica.

Come noto, tutte le apparecchiature a funzionamento elettrico generano, durante il loro funzionamento, campi elettromagnetici. Le onde elettromagnetiche sono fondamentalmente suddivise in due gruppi: radiazioni non ionizzanti e radiazioni ionizzanti.

Il presente documento precisa, sulla base delle specifiche tecniche, tutti i contenuti prestazionali tecnici degli elementi previsti nel progetto. Il disciplinare contiene, inoltre, la descrizione, anche sotto il profilo estetico, delle caratteristiche, della forma e delle principali dimensioni dell'intervento, dei materiali e di componenti previsti nel progetto. In ogni caso



il disciplinare fornisce indicazioni specifiche almeno sui componenti dell'impianto (quali rotore, sistema di orientamento del rotore, sistema di controllo, ecc.).



2 Descrizione generale

Il tipo della turbina del progetto proposto è la Nordex N149/5.6 MW-HH 105 o similare a tre pale con un passo sopravento delle stesse ad imbardata regolata.

L'aerogeneratore Nordex N149-5.6 MW o similare con HH 105 ha un diametro del rotore di 150 m circa ed una potenza di uscita nominale di 5,6 MW.

La turbina utilizza un sistema di potenza basato su di un generatore a magneti permanenti del convertitore. Con queste caratteristiche la turbina eolica è in grado di lavorare anche a velocità variabile mantenendo una potenza in prossimità di quella nominale anche in caso di vento forte. Alle basse velocità del vento, il sistema consente di lavorare massimizzando la potenza erogata alla velocità ottimale del rotore e l'opportuno angolo di inclinazione delle pale.

2.1 Componenti meccaniche

La Nordex N149/5.6 MW-HH 105 o similare è equipaggiata con un rotore di 150 m circa di diametro costituito di tre pale ed un mozzo. Le pale sono controllate per mezzo di un microprocessore nel sistema del controllo del passo. Basandosi sulle prevalenti condizioni del vento, le pale sono continuamente posizionate per ottimizzare l'angolo di passo.

2.2 Rotore

Diametro	<i>max 150 m</i>
Velocità massima di rotazione	<i>10,75 rpm</i>
Velocità, intervallo dinamico di funzionamento	<i>3 – 26 m/s</i>
Direzione di rotazione	<i>In senso orario (vista di fronte)</i>
Orientamento	<i>Sopravento</i>
Tilt	<i>inclinazione</i>
Numero delle pale	<i>3</i>
Freni aerodinamici	<i>Frange intere</i>

2.3 Pale

Descrizione tipo	Gusci a profilo alare vincolati alla trave portante
Lunghezza della pala	75 m circa
Materiale	Fibra di vetro e plastica rinforzata con fibre di carbonio
Connessione delle pale	Inseriti in acciaio



2.4 Sistema frenante meccanico

La turbina (in entrambe le tipologie di aerogeneratore) è equipaggiata con un sistema meccanico frenante.

Sistema frenante meccanico	
Tipo	Freno a disco ad azionamento attivo
Posizionamento	Sull'albero ad alta velocità
Numero di pinze frenanti	1
Materiale della pastiglia frenante	Materiale organico

2.5 Scatola del cambio

L'ingranaggio principale converte la rotazione da bassa velocità del rotore a quella veloce del generatore. Il moltiplicatore di giri è un differenziale a quattro stadi dove i primi tre sono di tipo epicicloidale e il quarto è di tipo elicoidale.

Il freno a disco è montato sull'asse dell'alta velocità. Il sistema di lubrificazione è un sistema alimentato a pressione.

Scatola del cambio	
Tipo	Ingranaggio epicicloidale multistadio + ingranaggio cilindrico
Rapporto di cambio	50 Hz: I = 117.3 60 Hz: I = 140.7
Sistema di lubrificazione	Lubrificazione con alimentazione forzata
Quantitativo di olio incluso il circuito di raffreddamento	Max. 650 l
Tipologia di olio	VG 320
Temperatura max. dell'olio	Approssimativamente 77°C
Cambio olio	Cambio, se richiesto

2.6 Albero rotore

Il rotore trasmette la rotazione all'albero che a sua volta tende trasmettere la rotazione ad una struttura di magneti.

Albero rotore/cuscinetto rotore	
Tipologia albero	Albero cavo forgiato
Materiale	42CrMo4 o 34CrNiMo6
Tipologia cuscinetto	Cuscinetto a rullo sferico
Lubrificazione	Da effettuare regolarmente con grasso lubrificante



2.7 Sistema di imbardata

Il sistema di imbardata è un sistema attivo basato sul concetto di cuscinetto piano con PEPT come materiale di frizione.

Sistema di imbardata	
Tipo	Cuscinetto a doppia fila di quattro punti di contatto
Lubrificazione	Lubrificazione regolare con grasso
Azionatore	Motori elettrici incl. freno a molla e ingranaggio planetario a quattro stadi
Numero di azionatori	5-6
Velocità di imbardata	Circa 0.4°/s

2.8 Torri

Torri tubolari con flange di connessione, certificate con le specifiche e correnti approvazioni, sono disponibili in differenti altezze standard.

Le torri sono progettate con la maggioranza delle connessioni saldate sostituite da supporti magnetici per ottenere delle torri rinforza e lisce. I magneti forniscono il supporto in una direzione orizzontale ed interna, così come piattaforme, scale etc. sono supportate verticalmente (per esempio nella direzione della forza di gravità) da connessioni meccaniche. Il design liscio delle torri riduce l'esigenza di maggiore spessore metallico, rendendo la torre più leggera se comparata ad altre con saldature interne dei gusci.

Le altezze del mozzo elencate includono una distanza dalla sezione di fondazione al livello del terreno di approssimativamente 2 m dipendendo dallo spessore della flangia in basso, ed una distanza dalla flangia più in alto al centro del mozzo di 2,2 m.

Torri	
Tipo	Tubolare cilindrico/conico
Altezza mozzo	Max 105 m
Materiale	Acciaio

2.9 Navicella basamento e copertura

La copertura della navicella (in entrambe le tipologie di aerogeneratore) è realizzata in plastica rinforzata con vetro. I portelli di accesso sono posti al piano inferiore e vengono utilizzati per l'abbassamento o l'innalzamento di equipaggiamento alla navicella o per l'evacuazione del personale. La sezione superiore è equipaggiata con sensori di vento e lucernari, i lucernari possono essere aperti sia dall'interno della navicella che dall'esterno



per accedere al piano o fuori alla navicella stessa. È possibile accedere alla navicella dalla torre attraverso il sistema di imbardata.

Il basamento della navicella è in due parti e consiste in una fusione di ghisa per la parte frontale, e di una struttura a trave per quella posteriore. La parte frontale del basamento della navicella svolge la funzione di supportare l'albero principale di trasmissione (l'albero ad alta velocità) e trasmette le forze dal rotore alla torre tramite il sistema di imbardata. La piattaforma inferiore è connessa al cuscinetto di imbardata, gli attuatori di imbardata sono fissati alla base della navicella.

Le travi della gru sono attaccate alla cima della struttura. Le aste in basso della struttura a trave sono connesse al termine della parte posteriore. La parte posteriore del basamento serve come supporto ai pannelli di controllo, il sistema di raffreddamento ed il trasformatore. La copertura della navicella è montata sul basamento.

Descrizione tipo	Materiale
Copertura della navicella	Plastica rinforzata con vetro
Struttura di supporto	Acciaio saldato
Telaio	Struttura reticolare
Telaio del generatore	Acciaio saldato

2.10 Sistema di Raffreddamento

Il sistema di raffreddamento è costituito da pochi componenti.

2.10.1 Scatola del cambio

- Tipologia: circuito con scambiatore di calore olio/acqua e bypass termico;
- Filtri: Filtro grossolano 50µm / filtro sottile 10 µm / filtro ultrasottile < 5 µm

2.10.2 Generatore

- Tipologia: circuito con scambiatore di calore acqua/aria e bypass termico;
- Refrigerante: Acqua/Refrigerante a base di glicole

2.10.3 Convertitore

- Tipologia: circuito con scambiatore di calore acqua/aria e bypass termico;
- Refrigerante: Acqua/Refrigerante a base di glicole.

2.10.4 Trasformatore

- Refrigerante: Acqua/Refrigerante a base di glicole;



- Circuito refrigerante: circuito con scambiatore di calore estere/acqua.

2.11 Sistema di regolazione del passo

La turbina (in entrambe le tipologie di aerogeneratore) è equipaggiata con un sistema di passo per ogni pala e blocco di distribuzione, il tutto all'interno del mozzo. Ogni sistema di passo è connesso al blocco di distribuzione per mezzo di manicotti flessibili. Il blocco di distribuzione è connesso con i tubi dell'unità idraulica rotante di trasferimento nel mozzo mediante tre manicotti (linea pressione, linea di ritorno e linea di scolo).

Ogni sistema di passo consiste di un cilindro idraulico montato al mozzo ed un pistone a barra montato alla pala tramite una coppia di bracci ad asse. Valvole che facilitano le operazioni del cilindro di passo sono installate sul blocco di passo bullonate direttamente sul cilindro.

Sistema di regolazione del passo	
Tipo	Cuscinetto a doppia fila di quattro punti di contatto
Lubrificazione	Lubrificazione regolare con grasso
Azionatore	Motori elettrici incl. freno a molla e ingranaggio planetario a quattro stadi
Alimentazione di emergenza	Batterie

2.12 Protezione dalla corrosione

La classificazione della corrosione concorda con la ISO 12944 – 2.

Protezione dalla corrosione	Aree esterne	Aree interne
Navicella	C4	C3
Mozzo	C4	C3
Torre	C4	C3



3 Progetto elettrico

3.1 Sistema elettrico

Sistema elettrico	
Potenza nominale P_{NG}	Fino a 5700 kW
Voltaggio nominale	3 x AC 750 V \pm 10 %
Corrente nominale I_{NG} a S_{NG}	4876 A
Potenza nominale apparente S_{NG} a P_{NG}	6334 kVA
Frequenza	50 e 60 Hz
Power factor a P_{NG}	1.0 di default

3.2 Generatore

Il generatore è del tipo sincrono a tre fasi con rotore a magneti permanenti connesso in rete attraverso un convertitore. Il contenitore del generatore è costruito con un cilindro e dei canali. I canali circolano il liquido di raffreddamento attorno al corpo dello statore.

Generatore	
Tipo	Macchina a induzione a 6 poli a doppia alimentazione
Grado di protezione	IP 54
Voltaggio nominale	750 V
Frequenza	50 e 60 Hz
Numero di poli	6
Peso	Circa 10.6 tonnellate

3.3 Convertitore

Il convertitore è un sistema convertitore su larga scala che controlla sia il generatore che la qualità della potenza messa in rete.



3.4 Trasformatore

Trasformatore	
Peso totale	Circa 9 tonnellate
Mezzo isolante	Estere
Tensione nominale [U _r]	750 V
Tensione nominale massima dipendente dalla rete MT	20 kV / 30 kV / 34 kV
Frequenza nominale, [f _r]	50-60 Hz
Potenza apparente nominale [S _r]	6350 kVA
Vector group	Dy5
Altezza di installazione	Fino a 2000 m.s.l.m
Tensione di impedenza [U _z]	8-9 % ± 10 % di tolleranza

3.5 Quadro MT

Il quadro di media tensione per la connessione alla rete interna MT è collocato alla base della torre.

Tipologia di connessione	Cono esterno tipo C secondo EN 50181
Frequenza Nominale	50Hz
Tensione nominale	24, 36 o 40.5 kV
Temperature operative estreme	Da -25 °C a 40 °C
Corrente nominale	630 A



4 Sicurezza

Le specifiche di sicurezza in questa sezione forniscono le informazioni generali circa le caratteristiche di sicurezza della turbina e non sostituiscono, per il compratore ed i suoi agenti, il prendere tutte le appropriate precauzioni, incluso, ma non solo, il rispetto di tutte le norme di sicurezza, la manutenzione, gli accordi di servizio, le istruzioni, le ordinanze e le condotte appropriate in materia di formazione per la sicurezza.

4.1 Accesso

L'accesso alla turbina dall'esterno avviene tramite la parte bassa della torre. La porta è equipaggiata con una serratura. L'accesso alla piattaforma in cima avviene tramite una scala. L'accesso alla stanza del trasformatore nella navicella è controllato con una serratura. Un accesso non autorizzato ai quadri e ai pannelli elettrici nella turbina è proibito in accordo con la IEC 60204-1 2006.

4.2 Via di fuga

In aggiunta alle normali vie di accesso, vie di fuga alternative dalla navicella sono possibili attraverso la botola della gru, attraverso un portello apribile sul muso della navicella, e attraverso il pavimento della stessa. Nella navicella è localizzato l'equipaggiamento di sicurezza.

Il portello nel pavimento può essere aperto da entrambi i lati. Una via di fuga è rappresentata dalla scala dell'elevatore di servizio. Un piano di emergenza, collocato nella turbina, descrive le vie di fuga ed evacuazione.

4.3 Aree e spazi di lavoro

La torre e la navicella sono equipaggiate con prese di corrente per l'uso di strumenti elettrici per il servizio e la manutenzione della turbina.

4.4 Pavimenti, piattaforme e luoghi di lavoro

Tutti i pavimenti sono antiscivolo. C'è un pavimento per ogni sezione della torre.

4.5 Parti mobili, protezioni e dispositivi di blocco

Tutte le parti mobili nella navicella sono schermate. La turbina è equipaggiata con una serratura per il rotore per il suo blocco.

Il blocco dell'ondeggiamento dei cilindri può essere fatto con strumenti meccanici nel mozzo.



4.6 Luci

La turbina è equipaggiata con luci nella torre, nella navicella, nella stanza del trasformatore ed il mozzo.

C'è una luce d'emergenza in caso di mancanza di corrente elettrica.

4.7 Arresto d'emergenza

Ci sono pulsanti per l'arresto d'emergenza nella navicella, nel mozzo e alla base della torre.

4.8 Disconnessione dell'energia

La turbina è equipaggiata con interruttori per consentire la disconnessione da tutte le fonti di energia in caso d'ispezione o manutenzione. Gli interruttori sono marcati con segnali e sono collocati nella navicella e alla base della torre.

4.9 Protezione dal fuoco

Un estintore da 5-6 kg di CO₂, un kit di primo intervento sono collocati nella navicella durante le operazioni di servizio e manutenzione.

4.10 Segnali d'avvertimento

Segnali di pericolo sono posizionati dentro e sulla turbina.

4.11 Manuali e avvertenze

La casa produttrice fornisce manuali per le operazioni, la manutenzione e il servizio della turbina, con regole aggiuntive di sicurezza e informazioni su quelle.



5 Ambiente

5.1 Prodotti chimici

I seguenti prodotti chimici sono usati nella turbina:

- Antigelo per prevenire il sistema di raffreddamento dal gelo.
- Olio per la lubrificazione del cambio.
- Olio idraulico per il sistema di beccheggio delle pale e l'operatività del freno.
- Grasso per la lubrificazione dei cuscinetti.

Vari agenti pulenti e prodotti chimici per la manutenzione della turbina.



6 Approvazioni e codici di progettazione

6.1 Approvazioni tipo

La turbina è progettata e certificata secondo i seguenti standard:

Certificazione	Wind Class	Altezza mozzo
IEC61400-22	IEC IIA	84 m/94 m
	IEC IIIA	119 m
DIBt Anlage 2.7/10	DIBt II	94 m/119 m

6.2 Approvazioni dei Codici – Progettazione strutturale

Il progetto della turbina è stato sviluppato e testato con riguardo a, ma non limitatamente a, i seguenti principali standard:

Codici di Progettazione	
Navicella e mozzo	IEC 61400 – 1 III Edizione EN 50308
Torre	IEC 61400 – 1 III Edizione Euro Codice 3
Pale	DNV – OS – J102 IEC 1024 – 1 IEC 60721 – 2 – 4 IEC 61400 (Parte 1, 12 e 23) IEC WT 01 IEC DEFU R25 ISO 2813 DS/EN ISO 12944 - 2
Scatola del Cambio	ISO 81400 - 4
Generatore	IEC 60034
Trasformatore	IEC 60076 - 11



Protezione dai fulmini	IEC 62305 -1: 2006 IEC 62305 -3: 2006 IEC 62305 -4: 2006 IEC/RT 61400 – 24: 2002
Macchine elettriche Rotanti	IEC 34
Sicurezza relative ai sistemi di controllo	IEC 13849 - 1
Sicurezza relativa alle attrezzature elettriche	IEC 6024 - 1



7 Condizioni di funzionamento

Il clima e le condizioni del sito comprendono molte variabili e dovrebbero essere considerate nella valutazione delle prestazioni della turbina. Il progetto e i parametri operativi stabiliti in questa sezione non costituiscono garanzie, o rappresentazione delle performance in riferimento ai siti specifici.

7.1 Condizioni del sito e clima

Valori riferiti all'altezza del mozzo:

Parametri	
Condizioni climatiche del vento	IEC 61400-22
Intervallo della Temperatura Ambiente (temperature standard della turbina)	-40° a +50°C
Velocità del vento di riferimento	42 m/s
Velocità del vento cut-in	3 m/s
Velocità del vento cut-out	26 m/s
Velocità del vento cut-back-in	25.5 m/s
Potenza nominale a partire da una velocità del vento di	13 m/s
Vita utile dell'opera	≥ 20 an

7.1.1 Altitudine

La turbina è progettata per essere utilizzata fino a 2000 metri sul livello del mare.

7.1.2 Layout d'impianto

La distanza di progetto tra le turbine, per il singolo progetto, dipende dal sito; in ogni caso la distanza non deve essere inferiore a 3 volte il diametro del rotore.

8 Fondazioni turbine

Particolare importanza riveste la fondazione che deve sopportare le notevoli sollecitazioni statiche e dinamiche prodotte dalle turbine.

Oltre al considerevole peso che gli aerogeneratori concentrano su una superficie molto piccola, sono rilevanti le tensioni orizzontali prodotte sul terreno dovute alla spinta orizzontale del vento su una superficie pari a quella spazzata dalle pale, provenendo il vento da ogni direzione. A queste condizioni di carico si sommano quelle dovute ai probabili eventi sismici; pertanto, la fondazione è costituita da un plinto in c.a. su pali tale da evitare fenomeni di punzonamento, dimensionato per resistere agli sforzi di slittamento e di ribaltamento (cfr. elaborati grafici di progetto).

8.1 Plinto di fondazione

Negli elaborati grafici è rappresentato il tipologico della fondazione calcolata per la turbina Nordex N149/5.6 MW-HH 105 o similare.

Il calcolo e il progetto sono realizzati partendo da alcune assunzioni di base.

Assunzioni per il terreno:

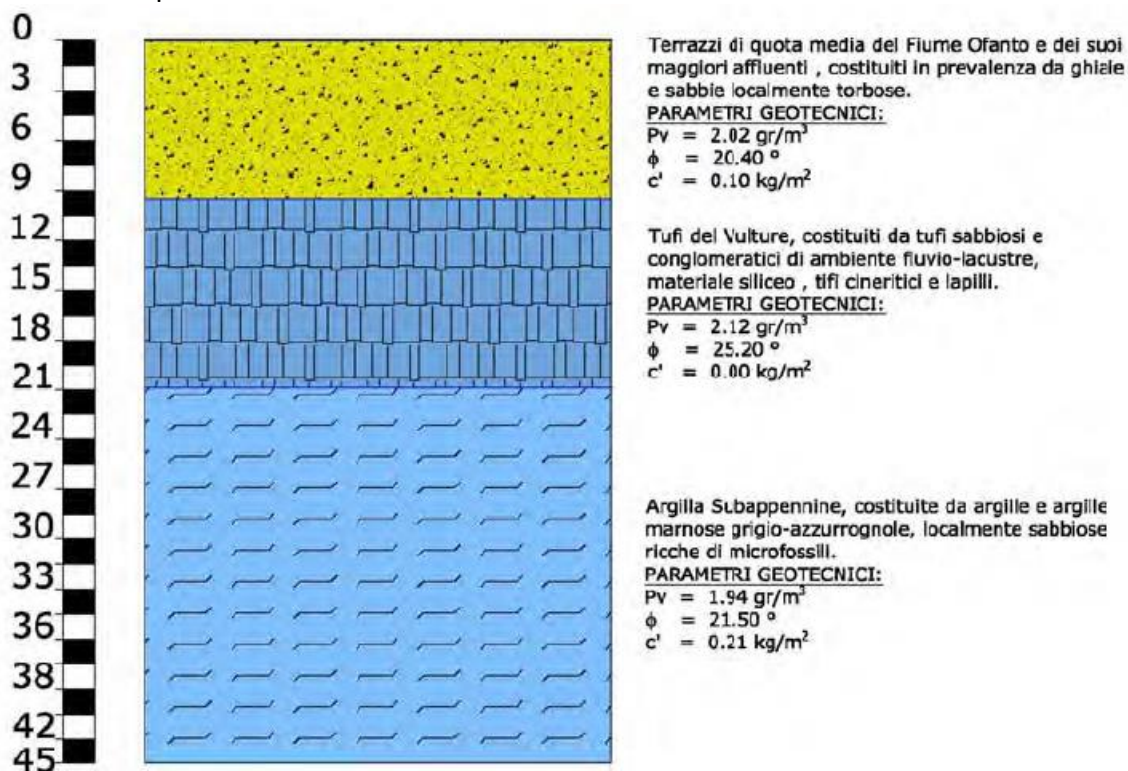


Figura 1: Profilo geotecnico 1 – torri eoliche M1, M2, M3, M5, M6

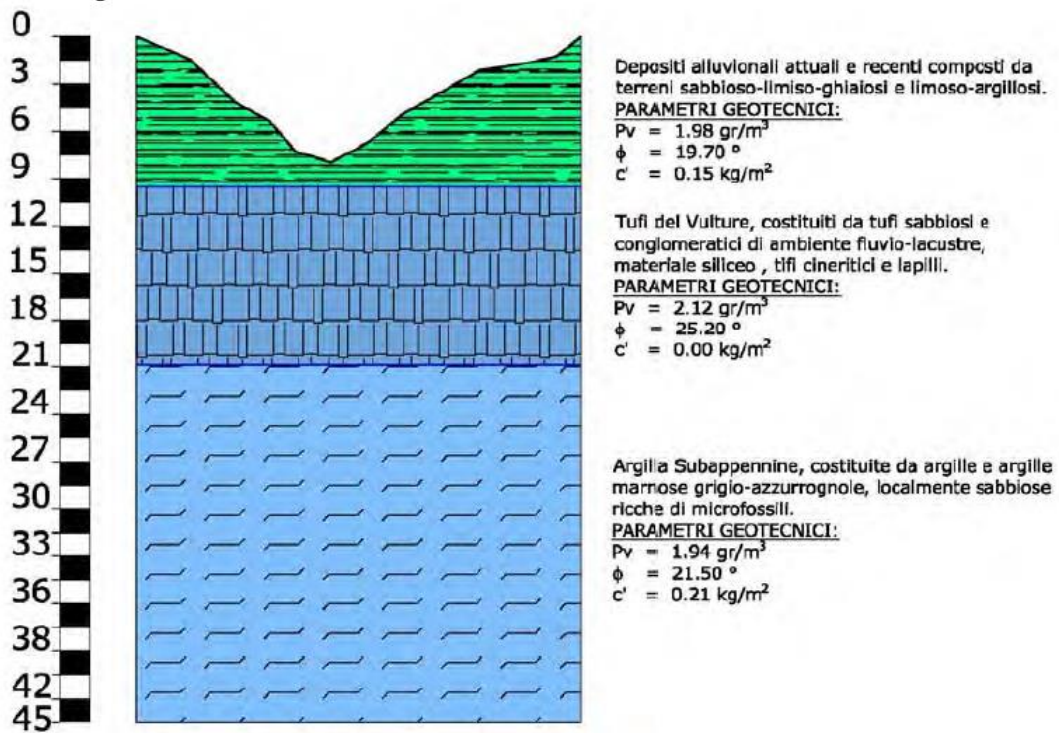


Figura 2: Profilo geotecnico 2 – torre eolica M4

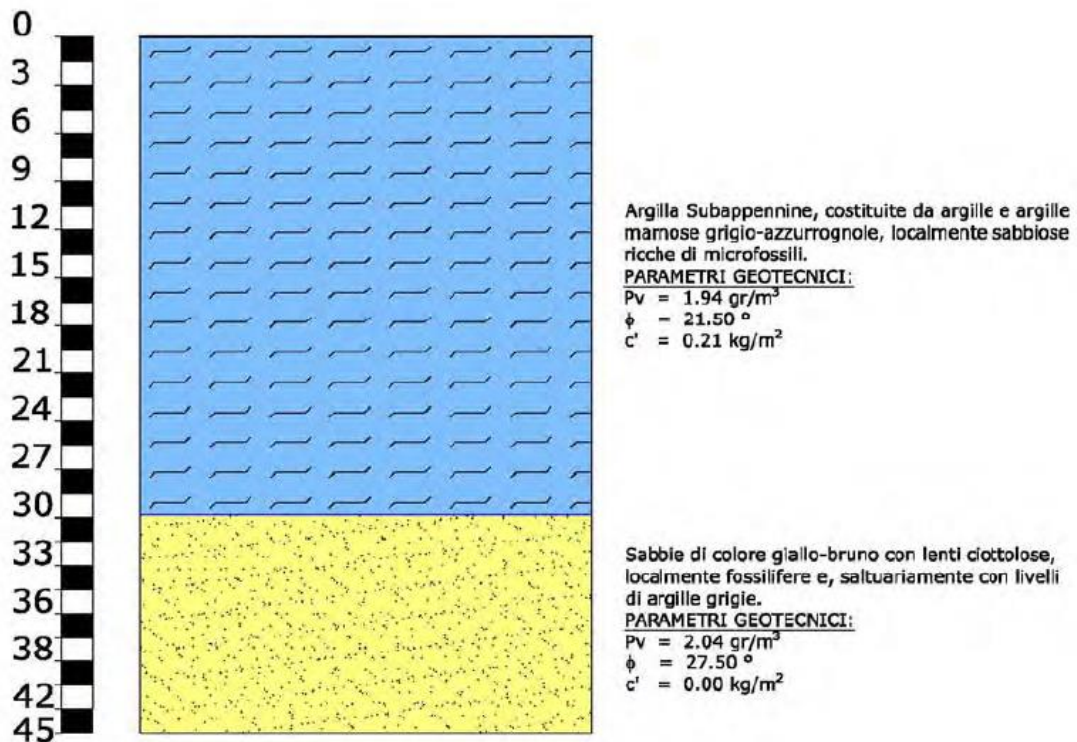


Figura 3: Profilo geotecnico 3 – torre eolica M7



Specifiche:

- Tutti i lavori sono effettuati in accordo all’Euro Codice 2: “EN 1992-1-1-2004 Progettazione di Strutture in Calcestruzzo”, e l’Euro Codice 7: “EN 1997-1 Progettazione geotecnica”

La gabbia d’ancoraggio, tra torre e fondazione, inclusi i bulloni, viene fornita da Vestas come unità montata. La gabbia d’ancoraggio è impostata sul livello del magrone di fondazione e regolata per l’aggiustamento della posizione, verticale e orizzontale, per mezzo di bulloni di aggiustamento al livello della flangia più bassa. Durante la colata, che può essere fatta simultaneamente dentro e fuori la gabbia, molta attenzione dev’essere impiegata perché la gabbia non si sposti e che la flangia in basso sia a completo contatto con il calcestruzzo. Il peso della flangia è di 10325 kg.

8.1.1 Calcestruzzo

I lavori in calcestruzzo sono in accordo con l’ENV 13670 – 1 “Esecuzione Delle Strutture In Calcestruzzo – Parte I” Il calcestruzzo dev’essere composto, mescolato e preparato in accordo con l’EN 206 – 1-.

- Classe di resistenza: C30/37 per il plinto e C25/30 per i pali;
- Classe di esposizione: xC2
- Taglia massima della ghiaia: 32 mm.
- Densità del calcestruzzo minima richiesta per la stabilità: 2500 kg/m³.
- Rivestimento: $C_{nom} = 65 \pm 10$ contro forma o livello di pulizia, e $C_{nom} = 100 \pm 10$ contro terra.
- Il controllo di qualità del calcestruzzo dev’essere in accordo alla EN 206-1.

8.1.2 Rinforzi

5500 classe B o C in accordo con la EN 10080 con un F_{yk} minimo = 500 N/mm².

8.1.3 Acciaio

- $f_{yk} = 450$ [N/mm²];
- $f_{yd} = 391,3$ [N/mm²];
- $E = 210.000$ 3 [N/mm²]

A scopo esemplificativo si veda la “Relazione preliminare sulle strutture” che riporta il calcolo preliminare della fondazione tipo dell’aerogeneratore Nordex N149/5.6 MW-HH 105 o similare, adottato in questo progetto.



9 Cavidotti MT interni

9.1 Criteri progettuali

L'energia elettrica prodotta dai singoli aerogeneratori è convogliata alla sottostazione di trasformazione attraverso una rete di cavidotti costituita da linee esercite a 30 kV a neutro isolato. Ogni linea è dedicata al trasporto dell'energia elettrica prodotta dalle turbine; l'impianto elettrico di connessione alla RTN del parco eolico in oggetto.

Circuito	Tratto	Potenza	Corrente
		MW	A
1	M7-M6	5.6	107.77
	M6-M5	11.2	215.54
	M5-M4	16.8	323.32
	M4-SET	22.4	431.09
2	M3-M2	5.6	107.77
	M2-M1	11.2	215.54
	M1-SET	16.8	323.32

La definizione dei sottocampi e dei tracciati delle linee elettriche sono stati studiati secondo quanto previsto dall'art. 121 del T.U. 11/12/1933 n° 1775, comparando le esigenze della pubblica utilità dell'opera con gli interessi sia pubblici che privati coinvolti.

La rete di cavidotti MT si estende per circa 27,5 Km.

Nella definizione dell'opera sono stati adottati i seguenti criteri progettuali:

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

I cavidotti MT seguono strade di accesso nuove e/o esistenti per la maggior parte del loro percorso.

Il dimensionamento dei cavi è stato effettuato in base a:

- criterio termico per cui la corrente di impiego è inferiore alla corrente nominale del cavo ridotta mediante alcuni coefficienti correttivi che tengono conto delle condizioni di posa in base alla seguente formula:

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3}V_n \cos\varphi} < k_H \cdot k_{pt} \cdot k_T \cdot k_D \cdot I_{nc}$$



in cui P è la potenza che transita nel tronco di linea, Vn è la tensione di parco pari a 30 kV, cosφ è il fattore di potenza assunto pari a 0,95, in cui kH dipende dalla profondità di posa; kpt dipende dalla resistività termica del terreno; kT dipende dalla temperatura del terreno; kD dipende dalla temperatura del terreno, Inc è la corrente nominale del cavo,

- criterio della massima caduta di tensione percentuale per cui la somma delle cadute di tensione calcolate nei tronchi di linea comprese fra una determinata turbina ed il punto di connessione deve essere inferiore ad un valore prestabilito (3 – 4%):

$$\Delta V = \sum_i^N \sqrt{3} I_{bi} L_i \cdot (R_i \cos\varphi + X_i \sin\varphi)$$

- criterio delle perdite calcolate in funzione della distribuzione di Weibull calcolata in funzione delle misure anemometriche sul sito.

Il calcolo della corrente di impiego e delle cadute di tensione con fattore di potenza pari a 0,95 mentre le perdite sono calcolate con fattore di potenza pari a 1.

9.2 Caratteristiche dei cavidotti

Il cavo è di tipo unipolare o tripolari in alluminio, del tipo ARG7H1R-18/30 kV o ARE4H1RX-18/30 kV o equivalente con conduttore in alluminio e giunti con mufte a colata di resina,

Nella tabella seguente sono evidenziati i risultati dei calcoli effettuati.

Circuito	Tratto	Potenza MW	Corrente A	Sezione cavo mmq	Lunghezza a m	Caduta di tensione V	Caduta di tensione %	Caduta di tensione complessiva %
1	M7-M6	5.6	107.77	240	3231	58.26	0.19%	0.19%
	M6-M5	11.2	215.54	240	868	31.30	0.10%	0.30%
	M5-M4	16.8	323.32	240	1377	74.49	0.25%	0.55%
	M4-SET	22.4	431.09	630	11173	347.88	1.16%	1.71%
2	M3-M2	5.6	107.77	240	2123	38.28	0.13%	0.13%
	M2-M1	11.2	215.54	240	1438	51.86	0.17%	0.30%
	M1-SET	16.8	323.32	630	7369	172.08	0.57%	0.87%

Tutti i cavi avranno sezione pari a 500 mmq. Le giunzioni elettriche saranno realizzate mediante utilizzo di connettori del tipo dritto a compressione adeguati alle caratteristiche e tipologie dei cavi sopra detti.

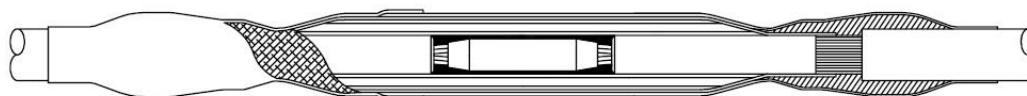


Figura 4 - Giunzione di tipo dritto

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

Tabella 1 - Caratteristiche del cavo a fibre ottiche

Numero delle fibre	12/24
Tipo di fibra	9/125/250
Diametro cavo	9 mm
Peso del cavo	75 kg/km circa
Massima trazione a lungo termine	3000 N
Massima trazione a breve termine	4000 N
Minimo raggio di curvatura in installazione	20 cm
Minimo raggio di curvatura in servizio	15 cm

Insieme al cavo di potenza e a fibre ottiche vi sarà anche un dispersore di terra a corda di 35 mm² che collegherà gli impianti di terra delle singole turbine allo scopo di abbassare le tensioni di passo e di contatto e di disperdere le correnti dovute alle fulminazioni.

9.3 Modalità di posa e realizzazione

Con riferimento alla norma CEI 11-17 le modalità di posa dei cavi potranno essere secondo la configurazione M.1 o M.2

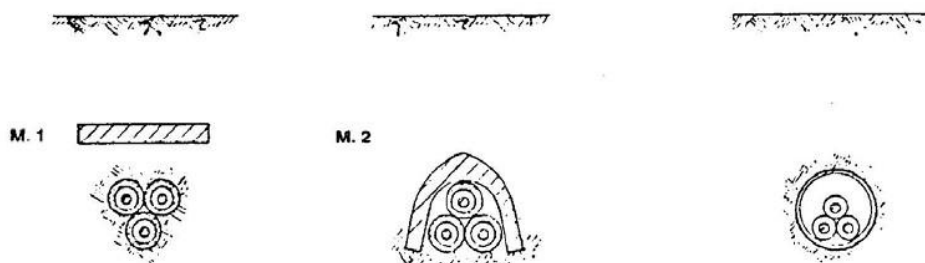


Figura 5 - Modalità di posa

L'integrità dei cavi deve essere garantita da una robusta protezione meccanica supplementare in grado di assorbire senza danni per il cavo stesso le sollecitazioni meccaniche, statiche e dinamiche derivanti dal traffico veicolare (resistenza a schiacciamento) e degli abituali attrezzi manuali di scavo (resistenza all'urto).

Per quanto concerne le profondità minime di posa nel caso di attraversamento della sede stradale vale il Nuovo Codice della Strada che fissa un metro, dall'estradosso della protezione per le strade di uso pubblico, mentre valgono le profondità minime stabilite dalla norma CEI 11-17 per tutti gli altri suoli.

La profondità di posa dei cavi sarà generalmente di 1,3 m rispetto ai piani finiti di strade o piazzali o alla quota del piano di campagna.



Eventuali variazioni si potrebbero rendere necessarie in corrispondenza d’incroci con altri servizi tecnologici interrati. Nei tratti con più terne gli interassi misureranno circa 30 cm.

Le trincee avranno una larghezza pari a 50 cm sia nel caso di una che di due terne.

La fascia di terreno potenzialmente impegnata durante la fase di costruzione/manutenzione sarà di circa 6 m.

I cavi di potenza, a fibre ottiche e il dispersore di terra saranno posati in uno strato di terreno di scavo o eventuale materiale sabbioso (pezzatura massima: 5 mm) di circa 55 cm su cui saranno appoggiati i tegoli o le lastre copricavo. Un nastro segnalatore sarà posto all’interno del rimanente volume dello scavo riempito con materiale arido a circa 65 cm dalla superficie.

La posa dei cavi si articolerà nelle seguenti attività:

- scavo a sezione obbligata della larghezza e della profondità precedentemente menzionate;
- posa del cavo di potenza e del dispersore di terra;
- rinterro parziale con strato di sabbia vagliata (eventuale);
- posa del tubo contenente il cavo in fibre ottiche;
- posa dei tegoli protettivi;
- rinterro parziale con terreno di scavo;
- posa nastro monitore;
- rinterro complessivo con ripristino della superficie originale;
- apposizione di paletti di segnalazione presenza cavo.

Nella posa degli stessi cavi dovranno essere rispettati alcuni criteri particolari per l’esecuzione delle opere in accordo con la regola d’arte come di seguito indicata.

Laddove il tracciato dei cavidotti è caratterizzato da ampi tratti rettilinei, la posa del cavo può essere effettuata con il metodo a bobina fissa; in questo caso la bobina deve essere posta sull’apposito alza bobine, con asse di rotazione perpendicolare all’asse mediano della trincea ed in modo che si svolga dal basso. Sul fondo della trincea devono essere collocati ad intervalli variabili in dipendenza del diametro e della rigidità del cavo i rulli di scorrimento. Tale distanza non deve comunque superare i 3 m. In alternativa potrà essere utilizzata la tecnica della bobina mobile: in questo caso il cavo deve essere steso percorrendo con il carro porta bobine il bordo della trincea e quindi calato manualmente nello scavo.

L’asse del cavo posato nella trincea deve scostarsi dall’asse della stessa di qualche centimetro a destra ed a sinistra, al fine di evitare dannose sollecitazioni dovute all’assestamento del terreno.

Durante le operazioni di posa, gli sforzi di tiro devono essere applicati ai conduttori e non devono superare i 60 N/mm² rispetto alla sezione totale. Il raggio di curvatura dei cavi durante le operazioni d’installazione non dovrà essere inferiore a 3 m.

Lo schermo metallico dei singoli spezzoni di cavo dovrà essere messo a terra da entrambe le estremità della linea.

È vietato usare lo schermo dei cavi come conduttore di terra per altre parti di impianto. In corrispondenza dell’estremità di cavo connesso alla stazione di utenza, onde evitare il trasferimento di tensioni di contatto pericolose a causa di un guasto sull’alta tensione, la messa a terra dello schermo avverrà solo all’estremità connessa alla stazione di utenza.

Per la posa dei cavi in fibra ottica lo sforzo di tiro che può essere applicato a lungo termine sarà al massimo di 3000 N. Il raggio di curvatura dei cavi durante le operazioni d’installazione non dovrà essere inferiore a 20 cm.



Durante le operazioni di posa è indispensabile che il cavo non subisca deformazioni temporanee. Il rispetto dei limiti di piegatura e di tiro è garanzia di inalterabilità delle caratteristiche meccaniche della fibra durante le operazioni di posa. Se inavvertitamente il cavo subisce delle deformazioni o schiacciamenti visibili la posa deve essere interrotta e dovrà essere effettuata una misurazione con OTDR per verificare eventuali rotture o attenuazioni eccessive provocate dallo stress meccanico.

La realizzazione delle giunzioni dovrà essere effettuata secondo le seguenti indicazioni:

- prima di tagliare i cavi controllare l'integrità della confezione e l'eventuale presenza di umidità;
- non interrompere mai il montaggio del giunto o del terminale;
- utilizzare esclusivamente materiali contenuti nella confezione.

A operazione conclusa devono essere applicate delle targhe identificatrici su ciascun giunto in modo da poter individuare l'esecutore, la data e le modalità d'esecuzione.

Su ciascun tronco fra l'ultima turbina e la stazione elettrica di utenza dovranno essere collocati dei giunti d'isolamento tra gli schermi dei due diversi impianti di terra (dispersore di terra della stazione elettrica e dispersore di terra dell'impianto eolico). Essi dovranno garantire la tenuta alla tensione che si può stabilire tra i due schermi dei cavi MT.

Nell'esecuzione delle terminazioni all'interno dei quadri MT di aerogeneratori e stazione, si deve realizzare il collegamento di terra degli schermi dei cavi con trecce flessibili di rame stagnato, eventualmente prolungandole e dotandole di capocorda a compressione per l'ancoraggio alla presa di terra dello scomparto.

Lo schermo dovrà essere collegato a terra da entrambe le estremità. Ogni terminazione deve essere dotata di una targa di riconoscimento in PVC atta a identificare esecutore, data e modo d'esecuzione e indicazione della fase (R, S o T). La messa a terra dovrà essere eseguita da entrambe le parti del cavo.

Le terminazioni dei cavi in fibra ottica dovranno essere portate a termine nella seguente maniera:

- posa del cavo, da terra al relativo cassetto ottico, previa eliminazione della parte eccedente, con fissaggio del cavo o a parete o ad elementi verticali con apposite fascette, ogni 0.50 m circa
- sbucciatura progressiva del cavo;
- fornitura ed applicazione, su ciascuna fibra ottica, di connettore;
- esecuzione della "lappatura" finale del terminale;
- fissaggio di ciascuna fibra ottica.

9.4 Interferenze

La risoluzione delle interferenze sarà effettuata in conformità alla norma CEI 11-17. Eventuali deroghe saranno possibili previo parere dell'ente gestore dell'opera interferente.

- a) Parallelismo e 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. I cavi a diversa tensione devono essere invece segregati (posti all'interno di condutture o canalette).



- b) 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 a 0,30 m e inoltre il cavo posto superiormente deve essere protetto, per una lunghezza non inferiore a 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.
- c) 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 purché sia mantenuta tra 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 già menzionati 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 (tubazioni, cunicoli, etc.), che proteggono il cavo stesso e rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la possibilità di effettuare scavi.

- d) Parallelismo ed incroci tra cavi elettrici e tubazioni o strutture metalliche interrato. La distanza in proiezione orizzontale tra cavi elettrici e tubazioni metalliche interrato parallelamente a esse non deve essere inferiore a 0.30 m. Si può tuttavia derogare alla prescrizione suddetta previo accordo tra gli esercenti quando:
- la differenza di quota fra le superfici esterne delle strutture interessate è superiore a 0.50 m;
 - 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.

Le interferenze con eventuali gasdotti sono disciplinate dal D.M. 24/11/1984 e saranno risolte in accordo con l'ente proprietario. Nei casi di parallelismi, sopra e sottopasso i cavi dovranno essere posati all'interno di tubazioni e/o cunicoli.



La distanza misurata fra le superfici affacciate del cavidotto e del gasdotto deve essere tale da consentire eventuali interventi di manutenzione su entrambi i servizi interrati.

L'incrocio fra cavi d'energia e tubazioni metalliche interrate 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.

Nel caso di incrocio con un gasdotto interrato i cavi dovranno essere alloggiati all'interno di un manufatto di protezione, che dovrà essere prolungato da una parte e dall'altra dell'incrocio stesso per almeno 1 metro nei sovrappassi e 3 metri nei sottopassi, misurati a partire dalle tangenti verticali alle pareti esterne del gasdotto.

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.

- e) Attraversamenti di linee in cavo con strade pubbliche, ferrovie, tranvie, filovie, funicolari terrestri. In corrispondenza degli attraversamenti delle linee in cavo interrato con ferrovie, tranvie, filovie, funicolari terrestri in servizio pubblico o in servizio privato per trasporto di persone, autostrade, strade statali e provinciali e loro collegamenti nell'interno degli abitati, il cavo deve essere disposto entro robusti manufatti (tubi, cunicoli, ecc.) prolungati di almeno 0.60 m fuori della sede ferroviaria o stradale, da ciascun lato di essa, e disposti a profondità non minore di 1.50 m sotto il piano del ferro di ferrovie di grande comunicazione, non minore di 1.00 m sotto il piano del ferro di ferrovie secondarie, tranvie, funicolari terrestri, e sotto il piano di autostrade, strade statali e provinciali. Le distanze vanno determinate dal punto più alto della superficie esterna del manufatto. Le gallerie praticabili devono avere gli accessi difesi da chiusure munite di serrature a chiave. Quando il cavo è posato in gallerie praticabili sottopassanti l'opera attraversata, non si applicano le prescrizioni di cui sopra purché il cavo sia o interrato a profondità non minore di 0.50 m sotto il letto della galleria, o sia protetto contro le azioni meccaniche mediante adatti dispositivi di protezione (di cemento, mattoni, legno o simili).
- f) Attraversamenti di corsi d'acqua, canali. L'attraversamento di corsi d'acqua, canali e simili può essere effettuato mediante staffaggio su ponti e strutture preesistenti ovvero mediante perforazione teleguidata. Quest'ultima in particolare consente grande



sicurezza ed evita, inoltre, interventi su argini e/o sponde. L'intervento sarà effettuato nelle fasi seguenti:

- a. Realizzazione di un foro pilota, infilando nel terreno, mediante spinta e rotazione, una successione di aste che guidate opportunamente dalla testa, che creano un percorso sotterraneo che va da un pozzetto di partenza ad uno di arrivo.
- b. Recupero delle aste con dietro un alesatore che, opportunamente avvitato al posto della testa, ruotando con le aste genera il foro del diametro voluto. Insieme all'alesatore, o in seguito, sono posate le condutture ben sigillate entro cui verrà posizionato il cavo.

La trivellazione viene eseguita ad una profondità tra 5 e 10 m sotto l'alveo del corso d'acqua, tale da non essere interessata da fenomeni di erosione, mentre i pozzetti di ispezione che coincidono con quello di partenza e di arrivo della tubazione di attraversamento vengono realizzati alla quota del terreno.