Fabbrica Energie Rinnovabili Alternative
GENERAZIONE POSSIBILE

Fabbrica Energie Rinnovabili Alternative S.r.l.
Piazza Cavour, 7 - 20121 Milano
T: +39 02 62690471 F: +39 02 32066804
info@ferasrl.it; www.ferasrl.it
P.IVA 13393960151

Azienda con sistema di gestione qualità
certificato UNI EN ISO 9001:2008
certificatl n. 501008849 e 501008850



Regione **Liguria**
Comune di **Calice Ligure-Orco Feglino-Mallare(SV)**
Proponente **F.E.R.A. S.r.l.**

Parco eolico
"Bric del Vento"

Progetto Definitivo

1.2 Relazione linea elettrica

Progettisti:

Ing. PAOLO PAPUCCI
ORDINE INGEGNERI della Provincia di PISA
N° 2384 Sezione A
INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE
INDUSTRIALE DELL'INFORMAZIONE

Data	Rev.	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
21.12.2021	A	Prima emissione	A.Sbrana	P. Papucci	G.Caroli

Comm. 81 **Elaborato:** CLG-1.2A_Relazione linea elettrica.doc

E' vietata la riproduzione del presente documento, anche parziale, con qualsiasi mezzo, senza l'autorizzazione di F.E.R.A. S.r.l.

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE 5

2. CARATTERISTICHE GENERATORE EOLICO 6

3. ELETTRODOTTO 8

3.1. IMPIANTi UTENTE - DALLE TORRI ALLO STALLO UTENTE 10

3.2. IMPIANTI DI RETE PER LA CONNESSIONE 13

3.3. CARATTERISTICHE GENERALI CAVI MT IMPIEGATI 15

3.4. SEZIONI TIPO CAVIDOTTO 15

3.5. INTERSEZIONI 22

4. STALLO UTENTE 26

5. CALCOLO DELLE DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (D.P.A.) DEI PRINCIPALI COMPONENTI AI SENSI DELL'ART. 5.1.3 DELL'ALLEGATO AL D.M. 29/05/2008 29

5.1. OBIETTIVO E CAMPO DI APPLICAZIONE 30

5.2. PRINCIPALI NORME E DISPOSIZIONI DI RIFERIMENTO 31

5.3. CALCOLO D.P.A. - SOTTOSTAZIONE AT/MT 33

5.4. CALCOLO D.P.A. CAVIDOTTO MT 34

6. ELABORATI COLLEGATI 43

7. ALLEGATO 1 44

1. INTRODUZIONE

Il presente documento illustra le opere relative alla realizzazione di linee interrate in cavo di media tensione (MT) per l'evacuazione dell'energia dalle torri dal parco eolico fino al punto di connessione, situato nel territorio del Comune di Vado Ligure (SV) nell'area adiacente alla Sottostazione Elettrica esistente e quindi per l'immissione dell'energia prodotta nella Rete Elettrica Nazionale.

La centrale eolica sarà composta da 7 aerogeneratori di grossa taglia; in fase progettuale, dopo un'attenta analisi, sono state scelte macchine di potenza massima pari a 4,2 MW per una potenza totale del parco di 29,4 MW. La linea elettrica interrata che collega le torri al nuovo stallo Utente di trasformazione ha una tensione di 30 kV; dallo stallo utente, tramite trasformatore elevatore, l'energia elettrica prodotta sarà elevata alla tensione di 132kV e immessa quindi nella Rete Elettrica Nazionale mediante il collegamento alla SSE esistente ubicata in località Bossarino, nel comune di Vado Ligure (SV).

2. CARATTERISTICHE GENERATORE EOLICO

Tra il generatore sincrono della torre, il quale eroga energia elettrica a 720 V, ed il trasformatore in uscita, che ne eleva il valore in tensione a 30 kV, sono presenti un raddrizzatore ed un inverter, i quali regolano il valore di frequenza in uscita (portandolo al valore standard di 50 Hz) e l'energia reattiva erogata dalla macchina. All'uscita del trasformatore, dopo l'interruttore automatico di macchina, è presente una sbarra di connessione, dove è possibile innestare il cavo MT che connette una torre eolica alla successiva.

Lo schema elettrico dell'aerogeneratore è riportato nell'immagine di seguito:

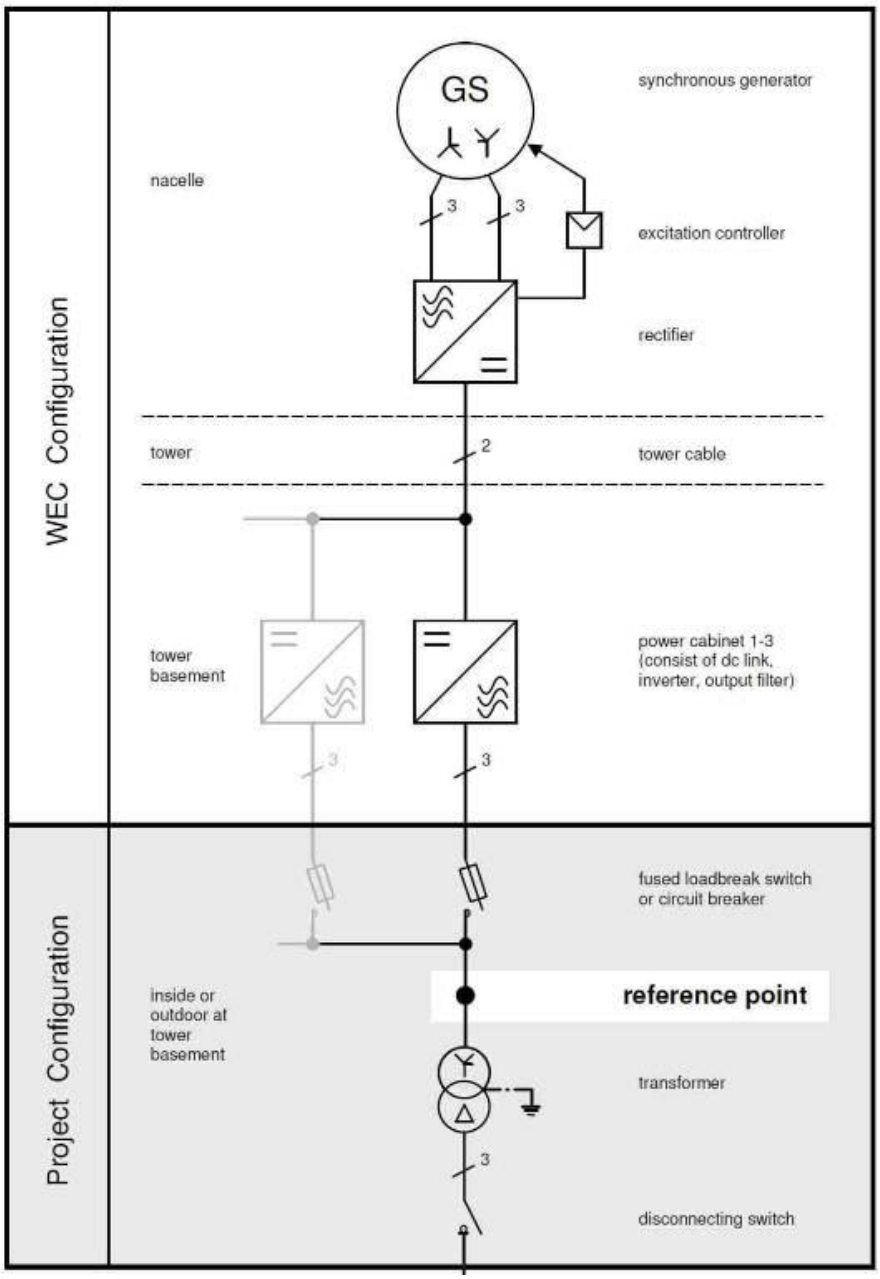


Figura 1: Schema elettrico aerogeneratore

Come previsto dalla CEI 11-1 è necessario prevedere una rete di terra.

La funzione della rete di terra è quello di ridurre la tensione a valori ammissibili, evitando il pericolo di folgorazione per le persone che transitano per l'impianto, e sovratensioni indesiderate sulle apparecchiature; la sua struttura è unica tanto per la massa metallica quanto per la messa a terra del neutro di aerogeneratore e trasformatore.

Il sistema di messa a terra è costituito da un cavo di acciaio zincato a formare un anello di dimensioni in accordo con la norma DIN 57185 parte 1; collegati a questo anello, mediante bulloni vi sono connettori di acciaio zincato.

Il collocamento di tale struttura è nelle fondazioni all'interno della massa di calcestruzzo.

In accordo con il criterio di sicurezza del personale, oltre che a quanto previsto nel MIE-RAT-13 del RCE, sono state collegate a terra tutte le parti metalliche non soggette normalmente a tensione e che possono esserlo a causa di avarie, incidenti, sovratensioni per scariche atmosferiche o tensioni indotte. Sono quindi connessi a terra gli elementi seguenti:

- Telaio e supporti di tutti gli apparati di manovra;
- Avvolgimenti di tutti i giunti delle scatole metalliche;
- Contenitori e chiusure metalliche;
- Strutture metalliche, torre, supporti, ecc.;
- Parti metalliche collegate ai cavi;
- Tubi e condutture metalliche;
- Cassa del trasformatore, generatore, motori e altre macchine;

Sono state collegate direttamente alla terra senza parti intermedie i seguenti elementi:

- Neutro del trasformatore di potenza;
- Neutro del trasformatore di misura e protezione;
- Derivazione a terra dei sezionatori di messa a terra;
- Messa a terra delle autovalvole;
- Messa a terra della linea.

3. ELETTRODOTTO

Il progetto proposto prevede l'installazione di sette nuovi aerogeneratori aventi potenza nominale massima unitaria di 4200 kW. La parte di elettrodotto interrato MT tra le torri si estende sia su strade già esistenti da adeguare, sia su vie appositamente tracciate per il raggiungimento dei punti torre. Nella disposizione delle torri è stato tenuto conto dell'orografia del terreno e della vicinanza dalla viabilità già esistente in modo da minimizzare l'impatto con l'ambiente circostante riducendo al minimo possibile le nuove opere di movimento terra sia dal punto di vista dell'adeguamento della viabilità sia per quanto riguarda le opere di scavo per l'alloggiamento del cavidotto interrato MT.

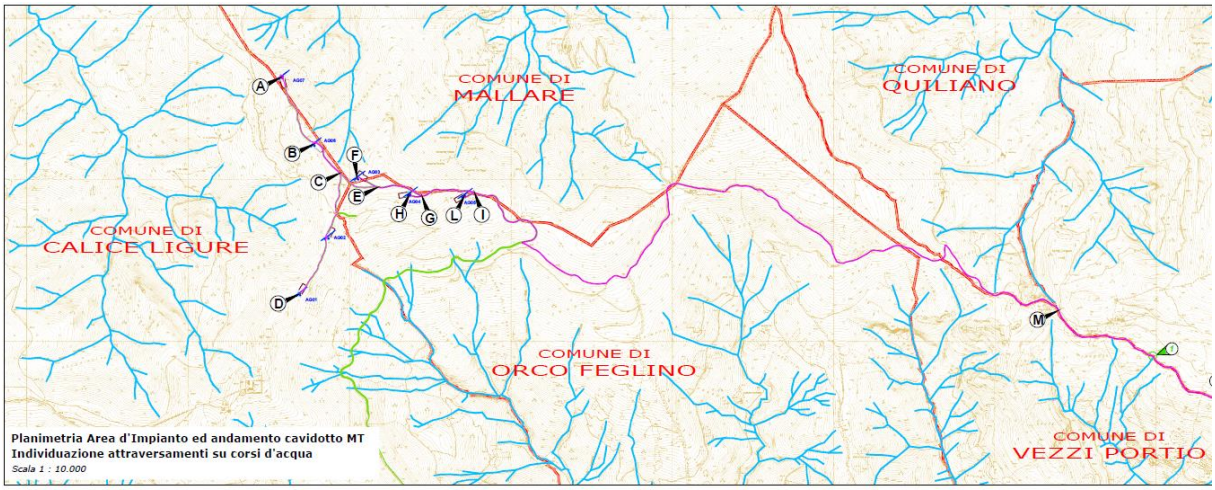


Figura 2 - Estratto su CTR con il posizionamento degli aerogeneratori a progetto e percorso del cavidotto fino al punto di connessione –parte 1

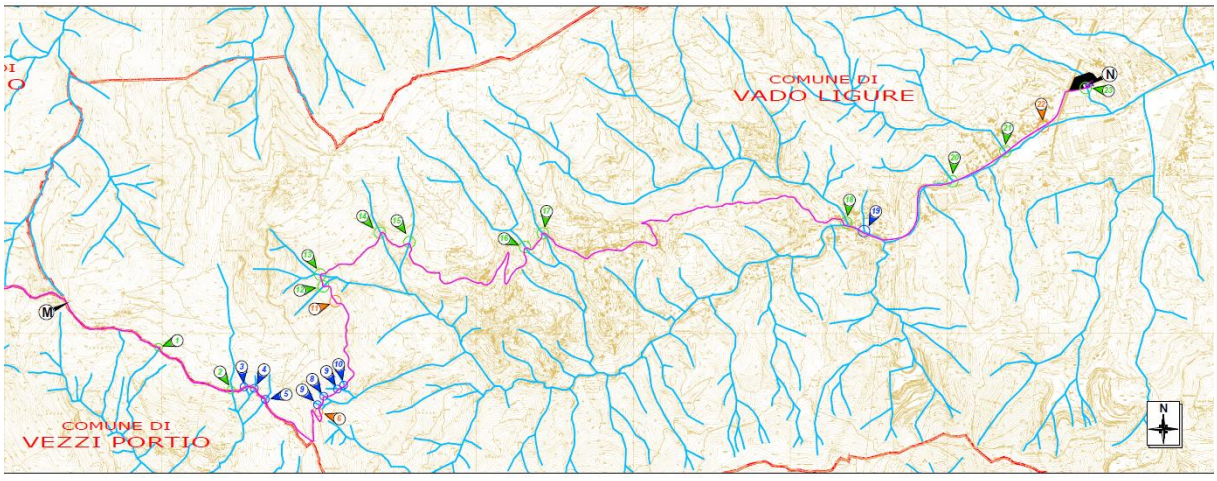


Figura 3 – Estratto su CTR con il posizionamento degli aerogeneratori a progetto e percorso del cavidotto fino al punto di connessione – parte 2

La connessione tra le torri ed il nuovo stallo utente, ubicato all'interno della SSE di Vado Ligure, è effettuata mediante due elettrodotti interrati alloggiati nel medesimo scavo, cosi costituiti:

- Ramo 1: AG01 - AG02 – AG06 – AG07
- Ramo 2: AG03 - AG04 – AG05 -

Il percorso del cavidotto MT si sviluppa, come già detto, sia su percorsi esistenti sia su nuovi tracciati di collegamento ai punti torre e si snoda dall'area di impianto fino al punto di connessione attraverso i comuni di Calice Ligure, Mallare, Orco Feglino e Vezzi Portio fino ad arrivare al punto di connessione collocato in località Bossarino, nel Comune di Vado Ligure (SV), all'interno dell'area Cabina Primaria di E-Distribuzione esistente.

Il tracciato del cavidotto dall'area di layout al punto di connessione è consultabile sugli elaborati *CLG-4.5_Planimetria linea elettrica su CTR- pianta e sezioni, CLG-4.6_ Planimetria linea elettrica su Catastale - tratto 1, CLG-4.7_ Planimetria linea elettrica su Catastale - tratto 2;* si è provveduto difatti a rappresentare lo stesso percorso sia sulla cartografia tecnica regionale (CTR) sia sulla cartografia catastale. A tale proposito si precisa che il tracciato che seguirà il cavidotto per giungere al punto di connessione risulta interamente cartografato sulla CTR e ed è stato verificato tramite sopralluogo;

tale tracciato, per soli due brevi tratti, si discosta dalla viabilità riportata sulla cartografia catastale, come si evince dagli elaborati sopra indicati.

3.1. IMPIANTI UTENTE - DALLE TORRI ALLO STALLO UTENTE

Ciascun ramo del cavidotto interrato MT collega gli aerogeneratori che ne fanno parte mediante una terna di cavi unipolari di tipo airbag direttamente interrati in uscita dal trasformatore dell'ultima torre e il cui percorso si sviluppa fino al nuovo stallo utente nel Comune di Vado Ligure (SV);

per i due rami queste distanze complessive sono rispettivamente:

Ramo 1 – 17.900 metri,

Ramo 2 – 16.550 metri

Di seguito si riporta lo schema sintetico dello sviluppo dei due rami di elettrodotto, dall'area di layout fino al punto di connessione sito in località Bossarino, nel Comune di Vado Ligure, all'interno della Cabina Primaria esistente.

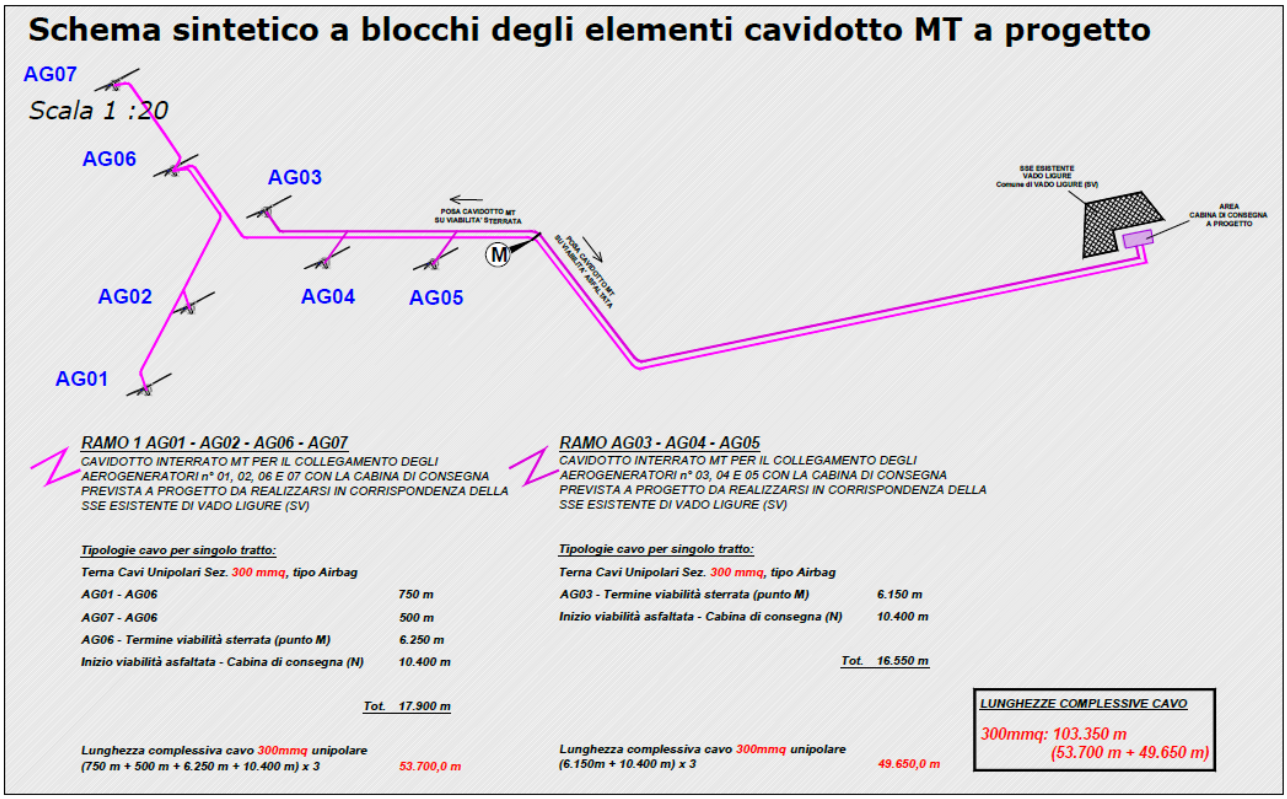


Figura 4- Estratto elaborato CLG-4.5_Planimetria linea elettrica su CTR- pianta e sezioni

Per maggiori dettagli sul percorso dell'elettrodotto in questione si rimanda alla tavola *CLG-4.5_Planimetria linea elettrica su CTR- pianta e sezioni*

Il nuovo stallo utente sarà collocato in località Bossarino, nel Comune di Vado Ligure (SV), sfruttando come punto di connessione la Sottostazione Elettrica esistente di proprietà E-Distribuzione e vi si potrà accedere da Via Ciocchi.



Figura 5- Google Earth - vista aerea dell'area scelta per il nuovo stallo utente e della SSE esistente in località Bossarino-Vado Ligure (SV); in rosso la perimetrazione dell'area di proprietà E-Distribuzione



Figura 6 - Vista del lotto identificato per la realizzazione del nuovo stallo utente dalla strada di accesso, Via Ciocchi

Il nuovo stallo utente sarà realizzato nello stesso terreno della SSE esistente; l'area scelta è attualmente coperta da sterpaglie e non presenta alcun tipo di pavimentazione o edificio; ciò comporta la necessità di provvedere alla realizzazione delle opere civili per la realizzazione dello stallo a progetto, dalla realizzazione delle strutture di fondazione fino all'edificazione della struttura in elevazione e alla sistemazione esterna del piazzale nel quale esso andrà a collocarsi.

Di seguito si riporta l'inquadramento dell'area su CTR.

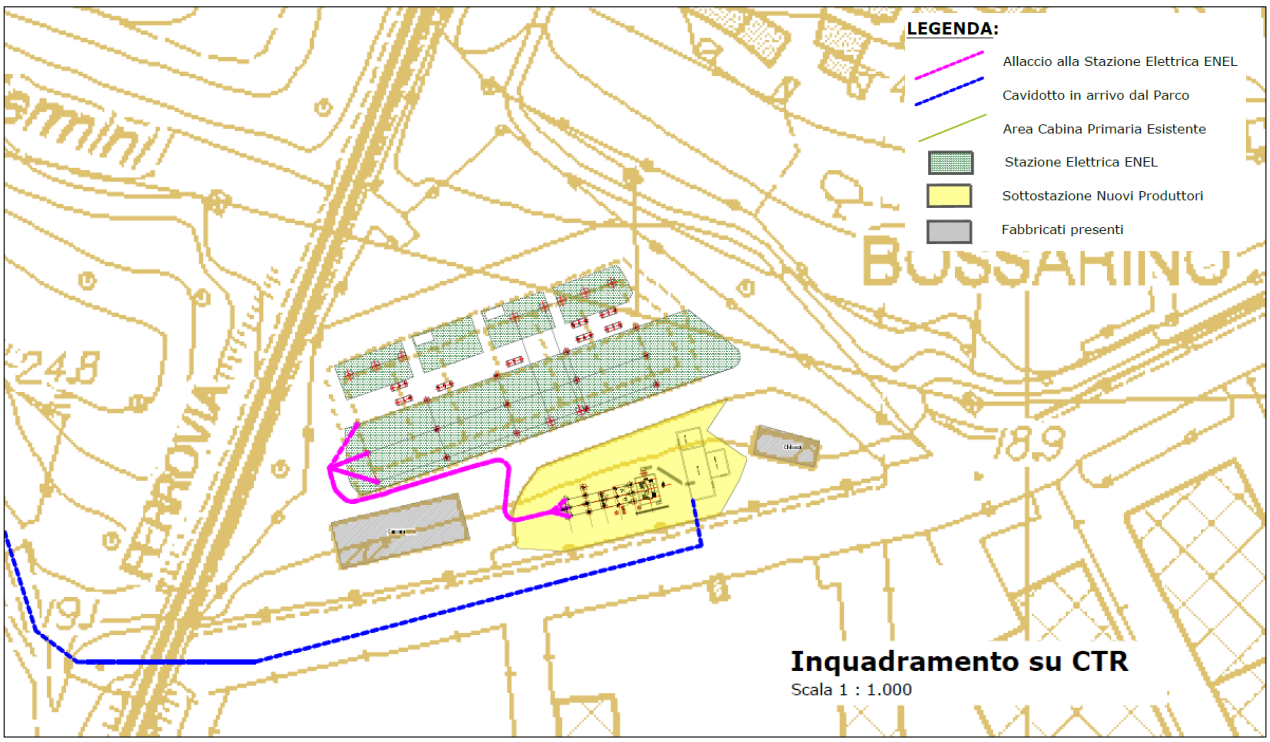


Figura 7 -Inquadramento dell'area su CTR

Per maggiori dettagli circa l'area del nuovo stallo utente si rimanda all'elaborato *CLG-4.20_Sottostazione elettrica -inquadramento e opere*

3.2. IMPIANTI DI RETE PER LA CONNESSIONE

La connessione del parco eolico "Bric del Vento", ubicato nei Comuni di Calice Ligure, Mallare, e Orco Feglino alla rete AT di E-Distribuzione Spa sarà effettuata tramite realizzazione di nuovo stallo utente collegato alla Sottostazione Elettrica esistente, situata nella zona industriale in località Bossarino nel Comune di Vado Ligure (SV).

Il nuovo stallo utente riceverà l'energia prodotta dall'impianto eolico mediante due cavidotti interrati MT 30 kV; da qui avverrà il collegamento alla Sottostazione Elettrica esistente dove l'energia sarà infine elevata mediante trasformatore 30kV/132kV e quindi immessa sulla linea aerea AT esistente.

Si riporta di seguito l'estratto dell'elaborato *CLG-4.20_Sottostazione elettrica -inquadramento e opere* al quale fare riferimento per maggiori dettagli.

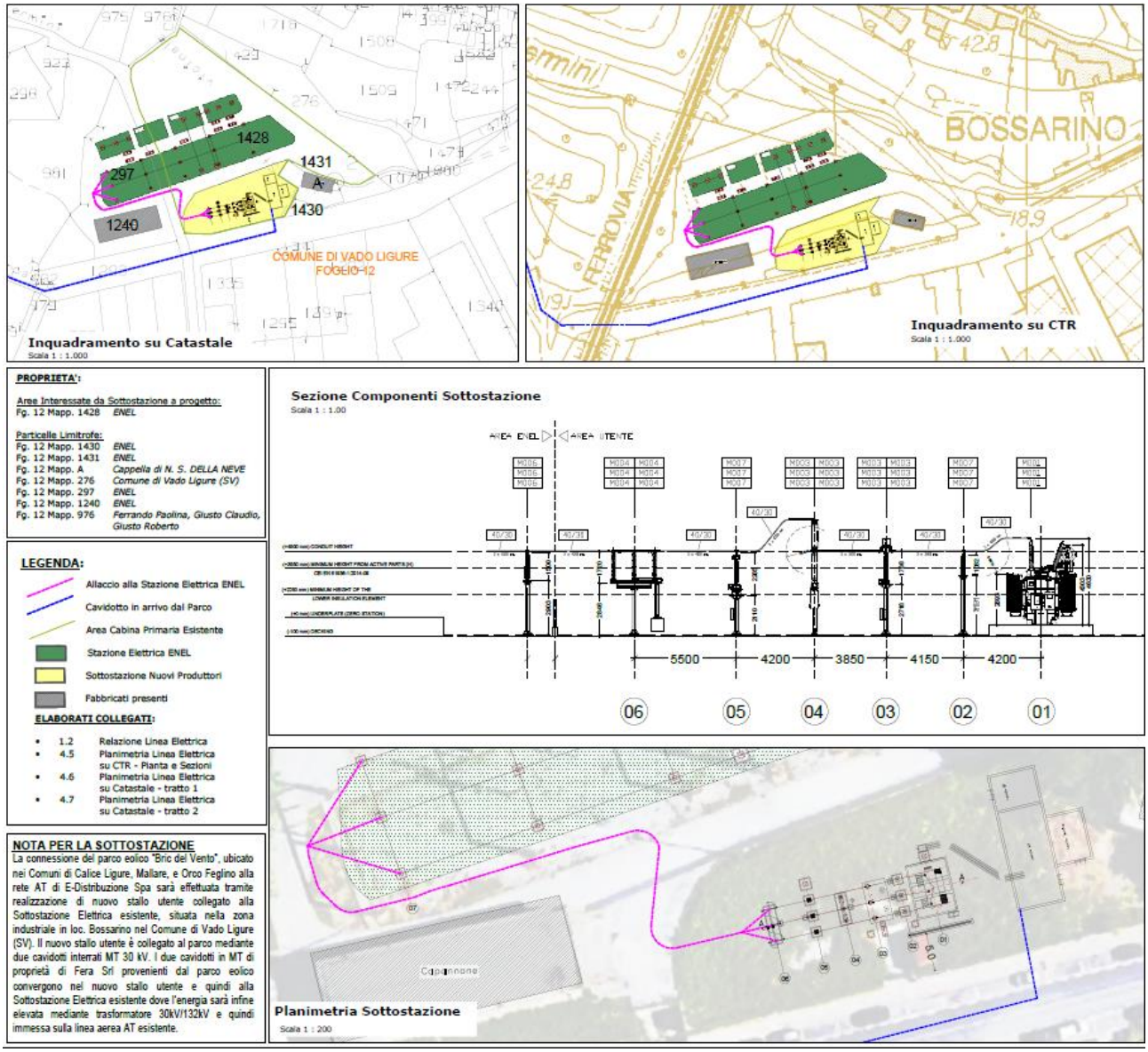


Figura 8 - Estratto elaborato grafico CLG-4.20_Sottostazione elettrica-inquadramento e opere

3.3. CARATTERISTICHE GENERALI CAVI MT IMPIEGATI

Le caratteristiche del cavo interrato usato per realizzare la linea elettrica in media tensione di collegamento tra l'impianto di generazione e la stazione di trasformazione sono:

- tipo di cavo: ARP1H5(AR)E – 18/30 kV – unipolare in alluminio;
- sezioni due terne di cavi unipolari 3-1x300 mmq
- tipo di isolante: Mescola in elastomero termopolastico (qualità HPTE)
- tipo di posa: Cavo di tipo airbag direttamente interrato
- tensione linea: 30 kV;
- frequenza: 50 Hz.



Figura 9 – Dettaglio cavo elettrico

3.4. SEZIONI TIPO CAVIDOTTO

I due elettrodotti interrati corrono su piste che si sviluppano lungo tracciati sterrati e strade asfaltate; sarà realizzato uno scavo a sezione obbligata di profondità pari a circa 115 cm e larghezza pari a 50 cm e i cavi saranno posati ad una profondità media di 1 m all'interno di un letto di sabbia o di uno strato di terreno vagliato di circa 30 cm; al di sopra di questo si procede con la posa del terreno di risulta dello scavo ed eventualmente, a seconda della tipologia del tracciato interessato, con la realizzazione dello strato di pavimentazione asfaltata.

Si riportano di seguito l'inquadramento generale dell'elettrodotto con i tratti di riferimento e quindi le sezioni tipologiche riscontrabili lungo tracciato dell'elettrodotto; per maggiori dettagli si faccia riferimento all'elaborato *4.5_Planimetria linea elettrica su CTR pianta e sezioni*.

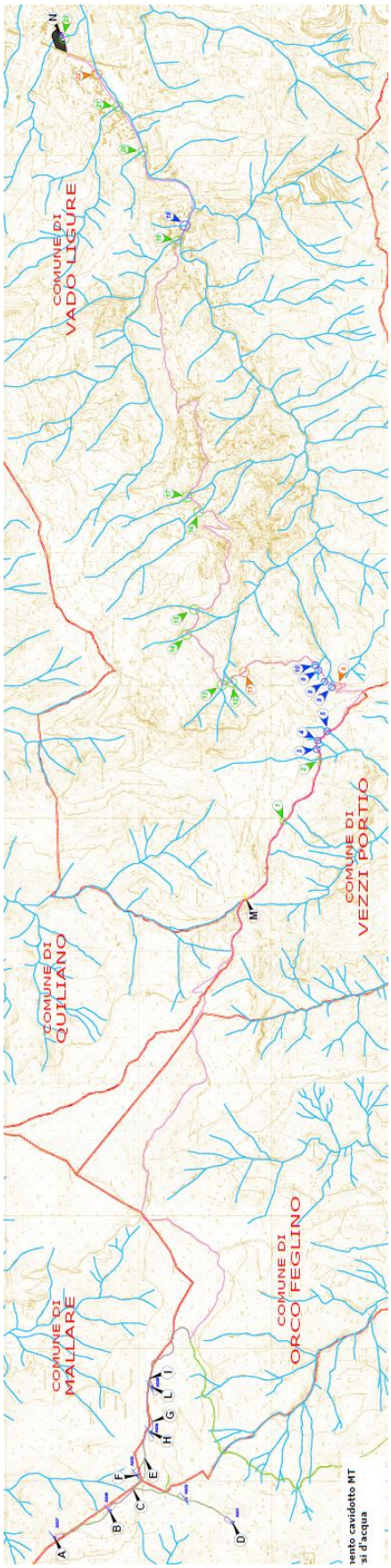


Figura 10 - inquadramento percorso elettrodotto MT - estratto elaborato CLG-4.5_Planimetria linea elettrica su CTR-pianta e sezioni

Di seguito si riportano quindi le sezioni tipologiche di alloggiamento dei cavi:

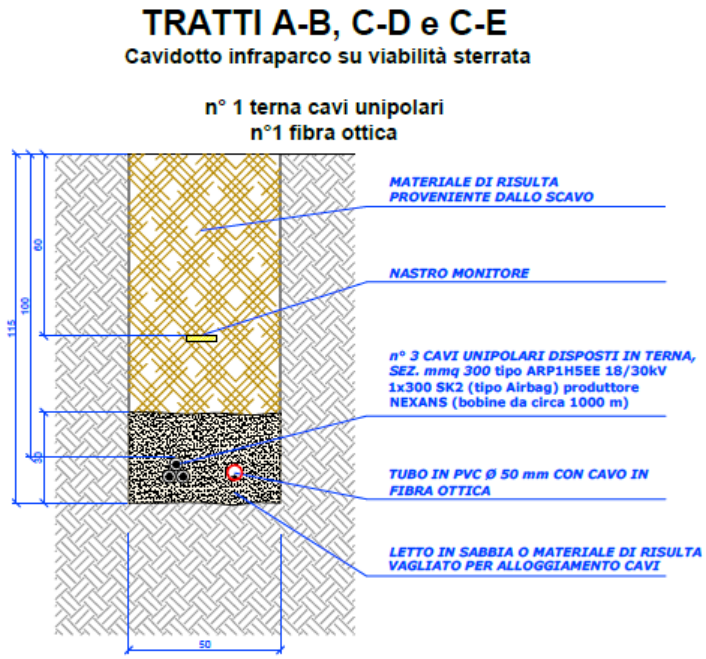


*Figura 11 – **Ramo 1 TRATTI A-B, B-C-D, D-E** - terna di cavi unipolari su strada sterrata intraparco*

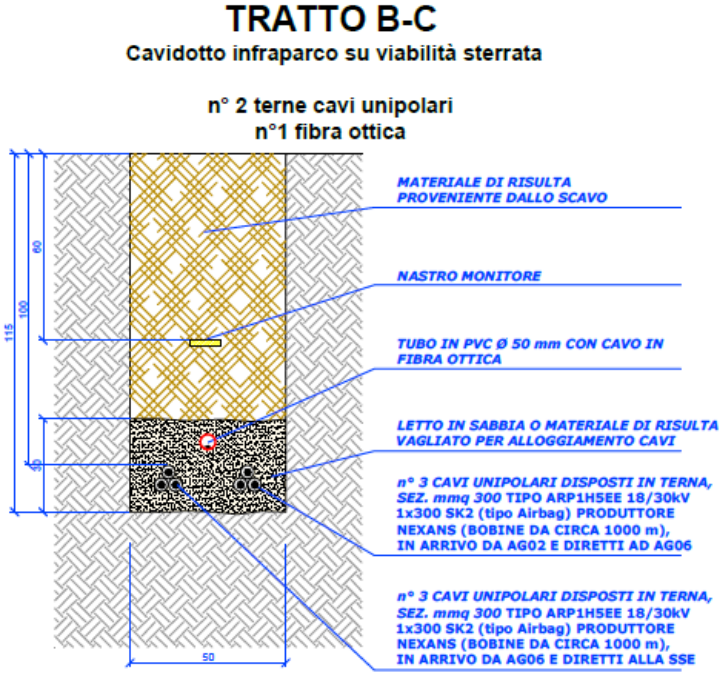


*Figura 12 – **Ramo 1 TRATTO B-C** -- due terne di cavi unipolari su sterrata infraparco*

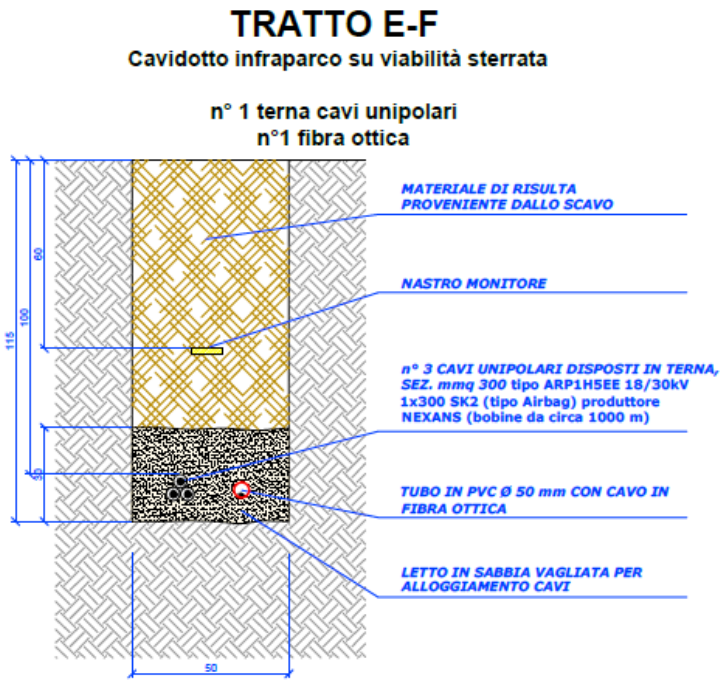


*Figura 13 –**Ramo 2 TRATTO E-**– terna cavi unipolari su strada sterrata infraparco*

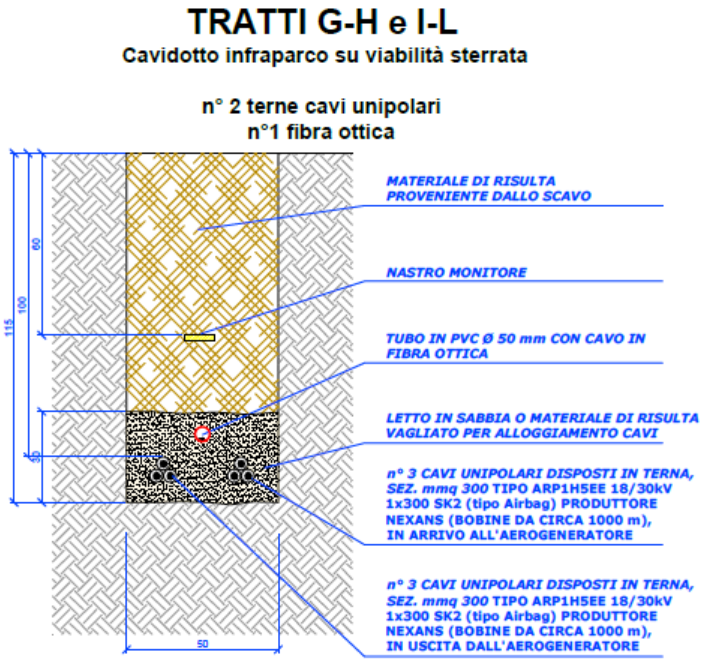


*Figura 14-**Ramo 2 TRATTI G-H,I-L**– due terne di cavi unipolari su strada sterrata infraparco*

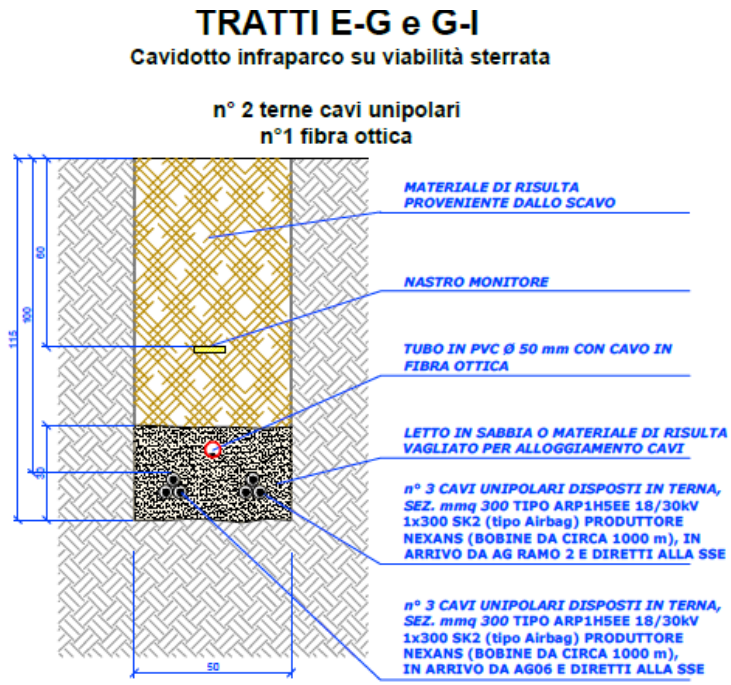


*Figura 15 – **Ramo 1 e Ramo 2 TRATTI E-G,G-I** – due terne di cavi unipolari su strada sterrata infraparco*

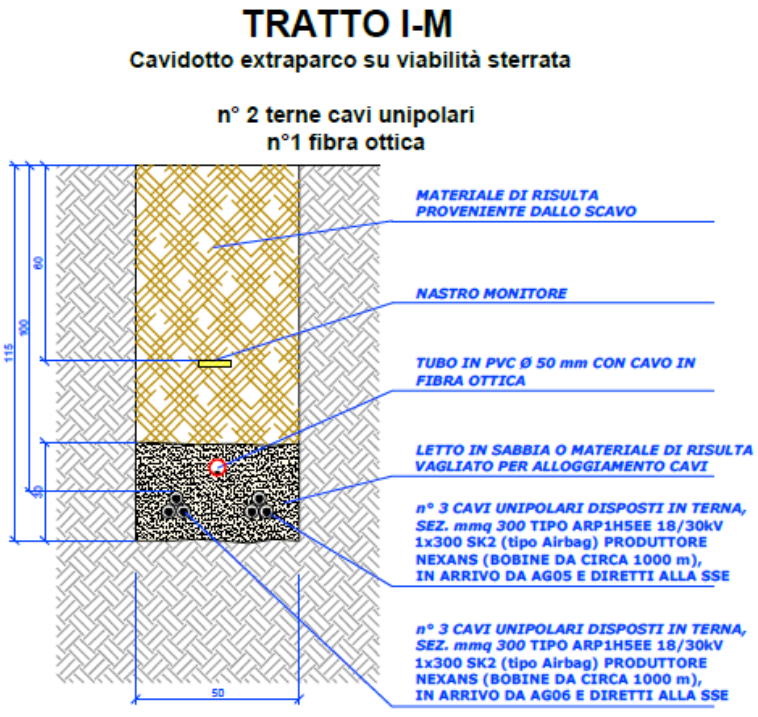


*Figura 16 – **Ramo 1 e Ramo 2 TRATTO I-M** – due terne di cavi unipolari su strada sterrata extraparco*

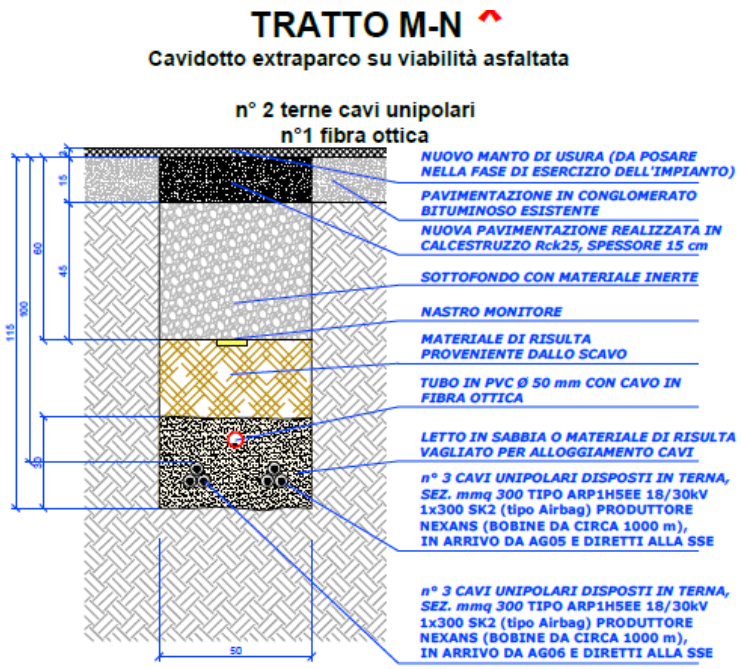


*Figura 17 - **Ramo 1 e Ramo 2 TRATTO M-N**– due terne di cavi unipolari su strada asfaltata extraparco*

Inoltre, come evidenziato nell'elaborato *4.5A_Planimetria Linea Elettrica su CTR - Pianta e Sezioni*, la società scrivente ritiene opportuno prendere in considerazione la possibilità di andare eventualmente a posare il cavidotto interrato non solo lungo il tracciato della viabilità asfaltata esistente ma, qualora la situazione e le condizioni specifiche lo consentissero, anche lungo le banchine bordo strada esistenti.

Questa soluzione tecnica consentirebbe di limitare gli interventi lungo i tratti di strada asfaltata, evitando di conseguenza eventuali situazioni di criticità nei punti di riasfaltatura legate ad avverse condizioni meteo.

Tale soluzione tecnica dovrà essere discussa e concordata direttamente con gli enti gestori dei tratti stradali asfaltati eventualmente interessati.

Una migliore descrizione dell'intervento è visualizzabile nella figura riportata di seguito, stralcio dell'elaborato *"4.5-A_Planimetria Linea Elettrica su CTR - Pianta e Sezioni".*



Figura 18 - Stralcio elaborato "4.5_*Planimetria Linea Elettrica su CTR - Pianta e Sezioni", soluzione di posa delle due terne di cavi unipolari su banchina, lato strada*

3.5. INTERSEZIONI

Lungo il suo percorso tra l'area di layout e lo stallo utente il cavidotto interrato MT interseca numerosi corsi d'acqua che richiedono una progettazione dettagliata e prevedono diverse possibili modalità di realizzazione dell'attraversamento del cavidotto interrato a progetto con l'elemento idrico interessato.

In questa fase, per verificare l'esistenza di un determinato elemento idrico (corso d'acqua o condotta idrica), è stata effettuata un'analisi approfondita mediante la consultazione degli elaborati relativi agli strumenti di pianificazione vigenti che ha permesso di definire quali elementi idrici siano cartografati su CTR, quali su reticolo idrografico e quali su cartografia catastale; in totale sono stati individuati 23 elementi idrici, analizzati nello specifico nella tabella dell'elaborato grafico 4.5_P*lanimetria linea elettrica su CTR pianta e sezioni;* di seguito se ne riporta l'estratto:

PARCO EOLICO "BRIC DEL VENTO"						
ANALISI PERCORSO CAVIDOTTO INTERRATO MT ED INDIVIDUAZIONE ATTRAVERSAMENTI CORSI D'ACQUA						
N° ATTRAVERS.	COORDINATE PUNTO DI ATTRAVERSAMENTO (Sistema Riferimento UTM-WGS 84)		CORSO D'ACQUA / RIO MAPPATO SU CARTOGRAFIA CATASTALE	CORSO D'ACQUA / RIO MAPPATO SU LIVELLO "RETICOLO IDROGRAFICO" GEOPORTALE REGIONE LIGURIA	CODICE CORSO D'ACQUA / RIO COME INDICATO NEL LIVELLO "RETICOLO IDROGRAFICO" GEOPORTALE REGIONE LIGURIA	DENOMINAZIONE CORSO D'ACQUA / RIO
	EST	NORD				
1	447951,52	4899888,14	✓	✓	4940100013011	-
2	448418,23	4899611,91	✓	✓	4940100013014	RIO ACQUA D'ALTO
3	448592,5	4899633,81		✓	4940100130140001001	-
4	448562,67	4899628,79		✓	494001001301401	-
5	448692,5	4899583,69		✓	4940010013014002	-
6	449033,86	4899430,68	✓		-	-
7	448984,04	4899525,77		✓	530020001	-
8	449010,39	4899576,35		✓	530020002	-
9	449098,33	4899626,13		✓	530020003	-
10	449132,33	4899642,18		✓	5100200030002	-
11	449080,02	4900176,4	✓		-	RIO RIANO
12	448997,36	4900284,36	✓	✓	530023	RIO GUINE
13	448988,59	4900346,66	✓	✓	530	TORRENTE SEGNO
14	449364	4900619	✓	✓	530026	RIO RIVE/CROVAV
15	449603,33	4900623,3	✓	✓	530026001	RIO DELLE RIVE
16	450186,76	4900570,09	✓	✓	530032	RIO DELLA BOTTA
17	450422,34	4900699,74	✓	✓	530032005	RIO GARBEA
18	452339,01	4900666,25	✓	✓	530038	RIO DELLE GUE
19	452400,6	4900567,91		✓	530039	-
20	453005,03	4900946,31	✓	✓	530040	RIO NABERRE
21	453226,15	4901049,55	✓	✓	530041	RIO TERRUSSO
22	453575,53	4901210,07	✓		-	RIO BALLAINA
23	453804,34	4901467,2	✓	✓	530042	RIO TERMINI

Figura 19 - Tabella identificazione attraversamenti cavidotto MT/Elementi idrici; estratto elaborato 4.5 planimetria linea elettrica su CTR pianta e sezioni; in arancione sono indicati gli elementi presenti su Cartografia Catastale, in blu gli elementi presenti sul Reticolo idrografico, in verde gli elementi idrici presenti sia su cartografia catastale sia sul Reticolo idrografico.

La realizzazione degli attraversamenti del cavidotto con gli elementi idrici che interseca lungo il suo percorso dall'area di impianto fino al punto di connessione può essere effettuata secondo quattro modalità diverse di posa:

- *Attraversamento a profondità normale*: il rio interessato dall'attraversamento scorre all'interno di tubo in calcestruzzo posato ad una profondità maggiore di 2,00 m rispetto al piano stradale; in questo caso la posa del cavidotto MT avviene secondo le modalità tradizionali in uno strato di sabbia o terreno vagliato all'interno di uno scavo a profondità di circa 115 cm rispetto al piano strada

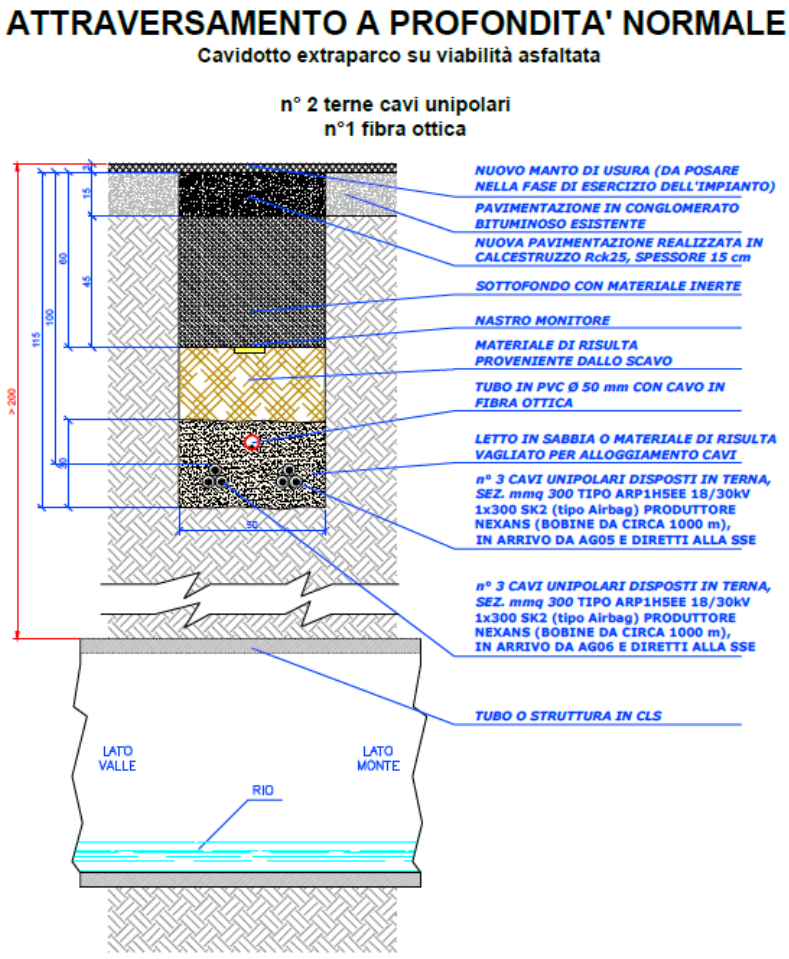


Figura 20 - Sezione tipologica di attraversamento a profondità normale

- *Attraversamento a profondità ridotta*: il rio interessato dall'attraversamento scorre all'interno di tubo in calcestruzzo posato ad una profondità minore di 1,00 m rispetto al piano strada; in questo caso il cavidotto MT deve essere alloggiato all'interno di un bauletto in calcestruzzo di circa 30 cm di altezza collocato a una profondità di circa 60 cm rispetto al piano strada.

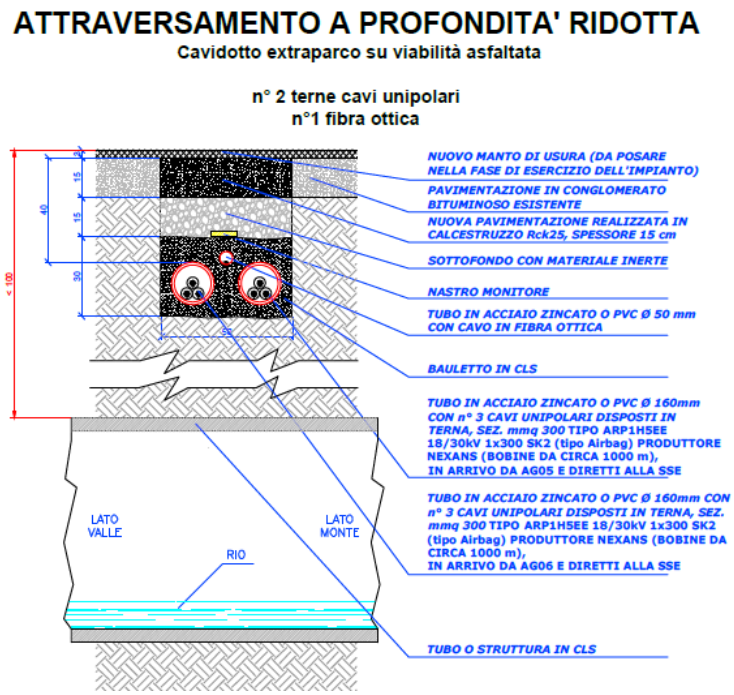


Figura 21 - sezione tipologica di attraversamento a profondità ridotta

- *Attraversamento su spalletta*: le due terne di cavi unipolari sono alloggiate all'interno di tubo in acciaio zincati staffati alla spalletta laterale del ponte interessato dall'attraversamento.

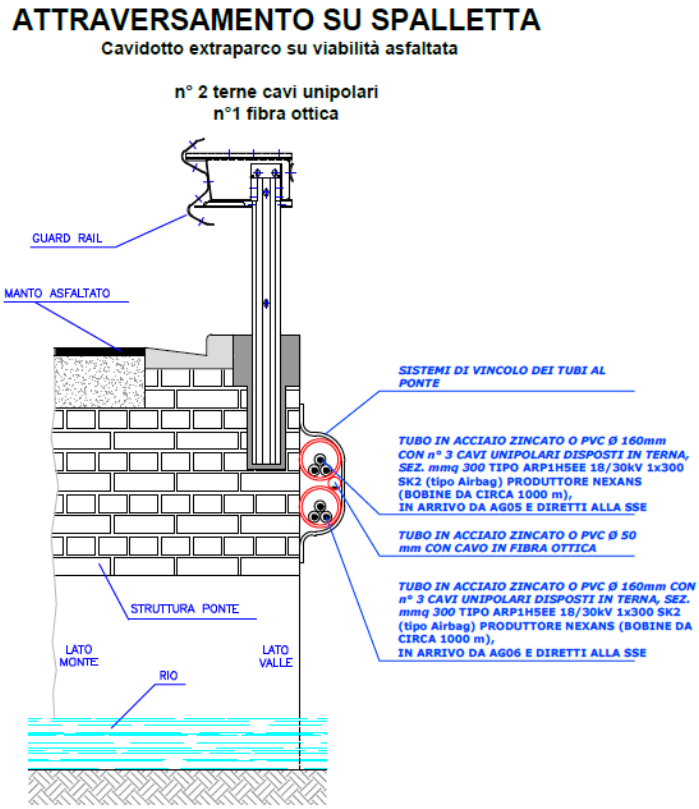


Figura 22 - sezione tipologica di attraversamento su spalletta

- *Attraversamento in subalveo*: il rio interessato dall'attraversamento scorre all'interno di tubo in calcestruzzo posato ad una profondità ridotta rispetto al piano strada; in questo caso il cavidotto MT deve essere alloggiato in subalveo, all'interno di un bauletto in calcestruzzo di circa 30 cm di altezza collocato a una profondità di circa 80 cm rispetto al piano di posa della struttura in calcestruzzo in cui scorre l'elemento idrico

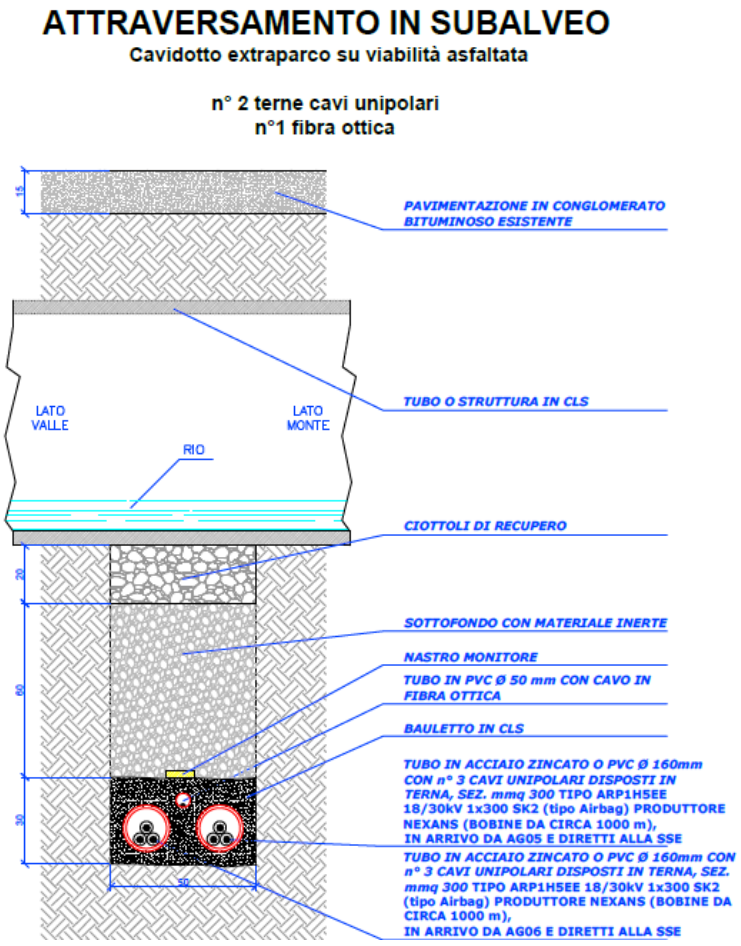


Figura 23 - Sezione tipologica di attraversamento in subalveo

Si specifica comunque che la progettazione e la successiva eventuale realizzazione saranno eseguite nel rispetto delle normative vigenti e delle prescrizioni tecniche imprescindibili per ogni azienda, quali la sicurezza sia in fase di esercizio che in caso di manutenzione dell'impianto.

4. STALLO UTENTE

La connessione della cabina utente lato produttore alla cabina primaria di E-Distribuzione, sarà eseguita nella modalità più opportuna (tramite un allungamento delle sbarre o mediante cavidotto AT interrato) e in accordo con l'Ente fornitore di energia.

Di seguito, a titolo esclusivamente esemplificativo, si riporta una possibile configurazione planimetrica della connessione del nuovo stallo utente con la cabina primaria di E-Distribuzione; si precisa che lo schema di configurazione definitivo sarà scelto in accordo con E-Distribuzione e a seguito delle opportune valutazioni.

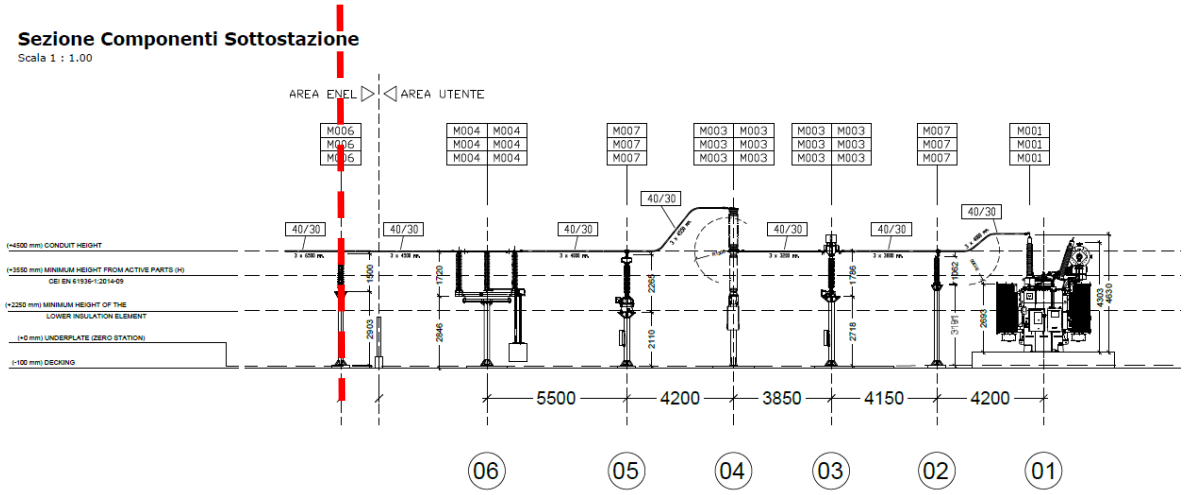


Figura 24 – Planimetria di connessione tra lo stallo utente (lato produttore) e la cabina primaria Enel

La cabina primaria di trasformazione utente comprenderà la costruzione e l'allestimento dei locali che ospiteranno i quadri di MT, i quadri BT, il locale di rifasamento e la sala di controllo con l'allestimento di tutte le apparecchiature di protezione e di controllo richieste dal codice di rete Terna e necessarie a garantire la corretta connessione del parco eolico alla rete AT. La cabina sarà dotata di impianto di terra a cui saranno collegate tutte le masse delle apparecchiature, il dimensionamento di tale impianto sarà effettuato sia in base alla norma CEI 11-1 che alla corrente monofase a terra ed al suo tempo di eliminazione. Sarà necessario inoltre allestire una serie di opere civili che dovranno essere eseguite conformemente a quanto prescritto dalle Norme di riferimento vigenti nel pieno rispetto di tutta la normativa vigente in materia e che comprendono indicativamente:

- fondazioni per sostegni di apparecchiature, portali di linee ecc.
- fondazioni per edificio servizi ausiliari, sala quadri, arrivo linee MT
- edifici di stazione
- cunicoli completi di coperture e tubazioni per cavi di collegamenti

- vasche di raccolta olio
- strade di circolazione
- recinzione esterna alla stazione.

Gli edifici servizi ausiliari potranno essere del tipo in muratura o in prefabbricato, saranno riuniti in un unico edificio comprendente:

- sala quadri MT
- sala quadri BT
- locale di rifasamento
- locale batterie
- locale misure

Nei locali, i quadri elettrici MT e BT e tutti i quadri e componenti ridondanti (raddrizzatori, batterie), dovranno essere tra loro opportunamente separati da pareti e/o diaframmi resistenti al fuoco. Tutti i locali dovranno avere l'ingresso dall'esterno dotato di serraglio antisfondamento. La copertura di questo edificio sarà realizzata con tetto piano.

Le principali apparecchiature costituenti il nuovo impianto sono interruttori, sezionatori sulla partenza linee con lame di terra, scaricatori di sovratensione ad ossido metallico a rotazione del trasformatore, trasformatori di tensione e di corrente per misure e protezioni, bobine ad onde convogliate per la trasmissione dei segnali. Le principali caratteristiche tecniche complessive della stazione saranno le seguenti:

Tensione massima sezione 132 kV	170 kV
Frequenza nominale	50 Hz
Stallo linea/TR 150 kV	1250 A
Potere di interruzione interruttori 132 kV	31.5 kA
Corrente di breve durata 132 kV	80 kA
Condizioni ambientali limite	-25/+40 °C
Salinità di tenuta superficiale degli isolamenti Elementi 132 kV	56 g/l

Tabella 1 - Caratteristiche delle apparecchiature elettromeccaniche in stazione

L'elemento principale presente in Stazione Utente resta comunque il trasformatore di Potenza. Questo è l'elemento che consente al parco eolico di trasferire l'energia prodotta a 30 kV ad un livello di tensione superiore 132 kV. Nel caso in oggetto il trasformatore deve avere le seguenti caratteristiche:

Potenza nominale	MVA	30/35 (da definire in accordo con il fornitore)
frequenza	HZ	50
Tensioni Nominali AT/MT	kV	132/30
Raffreddamento	/	ONAN/ONAF
Collegamenti AT/MT. Gruppo	/	Stella/Triangolo. Ydn11
Regolazione tensione	/	132 kV ±3x2%

Tabella 2 - Caratteristiche del trasformatore elevatore posto in Stazione utente

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato *4.20_Sottostazione elettrica–Inquadramento e opere*.

5. CALCOLO DELLE DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (D.P.A.) DEI PRINCIPALI COMPONENTI AI SENSI DELL'ART. 5.1.3 DELL'ALLEGATO AL D.M. 29/05/2008

Il presente elaborato è stato redatto utilizzando, come supporto, le Linee Guida di Enel Distribuzione per l'applicazione dell'Art. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 ("Distanza di prima approssimazione [DPA] da linee e cabine elettriche" elaborato da Enel Distribuzione S.p.A., a cura della funzione Qualità, Sicurezza ed Ambiente [QSA] ed in collaborazione con la funzione Ingegneria ed Unificazione [IUN]), oltre alla norma CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) – Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo" ed alla norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche".

Nel caso in esame è valutata la Distanza di Prima Approssimazione per le seguenti opere:

- Sottostazione AT/MT (realizzazione di nuovo stallo utente all'interno di sottostazione esistente)
- Cavidotto MT

5.1. OBIETTIVO E CAMPO DI APPLICAZIONE

Ai fini della protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50Hz) generati da linee e cabine elettriche, il DPCM 8 luglio 2003 (art. 3 e 4) fissa, in conformità alla Legge 36/2001 (art. 4, c. 2):

- i limiti di esposizione del campo elettrico (5 kV/m) e del campo magnetico (100 μT) come valori efficaci, per la protezione da possibili effetti a breve termine;
- il valore di attenzione (10 μT) e l'obiettivo di qualità (3 μT) del campo magnetico da intendersi come mediana nelle 24 ore in normali condizioni di esercizio, per la protezione da possibili effetti a lungo termine connessi all'esposizione nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere (luoghi tutelati).

Il valore di attenzione si riferisce ai luoghi tutelati esistenti nei pressi di elettrodotti esistenti; l'obiettivo di qualità si riferisce, invece, alla progettazione di nuovi elettrodotti in prossimità di luoghi tutelati esistenti o alla progettazione di nuovi luoghi tutelati nei pressi di elettrodotti esistenti. Il DPCM 8 luglio 2003, all'art. 6, in attuazione della Legge 36/01 (art. 4 c. 1 lettera h), introduce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto, definita nell'Allegato al Decreto 29 maggio 2008 ("Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti"). Detta fascia comprende tutti i punti nei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

"La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti" prevede una procedura semplificata di valutazione con l'introduzione della Distanza di Prima Approssimazione (DPA), di seguito applicata per il caso in esame. Detta DPA, nel rispetto dell'obiettivo di qualità di 3 μT del campo magnetico (art. 4 del DPCM 8 luglio 2003), si applica nel caso di:

- realizzazione di nuovi elettrodotti (inclusi potenziamenti) in prossimità di luoghi tutelati;
- progettazione di nuovi luoghi tutelati in prossimità di elettrodotti esistenti.

In particolare, al fine di agevolare/semplificare l'iter autorizzativo relativo alla costruzione ed esercizio degli elettrodotti (linee e cabine elettriche) e le attività di gestione territoriale relative a progettazioni di nuovi luoghi tutelati e a richieste di redazione dei piani di gestione territoriale, inoltrate dalle amministrazioni locali, sono state elaborate le schede sintetiche con le DPA per le tipologie ricorrenti di linee, cabine e stazioni elettriche di proprietà E-Distribuzione di nuova realizzazione e che possono essere prese a riferimento anche per gli elettrodotti in esercizio. Dette distanze sono state calcolate in conformità al procedimento semplificato per il calcolo della fascia di rispetto di cui all'Art. 5.1.3 del Decreto 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008).

5.2. PRINCIPALI NORME E DISPOSIZIONI DI RIFERIMENTO

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”.
- DCPM del 08/07/03 “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz”
- DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”.
- DM 21 marzo 1988, n. 449 “Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee aeree esterne” e s.m.i.”.
- DK 4461: “Impianti di terra delle cabine secondarie”.
- DK 4452: “Criteri di taratura degli impianti di distribuzione MT ed esempi tipici di coordinamento delle protezioni di rete e di utenza”.
- CEI 0-2 “Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici”.
- Norma CEI 0-16 “Regola tecnica di rif. per la connessione di utenti attivi e passivi alla rete MT delle imprese distributrici di energia elettrica”.
- Norma CEI 11-1 “Impianti elettrici con tensione superiore ad 1 kV in corrente alternata”.
- CEI 11-60 “Portata al limite termico delle linee elettriche esterne con tensione maggiore di 100 kV”.
- CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo”.
- CEI 106-11 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte I”.
- CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dalle linee e da stazioni elettriche”.
- CEI 211-6 2001-01 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell´intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all´esposizione umana".
- CEI 211-7 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell´intervallo di frequenza 10 Hz - 300 kHz, con riferimento all´esposizione umana".
- Norma CEI EN 50086 2-4 “Sistemi di tubi ed accessori per installazioni elettriche Parte 2-4: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi interrati”.

- Guida CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) – Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo";
- Guida CEI 106-12 "Guida pratica ai metodi di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT"
- Rapporto CESI-ISMES A7034603 "Linee Guida per l'uso della piattaforma di calcolo - EMF Tools v. 3.0".
- Rapporto CESI-ISMES A8021317 "Valutazione teorica e sperimentale della fascia di rispetto per cabine primarie".
- D.M. 14.01.2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni.
- R.D. 523 del 25/07/1904 e s.m.i.
- Linee guida E-Distribuzione

5.3. CALCOLO D.P.A. - SOTTOSTAZIONE AT/MT

Ai sensi dell'Art. 5.2 dell'Allegato al Decreto 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008), nel caso di Cabine Primarie, generalmente la DPA rientra nel perimetro dell'impianto in quanto non vi sono livelli di emissione sensibili oltre detto perimetro.

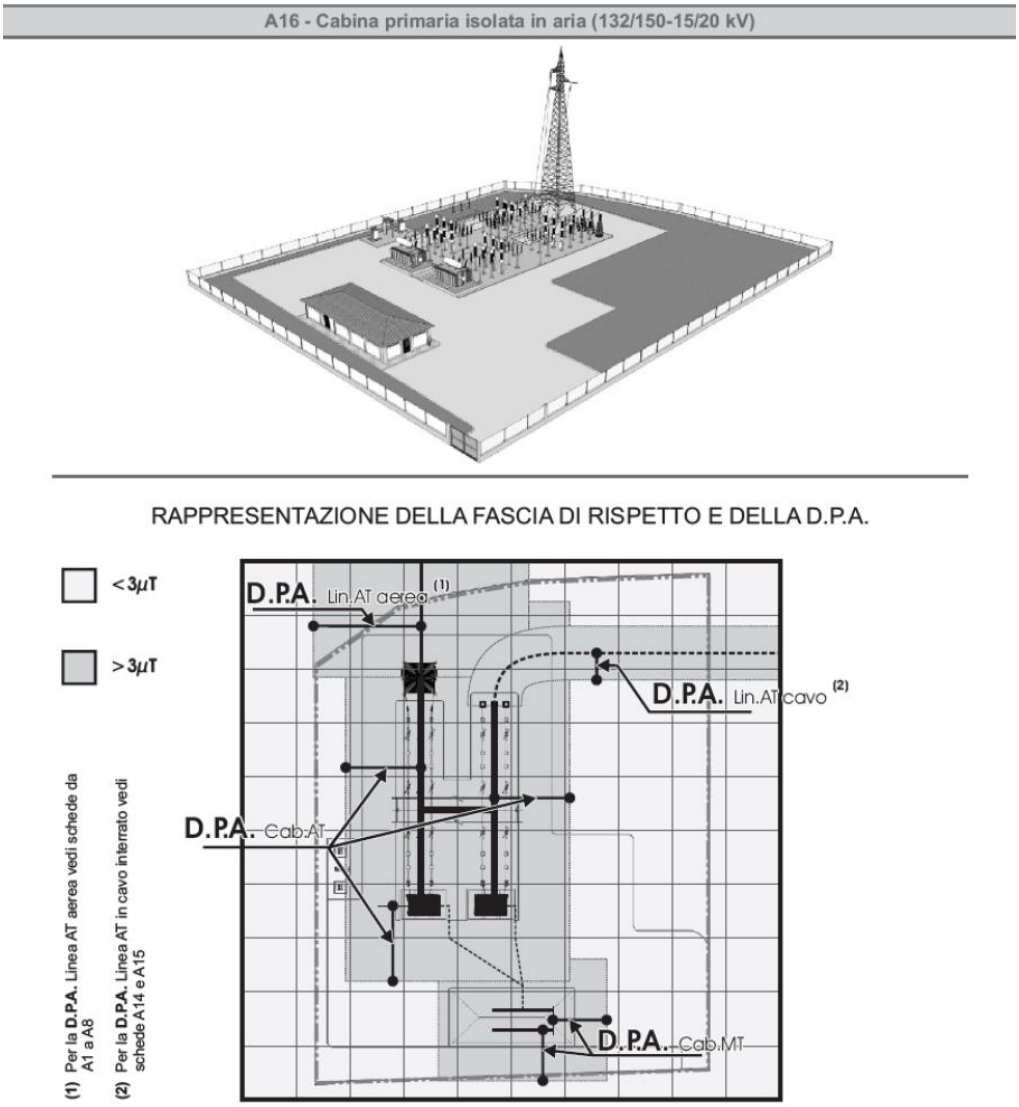


Figura 25 – Dettaglio D.P.A. Sottostazione Elettrica

5.4. CALCOLO D.P.A. CAVIDOTTO MT

Il paragrafo in esame è relativo al calcolo della D.P.A. in merito alla costruzione di un nuovo impianto a Media Tensione (30 kV) realizzato da diverse terne di cavi unipolari in alluminio del tipo AIRBAG ARP1H5(AR)E 18/30kV o equivalente di sezione pari a 300mm2 a seguito della realizzazione del Parco Eolico denominato "Bric del Vento".

Per la valutazione del campo magnetico generato da tali elettrodotti occorre innanzitutto individuare le possibili diverse configurazioni che si presentano nel caso in esame, e sulla base di queste individuare i diversi casi sui quali effettuare la valutazione del campo.

Come riportato nel capitolo "sezioni tipo cavidotto" e nell'elaborato *CLG-4.5_Planimetria linea elettrica su CTR – Pianta e Sezioni,* è possibile individuare nel parco eolico in progetto le seguenti tipologie di elettrodotti:

- CASO 1 - Linea elettrica in cavo interrato costituita da 1 terna di cavi mT posata a trifoglio ad una profondità di 1m;
- CASO 2 - Linea elettrica in cavo interrato costituita da 2 terne di cavi mT posate a trifoglio ad una profondità di 1m;

- Tensione d'esercizio: 30 kV
- Numero di conduttori attivi ed eventuali funi di guardia:

  N° 1-2 terna/e di cavi interrati 1x300 ARP1H5(AR)E 18/30kV o equivalente. Si tratta di cavi di media tensione unipolari posati a trifoglio, particolarmente adatto per installazioni direttamente interrate con protezione meccanica aggiuntiva.

- Corrente massima per singola terna (portata): 330A (Ramo 1) / 247A (Ramo 2)
- Corrente mediana efficace giornaliera per singola terna: 200A / 150A
- Descrizione della linea

  Trattasi di terne di cavi sotterranei posate a trifoglio della sezione di 300 mm2. Il cavo sarà posato in terra libera nel sottosuolo con un estradosso di circa un metro dal piano viabile o di calpestio.

5.4.1. *CASO 1 – N°1 TERNA DI CAVI UNIPOLARI INTERRATI*

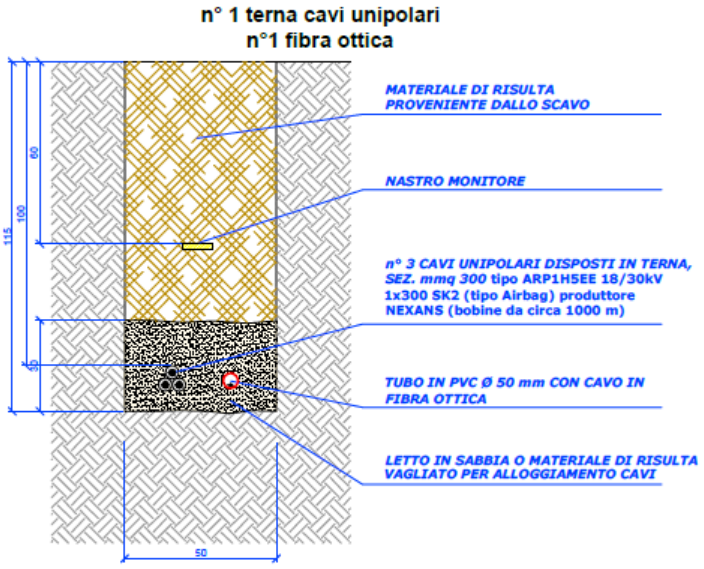


Figura 26 – Esempio di singola terna di cavi interrati posati a trifoglio

Per quanto concerne il caso di una singola terna di cavi sotterranei di media tensione posati a trifoglio, la norma CEI 106-11 al cap.7.1 indica che con una profondità di posa pari a 0,80 m già al livello del suolo sulla verticale del cavo e nelle condizioni limite di portata si determina una induzione magnetica inferiore a 3 µT. A maggior ragione, considerata una reale profondità di posa pari a 1m circa, risulterà al livello del suolo un valore ancora inferiore.

A scopo cautelativo, è stato comunque effettuato il calcolo analitico dei campi magnetici generati da questa configurazione.

Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio come riportato nel seguito.

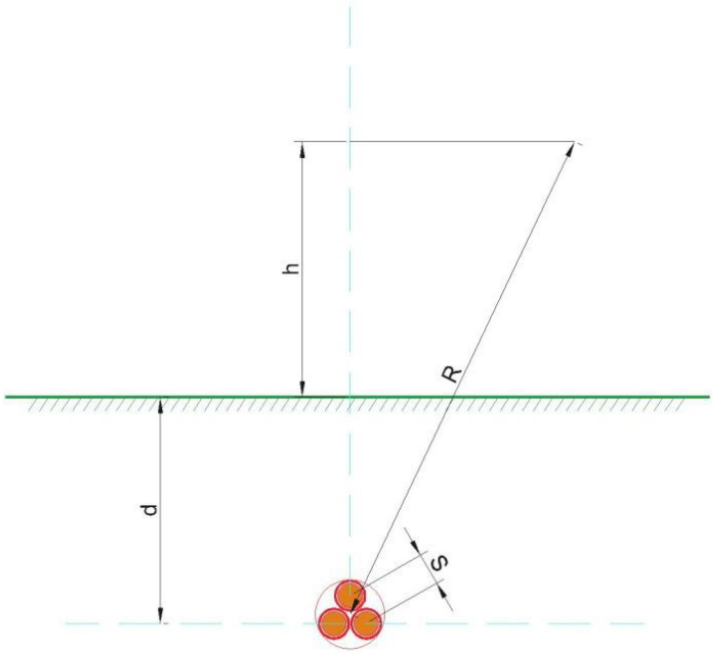


Figura 27 – Schema grafico per calcolo DPA singola terna

Come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3, per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato.

$$B = 0{,}1 \times \sqrt{6} \times \frac{S \times I}{R^2}$$

dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale, S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I [A].

Le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli sono le seguenti:

- Profondità di posa: 1m
- Distanza terna dall'asse y di calcolo: 0m
- Formazione terna: 3-1x300mm^2
- Portata nominale della terna: 486A
- Corrente nominale della terna: 330A

Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione e riportata nel catalogo del fornitore.

Il grafico che segue mostra la distribuzione dei valori di induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse centrale. Le varie curve mostrano il valore dell'intensità del campo al variare del parametro h (al suolo fino a 3 m da terra), ossia la distribuzione del campo su piani fuori terra paralleli al suolo.

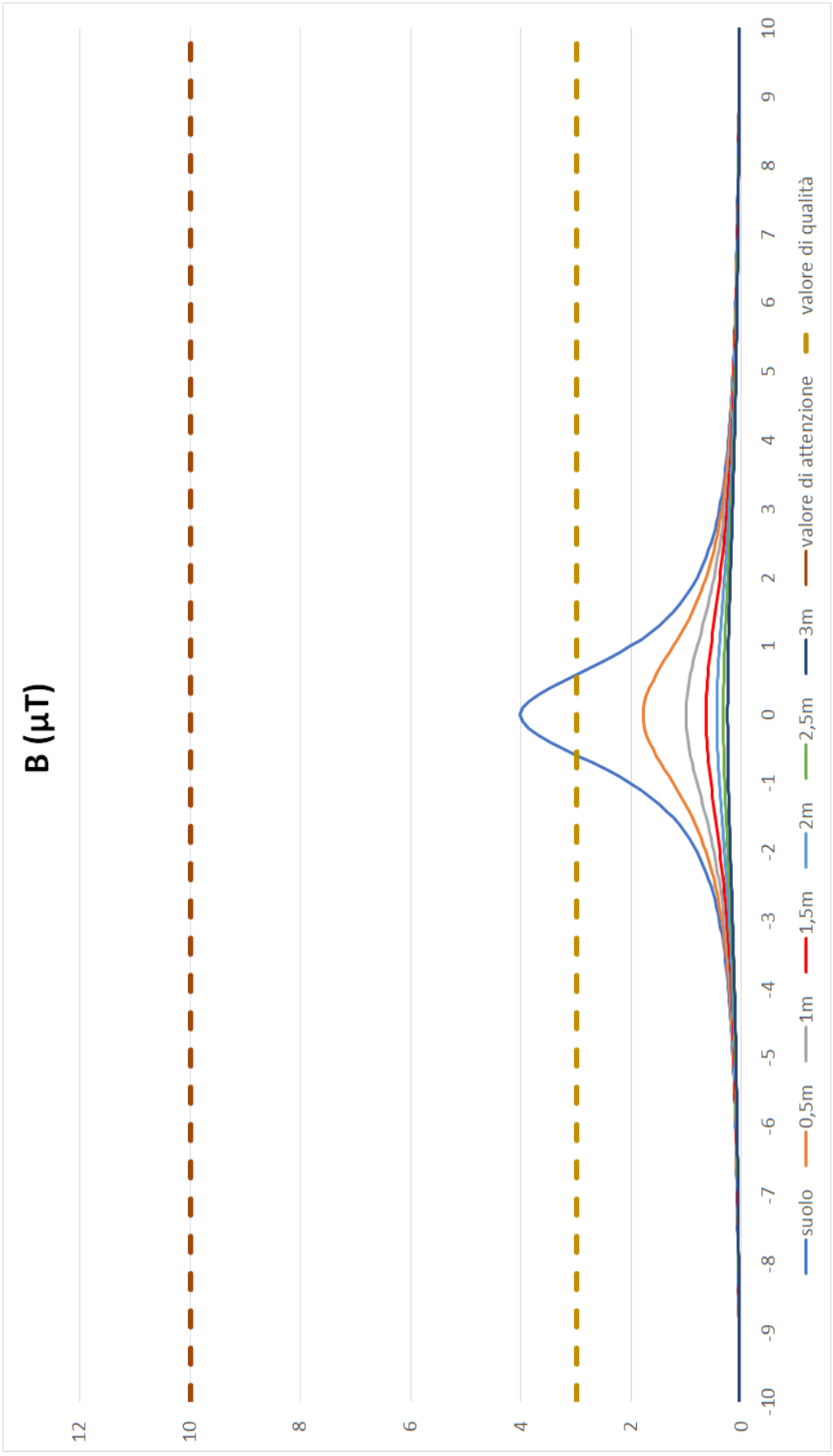

B (µT)
12
10
8
6
4
2
0
-10
-9
-8
-7
-6
-5
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
suolo
0,5m
1m
1,5m
2m
2,5m
3m
valore di attenzione
valore di qualità

Figura 28 - – Grafico dell'intensità del campo al variare del parametro h (al suolo fino a 3 m da terra)

Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a 3 μT, si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale sul piano di calpestio, pari a 4,02 μT, superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque ben inferiore al limite di esposizione di 10 μT.

Risulta quindi necessario individuare una fascia di rispetto, definita, secondo la normativa citata, come la distanza sul piano orizzontale dalla proiezione verticale della sorgente alla quale il campo elettromagnetico risulta essere inferiore all'obiettivo di qualità pari a 3 μT.

Utilizzando tali valori per il calcolo, la DPA risulta essere pari a circa 0,6 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a 2,95 μT.

Pertanto, relativamente all'elettrodotto costituito da 1 terna (caso 1), viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 1,2 m, centrata sull'asse del cavidotto (DPA pari a 0,6 m), al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.

Considerando che all'interno della suddetta DPA non vi sono recettori sensibili (aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici) e non si prevede la presenza continuativa superiore alle 4h giornaliere (la DPA si trova completamente entro i limiti della sede stradale), si può ragionevolmente confermare il rispetto dei limiti normativi in merito all'esposizione al campo elettromagnetico.

Si ricorda inoltre che le condizioni nelle quali è stato effettuato il calcolo sono peggiorative rispetto alla reale configurazione del sistema.

Infatti, sia l'obiettivo di qualità di 3 μT che il limite di attenzione di 10 μT fanno riferimento al valore della mediana nelle 24 ore di esercizio. Tutti i dimensionamenti, invece, sono stati eseguiti tenendo conto delle potenze nominali degli aerogeneratori, ipotizzando il funzionamento a piena potenza.

Data la natura non programmabile della fonte eolica, e la sua aleatorietà nel tempo, i valori reali saranno certamente inferiori a quelli utilizzati nei calcoli, con una significativa diminuzione del valore dei campi elettromagnetici generati, ben al di sotto dei valori normativi precedentemente illustrati.

5.4.2. *CASO 2 – N°2 TERNE DI CAVI UNIPOLARI INTERRATI*

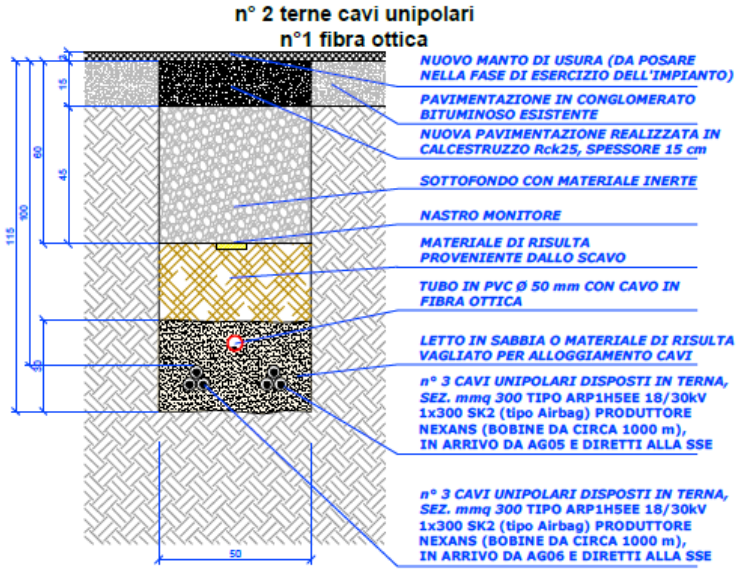


Figura 29 – Esempio di doppia terna di cavi interrati posati a trifoglio

Per tener conto della presenza di due o più terne nella stessa sezione di scavo si è fatto ricorso ad un modello matematico che tenesse conto del campo magnetico generato da ogni singola terna.

Il modello costituito, secondo quanto previsto e suggerito dalla norma CEI 211-4 cap. 4.3, tiene conto delle componenti spaziali dell'induzione magnetica, calcolate come somma del contributo delle correnti nei diversi conduttori.

$$B_x = \frac{\mu_o}{2\pi}\sum_i I_i\left[\frac{x_i - x}{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}\right] \qquad B_y = \frac{\mu_o}{2\pi}\sum_i I_i\left[\frac{y_i - y}{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}\right]$$

È possibile a questo punto effettuare una semplificazione del modello, che consideri il contributo non del singolo conduttore ma dell'intera terna, della quale sono note le caratteristiche geometriche.

Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati; pertanto, come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3, per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato.

$$B = 0{,}1 \times \sqrt{6} \times \frac{S \times I}{R^2}$$

dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale, S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I [A].

Considerata la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato di cui prima, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto.

Considerata quindi la disposizione spaziale delle due terne, e fissando l'asse centrale del sistema come riportato in figura, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

$$B = 0{,}1 \times \sqrt{6} \times \frac{S_1 \times I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0{,}1 \times \sqrt{6} \times \frac{S_2 \times I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2}$$

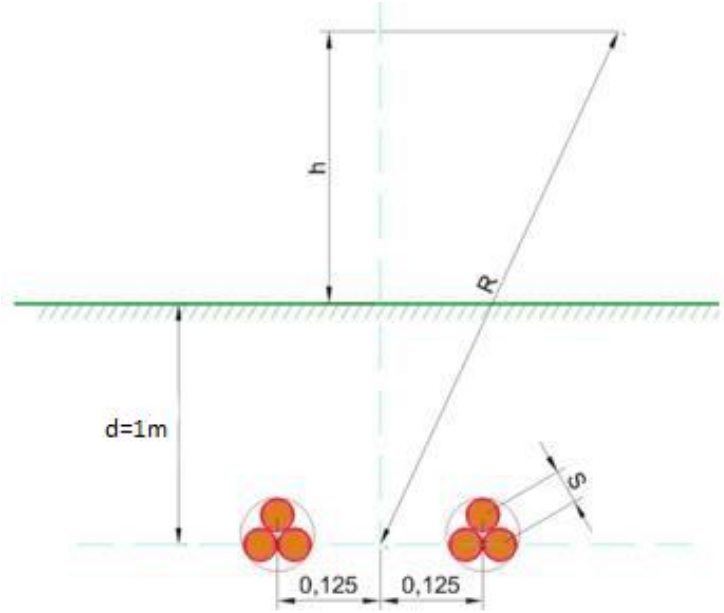


Figura 30 - Schema grafico per calcolo DPA due terne

dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle due terne di cavi), Si [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti della terna iesima, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a Ii [A] (specifica della terna i-esima).

Per quanto riguarda la corrente Ii, il DPCM 8/07/2003 all'art.6 indica di fare riferimento alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, cosi come definita dalla norma CEI 11- 60, la quale regolamenta la portata al limite termico delle linee aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV. Trattandosi nel caso specifico invece di linea interrata in media tensione (30 kV), e non potendosi fare riferimento a quanto previsto dal decreto, si è fatto riferimento alla portata in corrente in regime permanente, cosi come definita dalla norma CEI 11-17.

Sono stati quindi calcolate, fissando vari valori di h, le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo.

Le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli sono le seguenti:

- Profondità di posa: 1m
- Distanza terna 1 dall'asse y di calcolo: -0,125m
- Distanza terna 2 dall'asse y di calcolo: +0,125m
- Formazione terna: 3-1x300mm^2
- Portata nominale della singola terna: 486A
- Corrente nominale della terna Ramo 1: 330A
- Corrente nominale della terna Ramo 2: 247A

Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione e riportata nel catalogo del fornitore.

Il grafico che segue mostra la distribuzione dei valori di induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse centrale. Le varie curve mostrano il valore dell'intensità del campo al variare del parametro h (al suolo fino a 3 m da terra), ossia la distribuzione del campo su piani fuori terra paralleli al suolo.

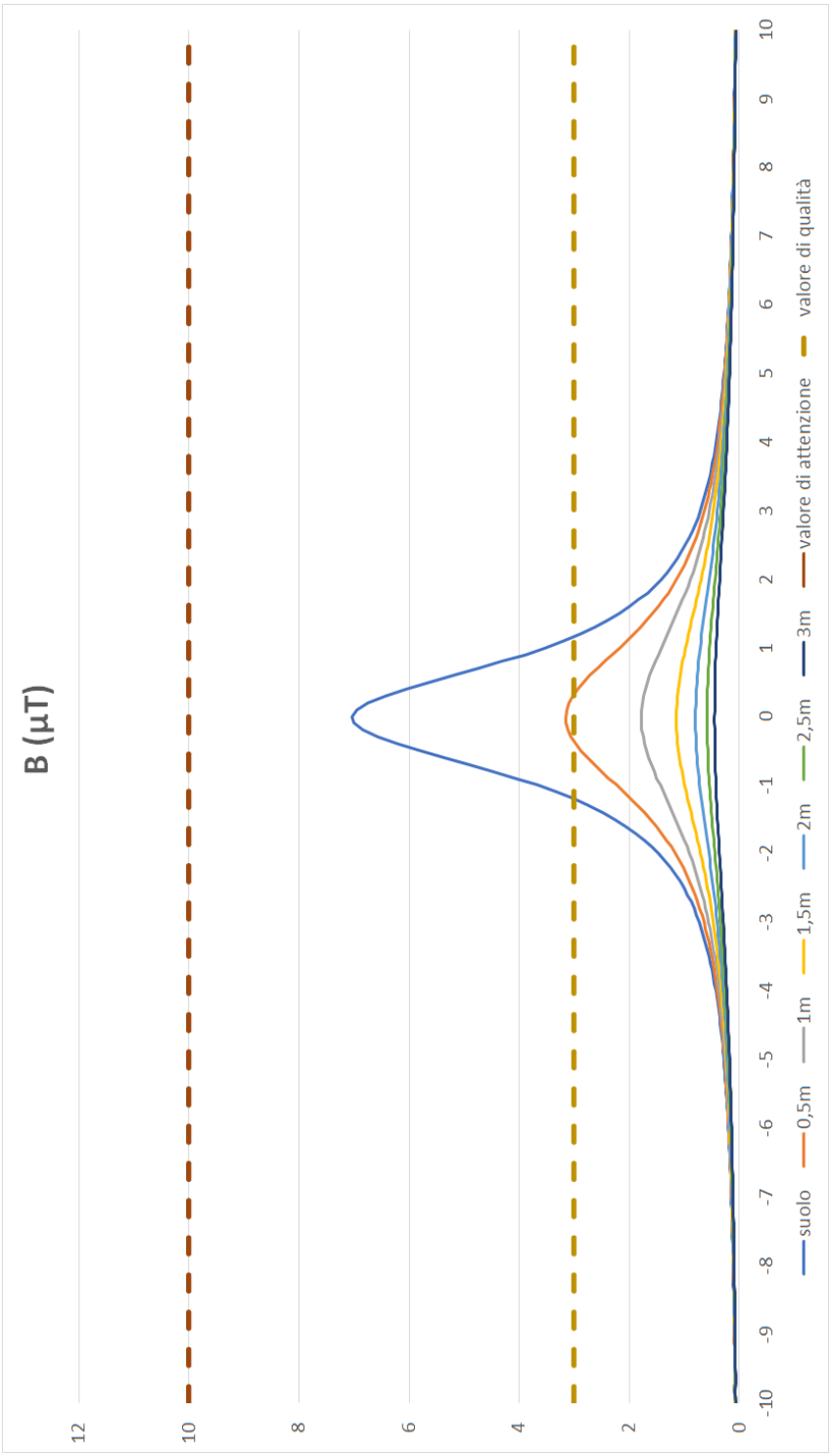


Figura 31 – Grafico dell'intensità del campo al variare del parametro h (al suolo fino a 3 m da terra)

Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a 3 μT, si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale sul piano di calpestio, pari a 7,04 μT, superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque ben inferiore al limite di esposizione di 10 μT.

Risulta quindi necessario individuare una fascia di rispetto, definita, secondo la normativa citata, come la distanza sul piano orizzontale dalla proiezione verticale della sorgente alla quale il campo elettromagnetico risulta essere inferiore all'obiettivo di qualità pari a 3 μT.

Utilizzando tali valori per il calcolo, la DPA risulta essere pari a circa 1,25 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a 2,87 μT.

Pertanto, relativamente all'elettrodotto costituito da 2 terne (caso 2), viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 2,5 m, centrata sull'asse del cavidotto (DPA pari a 1,25 m), al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.

Considerando che all'interno della suddetta DPA non vi sono recettori sensibili (aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici) e non si prevede la presenza continuativa superiore alle 4h giornaliere (la DPA si trova completamente entro i limiti della sede stradale), si può ragionevolmente confermare il rispetto dei limiti normativi in merito all'esposizione al campo elettromagnetico.

Si ricorda inoltre che le condizioni nelle quali è stato effettuato il calcolo sono peggiorative rispetto alla reale configurazione del sistema.

Infatti, sia l'obiettivo di qualità di 3 μT che il limite di attenzione di 10 μT fanno riferimento al valore della mediana nelle 24 ore di esercizio. Tutti i dimensionamenti, invece, sono stati eseguiti tenendo conto delle potenze nominali degli aerogeneratori, ipotizzando il funzionamento a piena potenza.

Data la natura non programmabile della fonte eolica, e la sua aleatorietà nel tempo, i valori reali saranno certamente inferiori a quelli utilizzati nei calcoli, con una significativa diminuzione del valore dei campi elettromagnetici generati, ben al di sotto dei valori normativi precedentemente illustrati.

6. ELABORATI COLLEGATI

- *4.5_Planimetria linea elettrica su CTR- pianta e sezioni*
- *4.6_Planimetria linea elettrica su catastale – tratto 1*
- *4.7_Planimetria linea elettrica su catastale – tratto 2*
- *4.20_Sottostazione Elettrica – Inquadramento e opere*

7. ALLEGATO 1

Schema elettrico unifilare

SCHEMA ELETTRICO UNIFILARE

