



REGIONE EMILIA ROMAGNA
PROVINCIA DI PARMA
COMUNE DI BORGO VAL DI TARO



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE
DEL PARCO EOLICO
"MONTE CROCE DI FERRO"

Potenza complessiva 30 MW

PROGETTO DEFINITIVO
DELL'IMPIANTO, DELLE OPERE CONNESSE E DELLE
INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI

PIUC-R.3

Relazione Tecnica Dimensionamento
linee elettriche max 36 kV e 132 kV
Stazione Utente

COMMITTENTE

**BORGOTARO
WIND**

Piazza del Grano 3
39100 Bolzano, Italia

GRUPPO DI LAVORO



GIUSEPPE
STEFANINI
INGEGNERE
VIA BERGONZI, 4 PARMA (PR)
TEL. 0521959199
E-MAIL: GIUSEPPE.STEFANINI@LIBERO.IT
PEC: GIUSEPPE.STEFANINI2@INGPEC.EU



MORI MANTOVANI ASSOCIATI srl
via Strasburgo 18A - 43123 PARMA PR
telefono 0521239944
www.morimantovani.it
mail@morimantovani.it



GEOTECH S.r.l.
SOCIETA' DI INGEGNERIA
Via T. Nani, 7 Morbegno (SO)
Tel. +39 0342610774
E-mail: info@geotech-srl.it
Sito: www.geotech-srl.it

SOCIETA' CERTIFICATA



SCALA:

-

FIRME



| Rev. | Descrizione | Redatto | Verificato | Approvato | Data |
|------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|------------|
| 00 | Prima emissione | Stefanini G. Ricciardini P. | Stefanini G. Ricciardini P. | Piovatucci A. | Marzo 2022 |
| | | | | | |



REGIONE EMILIA ROMAGNA

Comune di Borgo Val di Taro (Parma)

BORGOTAROWIND

Borgotaro Wind Srl

Piazza del Grano 3, Bolzano, P.IVA e Cod. Fisc. 03127880213

**PROGETTO DEL
PARCO EOLICO “MONTE CROCE DI FERRO”,
DELLE OPERE CONNESSE E
DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI**

PIANO TECNICO DELLE OPERE

**RELAZIONE TECNICA DIMENSIONAMENTO LINEE ELETTRICHE MAX
36 kV E 132 kV**



INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | PREMESSA | 3 |
| 2 | DESCRIZIONE GENERALE DEL PARCO E DELL'IMPIANTO | 4 |
| 2.1 | DESCRIZIONE DEL PROGETTO GENERALE | 4 |
| 2.2 | RELAZIONE SPECIFICA DI IMPIANTO | 7 |
| 3 | CARATTERISTICHE LINEE MT | 9 |
| 3.1 | CARATTERISTICHE CAVI..... | 9 |
| 3.1.1 | Costruzione | 9 |
| 3.1.2 | Caratteristiche funzionali | 9 |
| 3.1.3 | Caratteristiche geometriche | 9 |
| 3.1.4 | Condizioni di posa per la scelta del cavo | 10 |
| 3.1.5 | Caratteristiche elettriche..... | 10 |
| 3.1.6 | Corrente d'impiego | 10 |
| 4 | DIMENSIONAMENTO SOTTOCAMPO 1 (Torri 6 e 7) – 12,2 MW | 11 |
| 4.1 | COLLEGAMENTO – Da Torre 6 a Torre 7 | 11 |
| 4.2 | COLLEGAMENTO – Da Torre 7 a SSE Utente | 11 |
| 5 | DIMENSIONAMENTO SOTTOCAMPO 2 (Torri 4 e 5) – 12,2MW | 13 |
| 5.1 | COLLEGAMENTO – Da Torre 5 a Torre 4..... | 13 |
| 5.2 | COLLEGAMENTO – Da Torre 4 a SSE Utente | 13 |
| 6 | DIMENSIONAMENTO SOTTOCAMPO 3 (Torri 1, 2 e 3) – 18,3 MW | 15 |
| 6.1 | COLLEGAMENTO – Da Torre 2 a Torre 3..... | 15 |
| 6.2 | COLLEGAMENTO – Da Torre 3 a Torre 1 | 15 |
| 6.3 | COLLEGAMENTO – Da Torre 1 a SSE Utente | 16 |
| 7 | VERIFICA CADUTA DI TENSIONE..... | 18 |



1 PREMESSA

Il presente Piano Tecnico delle Opere, redatto dalla società di ingegneria GEOTECH S.r.l. con sede in Via Nani 7 a Morbegno (SO) e dall'Ing. Giuseppe Stefanini con sede in Via Bergonzi 4 a Parma (PR), è relativo al dimensionamento del cavo di media tensione a 30 kV di collegamento tra il parco eolico “Monte Croce di Ferro” e la Stazione Utente “SU Borgotaro Wind”, localizzati in comune di Borgo Val di Taro (PR). All'interno di questo progetto di connessione, con elaborati separati, rientrano anche le seguenti progettazioni:

- La futura Stazione Elettrica di smistamento 132 kV “SE Borgotaro”;
- Il raccordo aereo a 132 kV tra la linea esistente “Berceto – Borgotaro RT” e la futura “SE Borgotaro”;
- Il raccordo aereo a 132 kV tra la linea esistente “Pontremoli RT – Borgotaro RT” e la futura “SE Borgotaro”;
- I raccordi aereo – cavo 132 kV tra la Cabina “Borgotaro RT” e la futura “SE Borgotaro”.

Tutte le opere sono ubicate in Comune di Borgo Val di Taro, Provincia di Parma, in Regione Emilia Romagna.

La futura “SE Borgotaro” e relativi raccordi, risultano essere opere RTN (Rete di Trasmissione Nazionale) in ossequio alla STMG inviata da Terna per l'impianto eolico da 30 MW denominato “Parco Eolico Monte Croce di Ferro” in progetto da parte della società Borgotaro Wind srl (codice pratica 202001646).

La STMG prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 132 kV sulla sezione 132 kV del futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) RTN 132 kV “Borgotaro RT” previa realizzazione dell'intervento 341-P previsto dal Piano di Sviluppo Terna.

In dettaglio verranno descritte le caratteristiche elettriche e geometriche dei cavi di collegamento, le modalità di posa di quest'ultimi oltre al loro dimensionamento in relazione alle caratteristiche d'impiego.



2 DESCRIZIONE GENERALE DEL PARCO E DELL'IMPIANTO

2.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO GENERALE

Il progetto generale descritto nella presente relazione nasce dalla volontà della Società Proponente di realizzare un parco eolico per la produzione di energia elettrica denominato “Monte Croce di Ferro”, da costruire lungo il crinale omonimo posto nel territorio del comune di Borgo Val di Taro (PR).

L'impianto, proposto dalla società Borgotaro Wind S.r.l., sarà costituito da 7 aerogeneratori della potenza massima di 6,1 MW ciascuno, limitata a 4,28 MW, per una potenza complessiva di impianto di 30,0 MW. Da tali aerogeneratori, posti lungo una fascia di circa 2,3 km e compresi in un intervallo altimetrico di 135 m e collegati tra loro a gruppi in numero variabile da due a tre, l'energia elettrica prodotta verrà convogliata tramite un cavidotto interrato al punto di raccolta e consegna (sottostazione elettrica di trasformazione MT/AT) e successivamente alla futura stazione elettrica Terna, prevista sempre nel territorio comunale di Borgo Val di Taro.

Il sito di intervento si colloca in prossimità del confine con la Regione Toscana, coincidente in quella zona con il dislivello delle acque, e si sviluppa lungo il pendio Emiliano distanziandosi dalla linea di massima quota da un minimo di 90 m ad un massimo di 620 m.

Il progetto è il risultato di una serie di studi che hanno preso in considerazione numerosi fattori, quali l'anemologia, l'orografia e l'accessibilità del sito, con lo scopo di massimizzare il rendimento dei singoli aerogeneratori e dell'impianto nel suo complesso, attraverso l'utilizzo di software appositi, nel rispetto della normativa vigente.

Il tipo di aerogeneratore previsto per l'impianto in oggetto (aerogeneratore di progetto) è un aerogeneratore ad asse orizzontale con rotore tripala e una potenza massima di 6,1 MW, limitata a 4,28 MW, le cui caratteristiche principali sono di seguito riportate:

- rotore tripala a passo variabile, di diametro massimo pari a 158 m, posto sopravvento alla torre di sostegno, costituito da 3 pale generalmente in resina epossidica rinforzata con fibra di vetro e da mozzo rigido in acciaio;
- navicella in carpenteria metallica con carenatura in vetroresina e lamiera, in cui sono collocati il generatore elettrico, il moltiplicatore di giri, il trasformatore BT/MT e le apparecchiature idrauliche ed elettriche di comando e controllo;
- torre di sostegno tubolare troncoconica in acciaio, avente altezza fino all'asse del rotore pari a massimi 134 m;
- altezza complessiva massima fuori terra dell'aerogeneratore pari a 200,0 m;
- diametro massimo alla base del sostegno tubolare: 4,95 m;
- area spazzata massima: 19.607 mq.

La velocità del vento di avviamento (o velocità di cut-in) è la minima velocità alla quale la macchina inizia a ruotare ed è pari a 3,0 m/sec; una volta che la velocità del vento supera il valore corrispondente alla velocità di avviamento la potenza cresce al crescere della velocità del vento. La potenza cresce fino alla velocità nominale e poi si mantiene costante fino alla velocità di fuori servizio o di cut-out (25 m/sec); per ragioni di sicurezza, a partire dalla velocità nominale, la turbina si regola automaticamente e l'aerogeneratore fornirà la potenza nominale servendosi dei suoi meccanismi di controllo.

Le opere civili previste per la realizzazione del campo eolico sono di seguito elencate:

- viabilità interna: è costituita da una serie di strade e di piste di accesso, in parte esistenti e in parte di nuova realizzazione, che consentono di raggiungere agevolmente tutte le postazioni in cui verranno collocati gli aerogeneratori. La progettazione stradale è stata svolta tenendo conto del fatto che la movimentazione dei pezzi componenti



l'aerogeneratore e delle gru necessarie per il loro montaggio richiede una geometria stradale avente le seguenti caratteristiche minime:

- larghezza netta della pista 4,50 m
- raggio minimo di curvatura 24,00 m
- allargamento della pista in corrispondenza delle curve fino a 13 m totali
- pendenza longitudinale massima 21%
- raggio di curvatura minimo altimetrico 200,00 m

I rilevati stradali saranno realizzati utilizzando, per quanto possibile, il materiale presente in sito mediante stabilizzazione con calce per i rilevati e realizzazione di terre armate per il sostegno degli stessi. Dopo l'esecuzione della necessaria compattazione, verrà steso uno strato di geotessile, quindi verrà realizzata una fondazione in misto granulare dello spessore di 30 cm e infine uno strato superficiale di massiciata tipo A1-b D<30mm UNI 10006 dello spessore di 10 cm.

- piazzole provvisorie: sono state dimensionate per consentire il montaggio a terra del braccio della gru principale a mezzo di altre due gru di supporto. Una volta completate le fasi di montaggio degli aerogeneratori si provvederà a ripristinare le parti delle piazzole provvisorie non più necessarie ai fini dell'accesso alle zone più prossime all'aerogeneratore, che andranno a costituire le piazzole definitive. In alcuni casi il ripristino comporterà la rimozione delle opere realizzate con la reintroduzione dello stato ante-operam, in altri casi il ripristino prevederà il ricoprimento delle parti delle piazzole provvisorie non più necessarie con relativo rinverdimento. Anche per la realizzazione delle parti in rilevato delle piazzole provvisorie si privilegerà l'impiego di terreni provenienti dagli scavi stabilizzata con la calce e sostenuta con la per la realizzazione di terre armate. La pavimentazione delle piazzole provvisorie sarà realizzata con le stesse modalità previste per le strade costituenti la viabilità.
- piazzole definitive: saranno ricavate dalle piazzole provvisorie ripristinandone la parte non più necessaria in fase di esercizio; anche la pavimentazione delle piazzole provvisorie sarà costituita da uno strato di misto stabilizzato dello spessore minimo di 40 cm.
- opere di sostegno: la particolare morfologia del terreno, i vincoli imposti alla geometria stradale della viabilità di collegamento, l'opportunità di ridurre le dimensioni del sedime di occupazione delle opere di progetto rendono necessaria la realizzazione di significative opere d'arte, per lo più costituite da terre armate che assolveranno sia alla funzione di sostegno del rilevato stradale e dei rilevati costituenti le piazzole sia a quelle di stabilizzazione del fronte scavo nei tratti di strada in trincea e nelle parti di piazzola ricavate in scavo. Date le caratteristiche del terreno movimentato, che interesserà principalmente la coltre superficiale di natura argilloso-limosa, il materiale necessario per la realizzazione delle terre armate sarà prelevato direttamente in sito. Ove le condizioni lo rendono necessario, per adeguare le strade comunali esistenti, verranno realizzati dei By-Pass e allargamenti a monte e a valle della sede viaria, intervenendo anche con soluzioni con paratie in micropali tirantate.
- opere di attraversamento e deviazione dei corsi d'acqua minori: la realizzazione della viabilità interna e delle piazzole presenterà alcune interferenze con la rete idrografica di 2° ordine (rii) e in casi più frequenti con quelle di 3° ordine (impluvi) della zona di intervento. Si prevede pertanto di realizzare un sistema di fossi di guardia e di tombini in modo da garantire una corretta regimazione delle acque intercettate dalle nuove opere ed il loro



corretto convogliamento nella rete idrografica esistente. Nei punti di intersezione delle nuove opere, i corsi d'acqua intercettati risultano caratterizzati da bacini di estensione limitata in quanto l'area d'intervento risulta situata in prossimità di una zona di crinale.

- fondazioni degli aerogeneratori: le torri degli aerogeneratori saranno fissate ad un elemento circolare di base in acciaio, a sua volta annegato all'interno di una fondazione tronco-piramidale in conglomerato cementizio armato, progettata per resistere al peso proprio della struttura e alle sollecitazioni cinematiche provocate dai sismi e dal vento. Date le caratteristiche del terreno risultanti dalle indagini geologiche e geotecniche condotte sulle singole postazioni degli aerogeneratori, la fondazione sarà del tipo su pali di grande diametro in calcestruzzo armato. La dimensione del plinto sarà circolare con diametro di 24 m con n. 16 pali trivellati da 100 cm e lunghezza variabile da 15 a 27 m. L'altezza del plinto sarà variabile da 1,50 m a 4,35 m.
- elettrodotti interrati: al di sotto della viabilità interna al parco correranno i cavi di media tensione che trasmetteranno l'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori alla sottostazione MT/AT e quindi alla rete elettrica nazionale. Lo scavo per l'alloggiamento del cavidotto, della profondità non inferiore a 1,30 m, sarà di larghezza variabile a seconda del numero di terne contenute; queste verranno collocate su uno strato di sabbia dello spessore di 10 cm, ricoperte con un ulteriore strato di sabbia di 30 cm, all'interno del quale troveranno posto anche il cavo in rame per la messa a terra, il cavo di comunicazione in fibra ottica per il sistema di controllo del parco (all'interno di un tubo in PVC del diametro di 50 mm) e uno o più elementi di resina a protezione dei cavi. La restante porzione dello scavo sarà riempita con materiale arido, all'interno del quale sarà collocato il nastro segnalatore. Il percorso del cavidotto verso la sottostazione elettrica di trasformazione MT/AT seguirà, nel tratto che scende verso l'abitato di Borgo Val di Taro, il tracciato di vecchie strade interpoderali e comunali con un minimo impatto sulla viabilità ordinaria e senza interferenze con le zone boschive.
- sottostazione elettrica di trasformazione MT/AT 30/132 kV: il collegamento alla RTN verrà realizzato mediante punto di raccolta ed elevazione 30/132 kV collegato in antenna a 132 kV alla futura stazione di smistamento a 132 kV della RTN nel Comune di Borgo Val di Taro (PR) da inserire in entra-esce sulle linee a 132 kV “Pontremoli RT – Borgotaro RT” e “Borgotaro RT – Berceto”. Progettualmente è previsto anche un collegamento provvisorio alla RTN: dal punto di vista elettrico la connessione avverrà tramite un cavo interrato a 132 kV in partenza dalla futura sottostazione MT/AT che, arrivato “al punto di consegna”, salirà in aereo tramite porta terminale aereo – cavo. Da qui la connessione, passando per il sezionatore, salirà con una calata dei conduttori aerei della linea a 132 kV “Pontremoli RT – Borgotaro RT” che in quel tratto ha le terne in parallelo. Tale sistema di inserimento su una linea esistente viene definito “T rigido”. La nuova sottostazione elettrica di trasformazione verrà realizzata in un'area attualmente agricola posta all'esterno dell'abitato di Borgo Val di Taro e lungo il tratto della strada comunale ex S.S. 523; il profilo altimetrico del terreno porta a realizzare la superficie della nuova sottostazione elettrica di trasformazione con paratie di contenimento in pali di grande diametro e tiranti sub orizzontali. La disposizione sarà comunque in andamento con la superficie esistente e mitigata con l'inserimento di essenze arboree e sistemazioni a verde. L'accesso alla futura sottostazione elettrica di trasformazione, condiviso con quella della futura stazione elettrica di smistamento RTN, avverrà direttamente dalla strada comunale utilizzando un percorso interno esistente che sarà opportunamente adeguato.



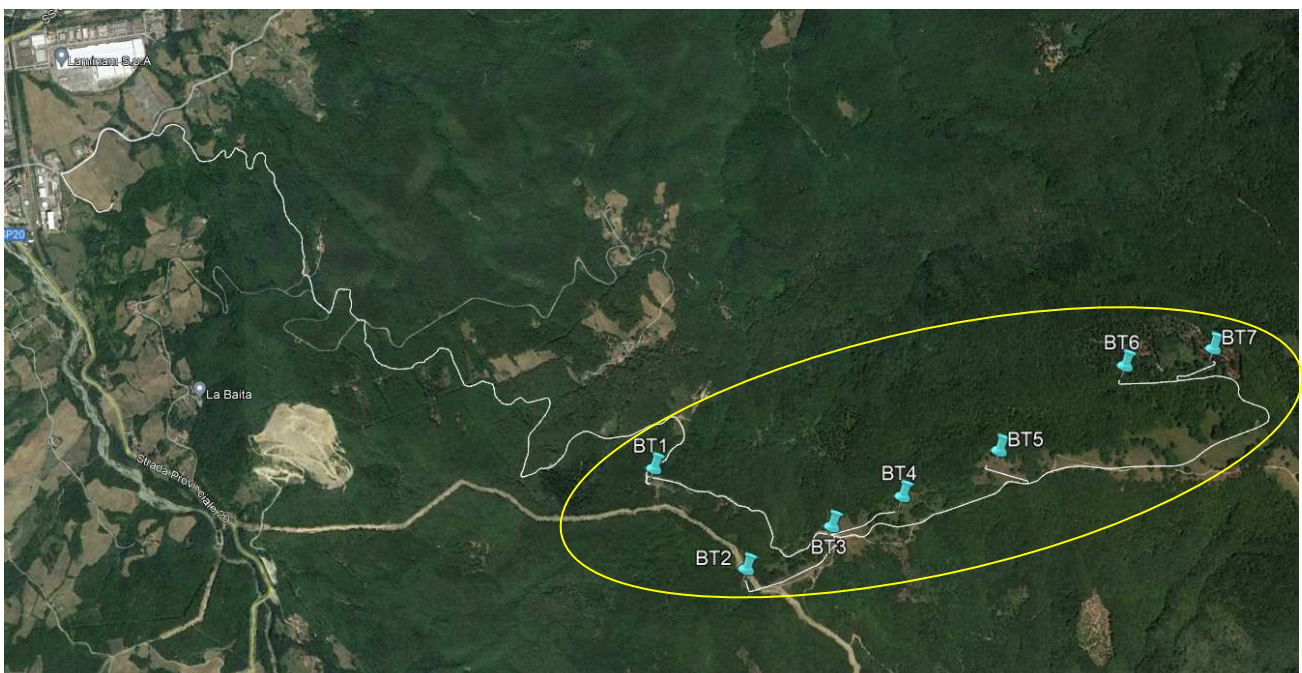
- futura stazione di smistamento RTN a 132 kV: è prevista nel Comune di Borgo Val di Taro (PR) da inserire in entra-esce sulle linee a 132 kV “Pontremoli RT – Borgotaro RT” e “Borgotaro RT – Berceto”; questa futura stazione di smistamento provvederà così ad alimentare l’esistente cabina RFI di Borgotaro. La futura stazione Terna verrà realizzata nella stessa zona della sottostazione elettrica di trasformazione e ad essa adiacente, ma con dimensioni maggiori connesse con il posizionamento delle apparecchiature elettromeccaniche e il collegamento alla rete elettrica esistente. A monte verrà realizzata una paratia in pali e tiranti, in analogia a quelli previsti per la sottostazione elettrica di trasformazione, e a valle il terreno verrà raccordato con terre armate e scarpate stabili in modo da adeguarsi alla morfologia esistente. Verranno previste anche in questo caso mitigazioni ambientali con l’inserimento di essenze arboree e sistemazioni a verde.

2.2 RELAZIONE SPECIFICA DI IMPIANTO

La presente relazione riporta, nello specifico, il dimensionamento delle linee in media tensione a 30kV di collegamento tra il parco eolico “Monte Croce di Ferro” e la futura Stazione Utente “SU Borgotaro Wind”; tutte le opere sono ubicate nel comune di Borgo Val di Taro (PR).

In dettaglio verranno descritte le caratteristiche elettriche e geometriche dei cavi di collegamento, le modalità di posa di quest’ultimi oltre al loro dimensionamento in relazione alle caratteristiche d’impiego.

Di seguito si riporta un estratto cartografico con il percorso del cavo MT che partendo dal parco eolico arriva fino alla “SU Borgotaro Wind”. Per un maggior dettaglio si rimanda alle tavole PA-TAV.12.1; PA-TAV.12.2; PA-TAV.12.3; PA-TAV.12.4; PA-TAV. 12.5 e PA-TAV.12.6.



Nel tratto iniziale il cavidotto verrà posato al di sotto della viabilità interna al parco; lo scavo per l'alloggiamento del cavidotto, della profondità non inferiore a 1,30 m, sarà di larghezza variabile a seconda del numero di terne contenute; queste verranno collocate su uno strato di sabbia dello spessore di 10 cm, ricoperte con un ulteriore strato di sabbia di 30 cm, all'interno del quale troveranno posto anche il cavo in rame per la messa a terra, il cavo di comunicazione in fibra ottica per il sistema di controllo del parco (all'interno di un tubo in PVC del diametro di 50 mm) e uno o più elementi di resina a protezione dei cavi. La restante porzione dello scavo sarà riempita con



materiale arido, all'interno del quale sarà collocato il nastro segnalatore. Il percorso del cavidotto verso la sottostazione elettrica di trasformazione MT/AT seguirà, nel tratto che scende verso l'abitato di Borgo Val di Taro, il tracciato di vecchie strade interpoderali e comunali con un minimo impatto sulla viabilità ordinaria e senza interferenze con le zone boschive. Nei pressi della sottostazione occuperà la carreggiata della strada comunale (ex SS 523) e poi il nuovo percorso di accesso alla citata sottostazione. Nei particolari di cui alle tavole sopra descritte vengono esplicitate le sovrapposizioni e i parallelismi con altre condotte, cavidotti o corpi idrici.

In particolare si evidenziano i seguenti attraversamenti e parallelismi che risultano significativi dal punto di vista tecnico e funzionale a partire dalle piazzole del Parco fino alla sottostazione Utente. Si fa riferimento agli elaborati specifici relativi agli attraversamenti e parallelismi (PA-Tav. 12.1-6)

- Attraversamento del metanodotto in corrispondenza della piazzola BT2: in questo caso la condotta del gas naturale ha dimensioni e pressioni molto elevate trattandosi della dorsale La Spezia - Cortemaggiore la profondità di posa è superiore a 2.40 ml. per cui è ipotizzabile sia lo scavo con tecnologia TOC (Trivellazione Orizzontale Controllata) oppure la posa in sovrapposizione nel rispetto delle distanze e con utilizzo di polifora in polietilene in bauletto in calcestruzzo.
- Attraversamento di piccoli corsi d'acqua aventi una profondità del piano scorrimento limitata e presenti nel tratto lungo le strade interpoderali e comunali sterrate; in questo caso la posa avverrà attraverso lo scavo in sezione e l'inserimento di condotte di alloggiamento in pvc corrugato a tenuta a sua volta inserito in un bauletto di calcestruzzo.
- Parallelismo con una condotta di acquedotto in ghisa lungo il tratto della strada comunale sterrata di case Vighini; in questo caso il cavidotto affiancherà la condotta in ghisa dell'acquedotto nel rispetto delle distanze di sicurezza e ad una quota inferiore. Preliminarmente verrà effettuato un rilievo con metal detector per individuare posizione planimetrica della condotta metallica e la sua quota.
- Attraversamenti di corsi d'acqua intubati posti in intersezione con strade comunali bitumate lungo il tratto della ex S.S. 523 del Passo Cento Croci; si tratta della sovrapposizione del cavidotto lungo la strada comunale con due attraversamenti di corsi d'acqua della strada stessa costituiti da cunicoli in muratura voltata con una sezione di circa 0.80x1.20 ml di altezza. Nel caso vi siano le dimensioni geometriche si procederà in sovrapposizione proteggendo il cavidotto con polifora in pvc e bauletto in calcestruzzo; in caso contrario si utilizzerà la tecnica TOC.
- Parallelismo lungo la strada comunale (Ex S.S. 523) con il cavidotto interrato di AT che costituirà la seconda linea di alimentazione alla Stazione RFI di Borgo Val di Taro (PR): In questo caso i due cavidotti occuperanno i quarti delle due corsie opposte della strada riducendo ogni interferenza.
- Attraversamento con la linea interrata di AT nel punto di uscita dalla futura stazione Terna e di accesso alla sede stradale: in questo caso l'attraversamento verrà realizzato in una fase successiva contestuale alla nuova Stazione Elettrica Terna e quindi con tecnologia TOC in modo da ridurre ogni possibile interferenza con il cavidotto MT del Parco, che sarà già in esercizio.
- Attraversamento con il metanodotto “Industrie Fincuoghi” che interseca l'area di sedime delle due stazioni elettrica e utente: in questo caso gli attraversamenti saranno due lungo la strada comunale (ex SS 523) e in quella di accesso alla sottostazione utente; considerando che il metanodotto ha in questo tratto una quota di posa non superiore a 2.00 ml si renderà necessario utilizzare la tecnologia TOC per garantire le idonee distanze reciproche.



3 CARATTERISTICHE LINEE MT

3.1 CARATTERISTICHE CAVI

I cavi su cui vengono basate le successive valutazioni saranno cavi unipolari di tipo ARE4H5E della società Prysmian, con anima a corda rotonda compatta di alluminio, isolante con mescola in polietilene (XLPE), schermo con nastri di alluminio avvolto e guaina in polietilene colore rosso e tensione U_0/U pari a 18/30 kV.

3.1.1 Costruzione

- Conduttore: corda rotonda, rigida, compatta di alluminio – Cl. 2 (IEC 60228)
- Semiconduttore interno: mescola estrusa
- Isolamento: mescola estrusa di polietilene reticolato (Qualità DXI8)
- Semiconduttore esterno: mescola estrusa
- Barriera longitudinale: nastro semiconduttivo igroespandente
- Schermo: nastro di alluminio avvolto a cilindro (R_{max} 3Ω/Km)
- Guaina: Polietilene colore rosso (Qualità DMP2)

3.1.2 Caratteristiche funzionali

- Tensione nominale U_0/U : 18/30 kV
- Temperatura max. di esercizio del conduttore: 90°C
- Temperatura max. di cortocircuito del conduttore: 250°C (max 5s)
- Temperatura max. di cortocircuito dello schermo: 150°C
- Temperatura min. di posa: -25 C
- Raggio min. di curvatura durante l'installazione: 550 mm per la sezione 240 mm²
- Raggio min. di curvatura durante l'installazione: 650 mm per la sezione 400 mm²
- Raggio min. di curvatura durante l'installazione: 760 mm per la sezione 630 mm²

3.1.3 Caratteristiche geometriche

Sezione 240 mm²

- | | |
|--------------------------------|-----------|
| - Diametro del conduttore | 18,2 mm |
| - Diametro sull'isolante | 31,5 mm |
| - Diametro esterno nominale | 41 mm |
| - Peso approssimativo del cavo | 1,48 kg/m |

Sezione 400 mm²

- | | |
|--------------------------------|-----------|
| - Diametro del conduttore | 23,8 mm |
| - Diametro sull'isolante | 37,9 mm |
| - Diametro esterno nominale | 48 mm |
| - Peso approssimativo del cavo | 2,13 kg/m |

Sezione 630 mm²

- | | |
|-----------------------------|---------|
| - Diametro del conduttore | 30,5 mm |
| - Diametro sull'isolante | 45,6 mm |
| - Diametro esterno nominale | 56 mm |



- Peso approssimativo del cavo 3,13 kg/m

3.1.4 Condizioni di posa per la scelta del cavo

Le condizioni generiche di posa dei cavi potranno essere le seguenti:

- In aria libera;
- In cunicolo in cls;
- Direttamente interrato;

Per la scelta della sezione si fa riferimento alle sezioni indicate dal cliente che sono 240 mm² (tratto di cavo tra una turbina e l'altra), 400 mm² (collegamento tra 2 turbine e sottostazione elettrica), 630 mm² (collegamento tra 3 turbine e sottostazione elettrica) considerando:

- Presenza di più circuiti in affiancamento (Max tre come da planimetria di progetto);
- Spaziatura tra circuiti affiancati 200mm;
- Temperatura del suolo 20°C;
- Profondità di posa 1m;
- Resistività termica del terreno 2 K*m/W (ipotizzata).

3.1.5 Caratteristiche elettriche

Di seguito si riporta la portata dei cavi sopra elencati nel caso di posa interrata a 1m di profondità, temperatura del suolo di 20°C e resistività termica del terreno di 2°Km/W.

Sezione 240 mm²

- Portata interrata 327 A

Sezione 400 mm²

- Portata interrata 422 A

Sezione 630 mm²

- Portata interrata 545 A

3.1.6 Corrente d'impiego

Per il dimensionamento della portata si considera la corrente di massimo dimensionamento corrispondente alla max potenza generata da ciascuna torre eolica a $\cos\phi=0,95$

$$I_n = P_n / (\sqrt{3} * U_n) = 6,1 * 10^6 / (\sqrt{3} * 30000 * 0,95) = \mathbf{123A}$$



4 DIMENSIONAMENTO SOTTOCAMPO 1 (Torri 6 e 7) – 12,2 MW

4.1 COLLEGAMENTO – Da Torre 6 a Torre 7

Le condizioni generiche di posa dei cavi sono le seguenti (Oltre a quanto indicato in 3.1.4):

- **Direttamente interrato;**
- **Numero circuiti affiancati: 2**

Definizione portata nominale del cavo:

$I_b = 123A$

Cavo unipolare ARE4H5E 240mm²

I_z da tabella cavo = **327A**

$K_4 = 0,83$ - fattore di correzione per gruppi di circuiti formati da cavi unipolari in formazione trifase, direttamente interrati (riferimento IEC 60502-2-2014, tabella B.19).

$I_z' = 327 \times 0,83 = 271 A$

$I_z' = 271 A$ maggiore della I_b

Verifica temperatura max di esercizio:

Per il dimensionamento alla temperatura di funzionamento si è utilizzata la seguente formula:

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a$$

Dove:

- **T_f** : temperatura di funzionamento;
- **I_n** corrente nominale di linea A;
- **I_z** : portata nominale del cavo A;
- **T_e** : temperatura di esercizio (ricavata da tabelle cavo);
- **T_a** : temperatura ambiente;

Sempre facendo riferimento al caso più gravoso di posa interrata si utilizzano i seguenti dati del cavo:

- $I_z = 271 A$
- $I_n = 123 A$
- $T_e = 90^\circ C$ (temperatura massima di esercizio da tabella cavo)
- $T_a = 20^\circ C$ (temperatura per cavi interrati)

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a = [(123/271)^2 * (90-20)] + 20 = 35^\circ C \text{ minore della temperatura di esercizio ammessa.}$$

4.2 COLLEGAMENTO – Da Torre 7 a SSE Utente

Le condizioni generiche di posa dei cavi sono le seguenti (Oltre a quanto indicato in 3.1.4):

- **Direttamente interrato;**
- **Numero circuiti affiancati: 3**

Definizione portata nominale del cavo:

$I_b = 246A$

Cavo unipolare ARE4H5E 400mm²



I_z da tabella cavo = **422A**

K4= 0,73 - fattore di correzione per gruppi di circuiti formati da cavi unipolari in formazione trifase, direttamente interrati (riferimento IEC 60502-2-2014, tabella B.19).

$$I_z' = 422 \times 0,73 = \mathbf{308 \text{ A}}$$

$I_z' = \mathbf{308 \text{ A}}$ maggiore della I_b

Verifica temperatura max di esercizio:

Per il dimensionamento alla temperatura di funzionamento si è utilizzata la seguente formula:

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a$$

Dove:

- **T_f**: temperatura di funzionamento
- **I_n** corrente nominale di linea A;
- **I_z**: portata nominale del cavo A;
- **T_e**: temperatura di esercizio (ricavata da tabelle cavo);
- **T_a**: temperatura ambiente;

Sempre facendo riferimento al caso più gravoso di posa interrata si utilizzano i seguenti dati del cavo:

- $I_z = 308 \text{ A}$
- $I_n = 246 \text{ A}$
- $T_e = 90^\circ\text{C}$ (temperatura massima di esercizio da tabella cavo)
- $T_a = 20^\circ\text{C}$ (temperatura per cavi interrati)

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a = [(246/308)^2 * (90-20)] + 20 = \mathbf{65^\circ\text{C}}$$

minore della temperatura di esercizio ammessa.



5 DIMENSIONAMENTO SOTTOCAMPO 2 (Torri 4 e 5) – 12,2MW

5.1 COLLEGAMENTO – Da Torre 5 a Torre 4

Le condizioni generiche di posa dei cavi sono le seguenti (Oltre a quanto indicato in 3.1.4):

- **Direttamente interrato;**
- **Numero circuiti affiancati: 2**

Definizione portata nominale del cavo:

$I_b = 123A$

Cavo unipolare ARE4H5E 240mm²

I_z da tabella cavo = **327A**

K₄ = 0,83 - fattore di correzione per gruppi di circuiti formati da cavi unipolari in formazione trifase, direttamente interrati (riferimento IEC 60502-2-2014, tabella B.19).

$$I_z' = 327 \times 0,83 = \mathbf{271\ A}$$

$I_z' = \mathbf{271\ A}$ maggiore della I_b

Verifica temperatura max di esercizio:

Per il dimensionamento alla temperatura di funzionamento si è utilizzata la seguente formula:

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a$$

Dove:

- **T_f**: temperatura di funzionamento;
- **I_n** corrente nominale di linea A;
- **I_z**: portata nominale del cavo A;
- **T_e**: temperatura di esercizio (ricavata da tabelle cavo);
- **T_a**: temperatura ambiente;

Sempre facendo riferimento al caso più gravoso di posa interrata si utilizzano i seguenti dati del cavo:

- $I_z = 271\ A$
- $I_n = 123\ A$
- $T_e = 90^\circ C$ (temperatura massima di esercizio da tabella cavo)
- $T_a = 20^\circ C$ (temperatura per cavi interrati)

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a = [(123/271)^2 * (90-20)] + 20 = \mathbf{35^\circ C}$$

minore della temperatura di esercizio ammessa.

5.2 COLLEGAMENTO – Da Torre 4 a SSE Utente

Le condizioni generiche di posa dei cavi sono le seguenti (Oltre a quanto indicato in 3.1.4):

- **Direttamente interrato;**
- **Numero circuiti affiancati: 3**



Definizione portata nominale del cavo:

$I_b = 246 A$

Cavo unipolare ARE4H5E 400mm²

I_z da tabella cavo = **422 A**

K4= 0,73 - fattore di correzione per gruppi di circuiti formati da cavi unipolari in formazione trifase, direttamente interrati (riferimento IEC 60502-2-2014, tabella B.19).

$I_z' = 422 \times 0,73 = 308 A$

$I_z' = 308 A$ maggiore della I_b

Verifica temperatura max di esercizio:

Per il dimensionamento alla temperatura di funzionamento si è utilizzata la seguente formula:

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a$$

Dove:

- **T_f**: temperatura di funzionamento
- **I_n** corrente nominale di linea A;
- **I_z**: portata nominale del cavo A;
- **T_e**: temperatura di esercizio (ricavata da tabelle cavo);
- **T_a**: temperatura ambiente;

Sempre facendo riferimento al caso più gravoso di posa interrata si utilizzano i seguenti dati del cavo:

- $I_z = 308 A$
- $I_n = 246 A$
- $T_e = 90^\circ C$ (temperatura massima di esercizio da tabella cavo)
- $T_a = 20^\circ C$ (temperatura per cavi interrati)

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a = [(246/308)^2 * (90-20)] + 20 = 65^\circ C \text{ minore della temperatura di esercizio ammessa.}$$



6 DIMENSIONAMENTO SOTTOCAMPO 3 (Torri 1, 2 e 3) – 18,3 MW

6.1 COLLEGAMENTO – Da Torre 2 a Torre 3

Le condizioni generiche di posa dei cavi sono le seguenti (Oltre a quanto indicato in 3.1.4):

- **Direttamente interrato;**
- **Numero circuiti affiancati: 2**

Definizione portata nominale del cavo:

$I_b = 123A$

Cavo unipolare ARE4H5E 240mm²

I_z da tabella cavo = **327A**

$K_4 = 0,83$ - fattore di correzione per gruppi di circuiti formati da cavi unipolari in formazione trifase, direttamente interrati (riferimento IEC 60502-2-2014, tabella B.19).

$I_z' = 327 \times 0,83 = 271 A$

$I_z' = 271 A$ maggiore della I_b

Verifica temperatura max di esercizio:

Per il dimensionamento alla temperatura di funzionamento si è utilizzata la seguente formula:

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a$$

Dove:

- **T_f** : temperatura di funzionamento;
- **I_n** corrente nominale di linea A;
- **I_z** : portata nominale del cavo A;
- **T_e** : temperatura di esercizio (ricavata da tabelle cavo);
- **T_a** : temperatura ambiente;

Sempre facendo riferimento al caso più gravoso di posa interrata si utilizzano i seguenti dati del cavo:

- $I_z = 271 A$
- $I_n = 123 A$
- $T_e = 90^\circ C$ (temperatura massima di esercizio da tabella cavo)
- $T_a = 20^\circ C$ (temperatura per cavi interrati)

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a = [(123/271)^2 * (90-20)] + 20 = 35^\circ C \text{ minore della temperatura di esercizio ammessa.}$$

6.2 COLLEGAMENTO – Da Torre 3 a Torre 1

Le condizioni generiche di posa dei cavi sono le seguenti (Oltre a quanto indicato in 3.1.4):

- **Direttamente interrato;**
- **Numero circuiti affiancati: 3**



Definizione portata nominale del cavo:

$I_b = 246A$

Cavo unipolare ARE4H5E 400mm²

I_z da tabella cavo = **422A**

K4= 0,73 - fattore di correzione per gruppi di circuiti formati da cavi unipolari in formazione trifase, direttamente interrati (riferimento IEC 60502-2-2014, tabella B.19).

$$I_z' = 422 \times 0,73 = \mathbf{308\ A}$$

$I_z' = \mathbf{308\ A}$ maggiore della I_b

Verifica temperatura max di esercizio:

Per il dimensionamento alla temperatura di funzionamento si è utilizzata la seguente formula:

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a$$

Dove:

- **T_f**: temperatura di funzionamento
- **I_n** corrente nominale di linea A;
- **I_z**: portata nominale del cavo A;
- **T_e**: temperatura di esercizio (ricavata da tabelle cavo);
- **T_a**: temperatura ambiente;

Sempre facendo riferimento al caso più gravoso di posa interrata si utilizzano i seguenti dati del cavo:

- $I_z = 308\ A$
- $I_n = 246\ A$
- $T_e = 90^\circ C$ (temperatura massima di esercizio da tabella cavo)
- $T_a = 20^\circ C$ (temperatura per cavi interrati)

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a = [(246/308)^2 * (90-20)] + 20 = \mathbf{65^\circ C}$$

minore della temperatura di esercizio ammessa.

6.3 COLLEGAMENTO – Da Torre 1 a SSE Utente

Le condizioni generiche di posa dei cavi sono le seguenti (Oltre a quanto indicato in 3.1.4):

- **Direttamente interrato;**
- **Numero circuiti affiancati: 3**

Definizione portata nominale del cavo:

$I_b = 369A$

Cavo unipolare ARE4H5E 630mm²

I_z da tabella cavo = **545A**

K4= 0,73 - fattore di correzione per gruppi di circuiti formati da cavi unipolari in formazione trifase, direttamente interrati (riferimento IEC 60502-2-2014, tabella B.19).

$$I_z' = 545 \times 0,73 = \mathbf{397\ A}$$

$I_z' = \mathbf{397\ A}$ maggiore della I_b



Verifica temperatura max di esercizio:

Per il dimensionamento alla temperatura di funzionamento si è utilizzata la seguente formula:

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a$$

Dove:

- **T_f**: temperatura di funzionamento
- **I_n** corrente nominale di linea A;
- **I_z**: portata nominale del cavo A;
- **T_e**: temperatura di esercizio (ricavata da tabelle cavo);
- **T_a**: temperatura ambiente;

Sempre facendo riferimento al caso più gravoso di posa interrata si utilizzano i seguenti dati del cavo:

- I_z = 397 A
- I_n = 369 A
- T_e = 90°C (temperatura massima di esercizio da tabella cavo)
- T_a = 20°C (temperatura per cavi interrati)

$$T_f = [(I_n / I_z)^2 * (T_e - T_a)] + T_a = [(246/308)^2 * (90-20)] + 20 = \mathbf{80^\circ C \text{ minore della temperatura di esercizio ammessa.}}$$



7 VERIFICA CADUTA DI TENSIONE

Di seguito si riportano tabelle con la verifica della caduta di tensione per i tratti in cavo interrato a 30kV una per ciascun sottocampo.

La c.d.t. di tensione risulta in tutti i casi inferiore al 2%.

| SOTTOCAMPO 1 - TORRI (6 e 7) - 12,2MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----|-------|--------|-----------|-------|----|-----|---------|---------|------------|----------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|-------|--------|
| da | a | Dist. | Scorta | Pot. Tot. | cosfi | Vn | Ib | Tipo | Sezione | Formazione | r | R | x | cos fi | sen fi | C.d.t. | C.d.t. | C.d.t. TOT | Δp | Δp | Δp TOT |
| | | m | 2% | kW | | kV | A | Cavo | mm²2 | | [Ohm/km] | Ohm | [Ohm/km] | | | [V] | [%] | [%] | [kW] | [%] | [%] |
| AG6 | AG7 | 432 | 441 | 6100 | 0,95 | 30 | 124 | ARE4H5E | 240 | 3x1x240 | 0,168 | 0,074 | 0,1 | 0,95 | 0,31 | 18 | 0,06% | 0,06% | 3,39 | 0,06% | 1,55% |
| AG7 | SSE | 8955 | 9134 | 12200 | 0,95 | 30 | 247 | ARE4H5E | 400 | 3x1x400 | 0,109 | 0,9956 | 0,099 | 0,95 | 0,31 | 526 | 1,75% | 1,81% | 182,44 | 1,50% | |

| SOTTOCAMPO 2 - TORRI (4 e 5) - 12,2MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----|------------|--------------|-----------------|-------|----------|---------|--------------|----------------|------------|---------------|----------|---------------|--------|--------|---------------|---------------|-------------------|------------|-----------|---------------|
| da | a | Dist. m | Scorta 2% | Pot. Tot. kW | cosfi | Vn kV | Ib A | Tipo Cavo | Sezione mm² | Formazione | r [Ohm/km] | R Ohm | x [Ohm/km] | cos fi | sen fi | C.d.t. [V] | C.d.t. [%] | C.d.t. TOT [%] | Δp [kW] | Δp [%] | Δp TOT [%] |
| AG5 | AG4 | 1285 | 1311 | 6100 | 0,95 | 30 | 124 | ARE4H5E | 240 | 3x1x240 | 0,168 | 0,2202 | 0,1 | 0,95 | 0,31 | 54 | 0,18% | 0,18% | 10,09 | 0,17% | 1,30% |
| AG4 | SSE | 6778 | 6914 | 12200 | 0,95 | 30 | 247 | ARE4H5E | 400 | 3x1x400 | 0,109 | 0,7536 | 0,099 | 0,95 | 0,31 | 398 | 1,33% | 1,50% | 138,09 | 1,13% | |

| SOTTOCAMPO 3 - TORRI (1,2 e 3) - 18,3MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|------------|--------------|-----------------|-------|----------|---------|--------------|----------------|------------|---------------|----------|---------------|--------|--------|---------------|---------------|-------------------|------------|-----------|---------------|
| da | a | Dist. m | Scorta 2% | Pot. Tot. kW | cosfi | Vn kV | Ib A | Tipo Cavo | Sezione mm² | Formazione | r [Ohm/km] | R Ohm | x [Ohm/km] | cos fi | sen fi | C.d.t. [V] | C.d.t. [%] | C.d.t. TOT [%] | Δp [kW] | Δp [%] | Δp TOT [%] |
| AG2 | AG3 | 581 | 593 | 6100 | 0,95 | 30 | 124 | ARE4H5E | 240 | 3x1x240 | 0,168 | 0,0996 | 0,1 | 0,95 | 0,31 | 24 | 0,08% | 0,08% | 4,56 | 0,07% | 1,51% |
| AG3 | AG1 | 1050 | 1071 | 12200 | 0,95 | 30 | 247 | ARE4H5E | 400 | 3x1x400 | 0,109 | 0,1167 | 0,099 | 0,95 | 0,31 | 62 | 0,21% | 0,29% | 21,39 | 0,18% | |
| AG1 | SSE | 5560 | 5671 | 24400 | 0,95 | 30 | 494 | ARE4H5E | 630 | 3x1x630 | 0,0739 | 0,4191 | 0,093 | 0,95 | 0,31 | 482 | 1,61% | 1,81% | 307,19 | 1,26% | |