

**REGIONE PUGLIA**  
PROVINCIA DI FOGGIA  
**COMUNE DI APRICENA**

*LOCALITÀ INCORONATA - SAN SABINO*

Oggetto:

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO EOLICO AVENTE POTENZA PARI A 99,2 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE - 16 AEROGENERATORI**

Sezione:

**SEZIONE H - ELABORATI PROGETTUALI SISTEMA ELETTRICO**

Elaborato:

**RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SUGLI IMPIANTI**

Nome file sorgente:

**SEZIONE H/EO.APR01.PD.H.07.docx**

Numero elaborato:

**EO.APR01.PD.H.07**

Scala:

Formato di stampa:

Nome file stampa:

**EO.APR01.PD.H.07.pdf**

Tipologia:

**R**

**A4**

Proponente:

**E-WAY FINANCE S.p.A.**

Via Po, 23

00198 ROMA (RM)

P.IVA. 15773121007



Progettista:

**E-WAY FINANCE S.p.A.**

Via Po, 23

00198 ROMA (RM)

P.IVA. 15773121007



| CODICE           | REV. n. | DATA REV. | REDAZIONE | VERIFICA  | VALIDAZIONE |
|------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| EO.APR01.PD.H.07 | 00      | 12/2021   | S.lerardi | A.Bottone | A.Bottone   |
|                  |         |           |           |           |             |
|                  |         |           |           |           |             |
|                  |         |           |           |           |             |



## INDICE

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>PREMESSA.....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>2</b> | <b>INTRODUZIONE .....</b>   | <b>10</b> |
| <b>3</b> | <b>UBICAZIONE ED ACCESSI .....</b>  | <b>10</b> |
| <b>4</b> | <b>STAZIONE DI TRASFORMAZIONE UTENTE 150/30 KV (ST) ED AREA COMUNE PER<br/>CONDIVISIONE CONNESSIONE .....</b> | <b>13</b> |
| 4.1      | Area Comune per Condivisione Connessione a 150 kV .....   | 13        |
| 4.2      | Stallo AT a 150 kV.....   | 14        |
| 4.3      | Sezione MT a 30 kV .....  | 14        |
| 4.4      | Caratteristiche apparati.....   | 16        |
| 4.5      | Tensioni di esercizio (distanze minime) .....   | 17        |
| 4.6      | Carpenterie metalliche .....  | 18        |
| 4.7      | Celle a media tensione (30 kV) .....  | 18        |
| 4.8      | Servizi Ausiliari.....  | 19        |
| 4.9      | Telecontrollo e Telecomunicazioni .....   | 19        |
| 4.10     | Opere civili.....   | 19        |
| <b>5</b> | <b>CABINA DI RACCOLTA E MISURA .....</b>  | <b>20</b> |
| 5.1      | Caratteristiche apparati.....   | 22        |
| 5.2      | Celle a media tensione (30 kV).....   | 22        |
| 5.3      | Servizi Ausiliari.....  | 23        |
| 5.4      | Control Room – Sistema di Monitoraggio .....  | 23        |
| <b>6</b> | <b>MISURA DELL'ENERGIA ELETTRICA .....</b>  | <b>24</b> |
| <b>7</b> | <b>AEROGENERATORE.....</b>  | <b>25</b> |
| 7.1      | PMSG: Generatore Sincrono a Magneti Permanenti .....  | 25        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>7.2</b> | <b>Convertitore di Frequenza AC/AC.....</b>                                | <b>25</b> |
| <b>7.3</b> | <b>Trasformatore MT/BT.....</b>  | <b>26</b> |
| <b>7.4</b> | <b>Cavo MT.....</b>  | <b>26</b> |
| <b>7.5</b> | <b>Apparato di Interruzione e Protezione .....</b>                         | <b>27</b> |
| <b>7.6</b> | <b>Servizi Ausiliari.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>8</b>   | <b><i>LINEE MT DI INTERCONNESSIONE AEROGENERATORI – SE UTENTE.....</i></b> | <b>29</b> |
| <b>8.1</b> | <b>Tipologia Cavi.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>8.2</b> | <b>Tipologia Posa .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>9</b>   | <b><i>DIMENSIONAMENTO CAVI MT.....</i></b>                                 | <b>34</b> |
| <b>9.1</b> | <b>Zona 1.....</b>   | <b>35</b> |
| <b>9.2</b> | <b>Zona 2.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>10</b>  | <b><i>SCHEMA ELETTRICO UNIFILARE IMPIANTO EOLICO .....</i></b>             | <b>42</b> |



**RELAZIONE DI CALCOLO  
PRELIMINARE SUGLI IMPIANTI**

|                |                  |
|----------------|------------------|
| CODICE         | EO.APR01.PD.H.07 |
| REVISIONE n.   | 00               |
| DATA REVISIONE | 12/2021          |
| PAGINA         | 4 di 42          |

## INDICE DELLE FIGURE

|  |    |
|--|----|
| <i>Figura 1: Inquadramento Progetto Eolico su IGM (1:25000)</i> .....                        | 11 |
| <i>Figura 2: Estratto SE Utente e SE Terna su Ortofoto</i> .....                             | 11 |
| <i>Figura 3: Planimetria Stazione di Trasformazione Utente 150/30 kV e Area Comune</i> ..... | 13 |
| <i>Figura 4: Stallo AT a 150 kV - Vista laterale</i> .....                                   | 14 |
| <i>Figura 5: Stazione Elettrica Utente Stallo 1 – Planimetria</i> .....                      | 15 |
| <i>Figura 6: Stazione Elettrica Utente Stallo 2 – Planimetria</i> .....                      | 16 |
| <i>Figura 7: Quadro di Raccolta e Misura: Zona 1, Vista frontale</i> .....                   | 20 |
| <i>Figura 8: Quadro di Raccolta e Misura: Zona 1, Planimetria</i> .....                      | 20 |
| <i>Figura 9: Quadro di Raccolta e Misura: Zona 2, Vista frontale</i> .....                   | 21 |
| <i>Figura 10: Quadro di Raccolta e Misura: Zona 2, Planimetria</i> .....                     | 21 |
| <i>Figura 11: Suddivisione Zonale dell'Impianto Eolico su Ortofoto</i> .....                 | 29 |
| <i>Figura 12: Schema di collegamento degli aerogeneratori</i> .....                          | 30 |
| <i>Figura 13: Immagine indicativa del tipo di Cavo</i> .....                                 | 31 |
| <i>Figura 14: Modalità di Posa (CEI 11-17)</i> .....   | 31 |
| <i>Figura 15: Sezione Cavidotto Doppia Terna su Strada Bianca</i> .....                      | 32 |
| <i>Figura 16: Sezione Cavidotto Doppia Terna su Terreno</i> .....                            | 33 |
| <i>Figura 17: Sezione Cavidotto Doppia Terna su Strada Asfaltata</i> .....                   | 33 |
| <i>Figura 18: Estratto Schema di collegamento – Zona 1</i> .....                             | 36 |
| <i>Figura 19: Estratto Schema di collegamento – Zona 2</i> .....                             | 39 |
| <i>Figura 20: Estratto Schema Elettrico Unifilare</i> .....                                  | 42 |



**RELAZIONE DI CALCOLO  
PRELIMINARE SUGLI IMPIANTI**

|                |                  |
|----------------|------------------|
| CODICE         | EO.APR01.PD.H.07 |
| REVISIONE n.   | 00               |
| DATA REVISIONE | 12/2021          |
| PAGINA         | 6 di 42          |

## INDICE DELLE TABELLE

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Tabella 1: Coordinate aerogeneratori di progetto.....</i>  | <i>12</i> |
| <i>Tabella 2: Verifica distanze minime (<math>V_n= 30\text{ kV}</math>, <math>V_{1,2/50\ \mu s} = 170\text{ kV}</math>) .....</i> | <i>17</i> |
| <i>Tabella 3: Caratteristiche elettriche Generatore .....</i>   | <i>25</i> |
| <i>Tabella 4: Caratteristiche elettriche Convertitore AC/AC .....</i>   | <i>25</i> |
| <i>Tabella 5: Caratteristiche elettriche Trasformatore BT/MT.....</i>   | <i>26</i> |
| <i>Tabella 6: Caratteristiche elettriche Cavo MT interno .....</i>  | <i>26</i> |
| <i>Tabella 7: Caratteristiche elettriche Interruttore MT .....</i>  | <i>27</i> |
| <i>Tabella 8: Contributi Principali all'Autoconsumo.....</i>  | <i>28</i> |
| <i>Tabella 9: Dati di Progetti per Dimensionamento Elettrico – Zona 1.....</i>  | <i>35</i> |
| <i>Tabella 10: Dimensionamento Cavi – Zona 1.....</i>   | <i>37</i> |
| <i>Tabella 11: Caratteristiche meccaniche ed elettriche del Cavo in funzione della Sezione scelta – Zona 1 .....</i>              | <i>37</i> |
| <i>Tabella 12: Perdite Impianto – Zona 1.....</i>   | <i>37</i> |
| <i>Tabella 13: Dati di Progetti per Dimensionamento Elettrico – Zona 2.....</i>   | <i>38</i> |
| <i>Tabella 14: Dimensionamento Cavi – Zona 2.....</i>   | <i>40</i> |
| <i>Tabella 15: Caratteristiche meccaniche ed elettriche del Cavo in funzione della Sezione scelta – Zona 2 .....</i>              | <i>40</i> |





**RELAZIONE DI CALCOLO  
PRELIMINARE SUGLI IMPIANTI**

|                |                  |
|----------------|------------------|
| CODICE         | EO.APR01.PD.H.07 |
| REVISIONE n.   | 00               |
| DATA REVISIONE | 12/2021          |
| PAGINA         | 8 di 42          |

## 1 PREMESSA

Il presente elaborato è riferito al progetto per la costruzione e l'esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, ed opere di connessione annesse, denominato "Incoronata - San Sabino", sito in agro di Apricena (FG).

In particolare, il progetto è relativo ad un impianto eolico avente potenza nominale pari a 99,2 MW e costituito da:

- N° 16 aerogeneratori aventi diametro 162 m e altezza al mozzo pari a 119 m (per un'altezza complessiva di 200 m), ciascuno avente potenza nominale pari a 6,2 MW (aerogeneratore tipo modello Vestas V162);
- Due Cabine di Raccolta e Misura in MT a 30 kV;
- Linee elettriche in MT a 30 kV in cavo interrato necessaria per l'interconnessione di 6 aerogeneratori alla prima Cabina di Raccolta e Misura;
- Linee elettriche in MT a 30 kV in cavo interrato necessaria per l'interconnessione di 10 aerogeneratori alla seconda Cabina di Raccolta e Misura;
- Una Stazione Elettrica (SE) di trasformazione 150/30 kV Utente;
- Linee elettriche in MT a 30 kV in cavo interrato necessari per l'interconnessione delle due Cabine di Raccolta e Misura alla SE Utente di cui sopra;
- Una sezione di impianto elettrico comune con due impianti fotovoltaico in sviluppo (altro operatore), necessaria per la condivisione dello Stallo AT a 150 kV, assegnato dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) all'interno della futura SE della RTN denominata "Torremaggiore". Tale sezione è localizzata in una zona adiacente alla SE Utente e contiene tutte le apparecchiature elettromeccaniche in AT necessarie per la condivisione della connessione.
- Tutte le apparecchiature elettromeccaniche in AT di competenza dell'Utente da installare all'interno della futura SE Terna "Torremaggiore", in corrispondenza dello stallo assegnato;
- Una linea elettrica in AT a 150 kV in cavo interrato di interconnessione tra la sezione di impianto comune e la futura SE RTN "Torremaggiore".

Titolare dell'iniziativa proposta è la società E-Way Finance S.p.A., avente sede legale in Via Po 23, 00198 Roma, P.IVA 15773121007.

## 2 INTRODUZIONE

Oggetto del presente studio è la descrizione dell'impianto elettrico necessario per l'interconnessione degli aerogeneratori alla RTN.

La soluzione tecnica di connessione alla RTN prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 150 kV con la sezione 150 kV della futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione della RTN a 380/150 kV, da inserire in entra-esce alla linea RTN 380 kV "Rotello 380 – San Severo 380", denominata "Torremaggiore".

Al fine di razionalizzare l'utilizzo delle strutture di rete è necessario condividere lo stallo AT Terna nella SE con altri due impianti di produzione. Pertanto, è stata prevista una sezione di impianto comune che permette di collegare al medesimo stallo AT Terna gli impianti in sviluppo di tutti i produttori. Inoltre, la sezione di impianto comune è stata predisposta per un eventuale ampliamento o condivisione.

## 3 UBICAZIONE ED ACCESSI

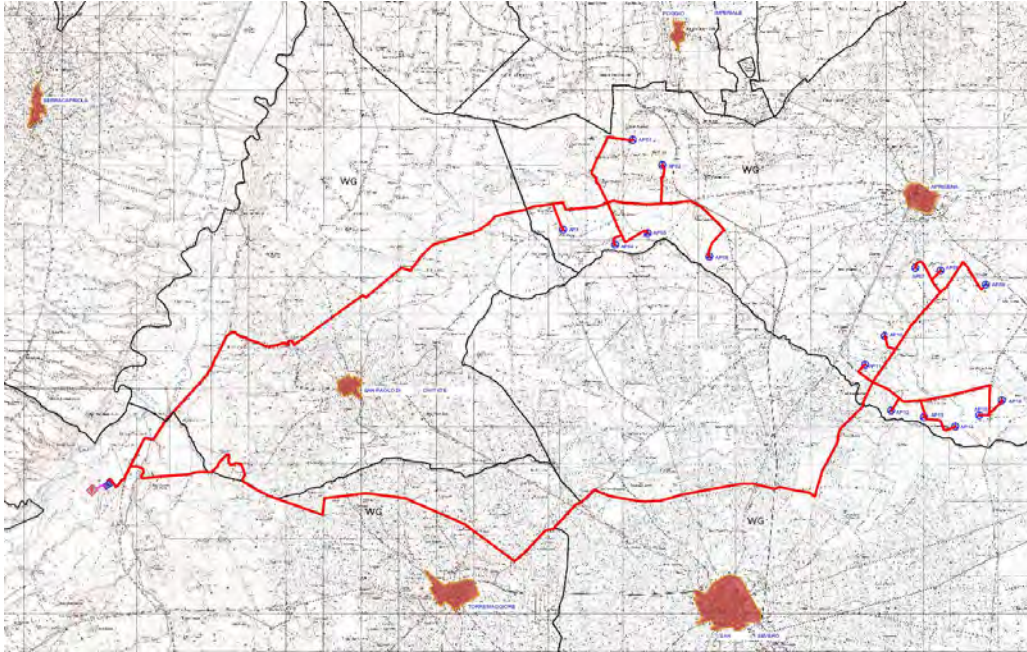
L'alternativa progettuale prevede la realizzazione di un parco eolico costituito da 16 aerogeneratori (successivamente denominati da AP01 a AP16) sito in agro del Comune di Apricena (FG), in due località denominate "Incoronata" e "San Sabino" rispettivamente a Ovest e ad Est del centro abitato di Apricena. L'orografia della zona di sviluppo è tipicamente pianeggiante e non eccessivamente variabile dal punto di vista altimetrico.

Le turbine poste in località "Incoronata" sono localizzate a Ovest del centro abitato di Apricena (distanti più di 5 km) e a Sud del centro abitato di Poggio Imperiale (da cui la turbina più vicina dista quasi 3 km). Le turbine situate in località "San Sabino", invece, sono localizzate immediatamente a Sud del centro abitato di Apricena e si estendono sino al confine comunale con San Severo.

Le altre opere di progetto ricadono nei comuni di Apricena, San Severo, Torremaggiore e San Paolo di Civitate (FG). In particolare:

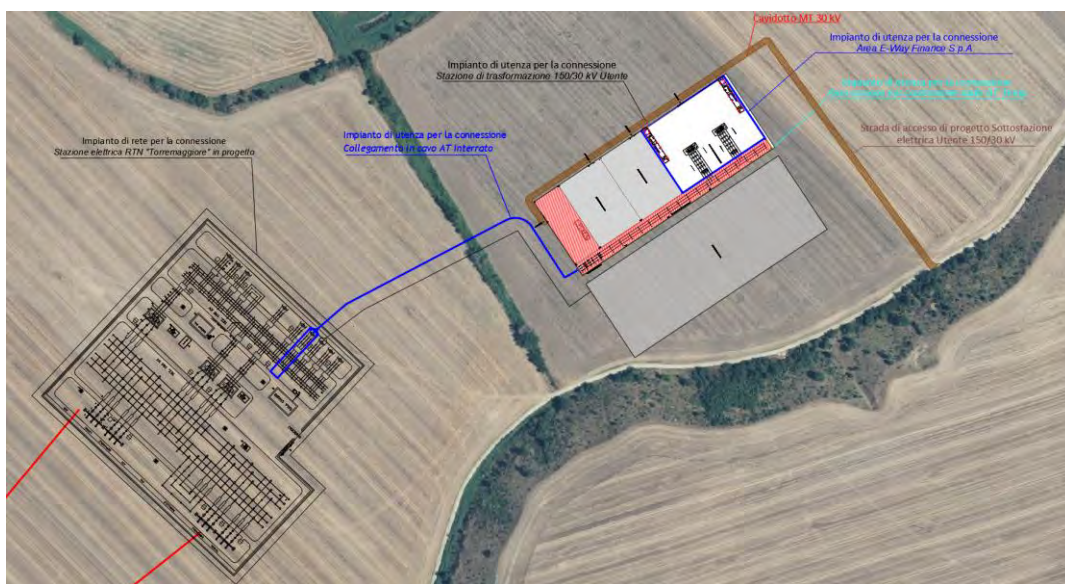
- Il percorso del cavidotto di interconnessione in MT alla SE Utente attraversa i comuni di Apricena, San Severo, Torremaggiore e San Paolo di Civitate;
- La SE di trasformazione Utente, l'area di impianto comune ed il collegamento AT alla RTN interessano, invece, il Comune di Torremaggiore.

L'ubicazione complessiva delle opere si rileva dall'allegato "EO.APR01.PD.B.01 – Inquadramento generale su IGM" e di cui si riporta un estratto.



**Figura 1: Inquadramento Progetto Eolico su IGM (1:25000)**

Le posizioni della SE Utente, della sezione comune e del collegamento in cavo interrato in AT alla RTN risultano dall'allegato "EO.APR01.PD.H.01 - Planimetria su base catastale - Stazione elettrica di smistamento 150 kV - Terna, area comune per condivisione connessione e Stazione Elettrica Utente":



**Figura 2: Estratto SE Utente e SE Terna su Ortofoto**

Le coordinate degli aerogeneratori di progetto e della sottostazione utente sono riportate in Tabella.

*Tabella 1: Coordinate aerogeneratori di progetto*

| WTG  | COORD. WGS84 - Fuso 33 |         | Coord. ED50 - Fuso 33 |         | COORD. GAUSS BOAGA |         |
|------|------------------------|---------|-----------------------|---------|--------------------|---------|
|      | Est                    | Nord    | Est                   | Nord    | Est                | Nord    |
| AP01 | 529208                 | 4627453 | 529280                | 4627643 | 2549216            | 4627462 |
| AP02 | 529995                 | 4626779 | 530067                | 4626969 | 2550003            | 4626788 |
| AP03 | 527347                 | 4625052 | 527419                | 4625242 | 2547355            | 4625061 |
| AP04 | 528738                 | 4624648 | 528810                | 4624838 | 2548746            | 4624657 |
| AP05 | 529602                 | 4624962 | 529674                | 4625152 | 2549610            | 4624971 |
| AP06 | 531250                 | 4624334 | 531322                | 4624524 | 2551258            | 4624343 |
| AP07 | 536745                 | 4623972 | 536817                | 4624162 | 2556753            | 4623981 |
| AP08 | 537427                 | 4623958 | 537499                | 4624148 | 2557435            | 4623967 |
| AP09 | 538636                 | 4623589 | 538708                | 4623779 | 2558644            | 4623598 |
| AP10 | 535936                 | 4622202 | 536008                | 4622392 | 2555944            | 4622211 |
| AP11 | 535413                 | 4621439 | 535485                | 4621629 | 2555421            | 4621448 |
| AP12 | 536107                 | 4620215 | 536179                | 4620405 | 2556115            | 4620224 |
| AP13 | 536984                 | 4620039 | 537056                | 4620229 | 2556992            | 4620048 |
| AP14 | 537818                 | 4619786 | 537890                | 4619976 | 2557826            | 4619795 |
| AP15 | 538459                 | 4620085 | 538531                | 4620275 | 2558467            | 4620094 |
| AP16 | 539063                 | 4620485 | 539135                | 4620675 | 2559071            | 4620494 |

## 4 STAZIONE DI TRASFORMAZIONE UTENTE 150/30 KV (ST) ED AREA COMUNE PER CONDIVISIONE CONNESSIONE

La SE Utente sarà costituita da uno stallo di trasformazione in AT a 150 kV ed una sezione a 30 kV; sono previsti 4 montanti di collegamento, di cui 2 dedicati al presente progetto e 2 disponibili per altri produttori.

### 4.1 Area Comune per Condivisione Connessione a 150 kV

L'area comune prevista per la condivisione della connessione AT a 150 kV è costituita dalle seguenti sezioni:

- Stallo AT per arrivo linea AT in cavo a 150 kV, completo di tutte le apparecchiature elettromeccaniche in AT necessarie;
- Sistema di sbarre AT a 150 kV;
- Edifici per l'area comune;
- Sistemi di alimentazione, comando e controllo necessari per l'esercizio dell'area comune.

Nell'allegato "EO.APR01.PD.H.03 - Stazione Elettrica Utente ed area comune per condivisione connessione Planimetria e Sezioni elettromeccanica" è possibile trovare una rappresentazione planimetrica dettagliata della sottostazione d'utente e dell'area comune.

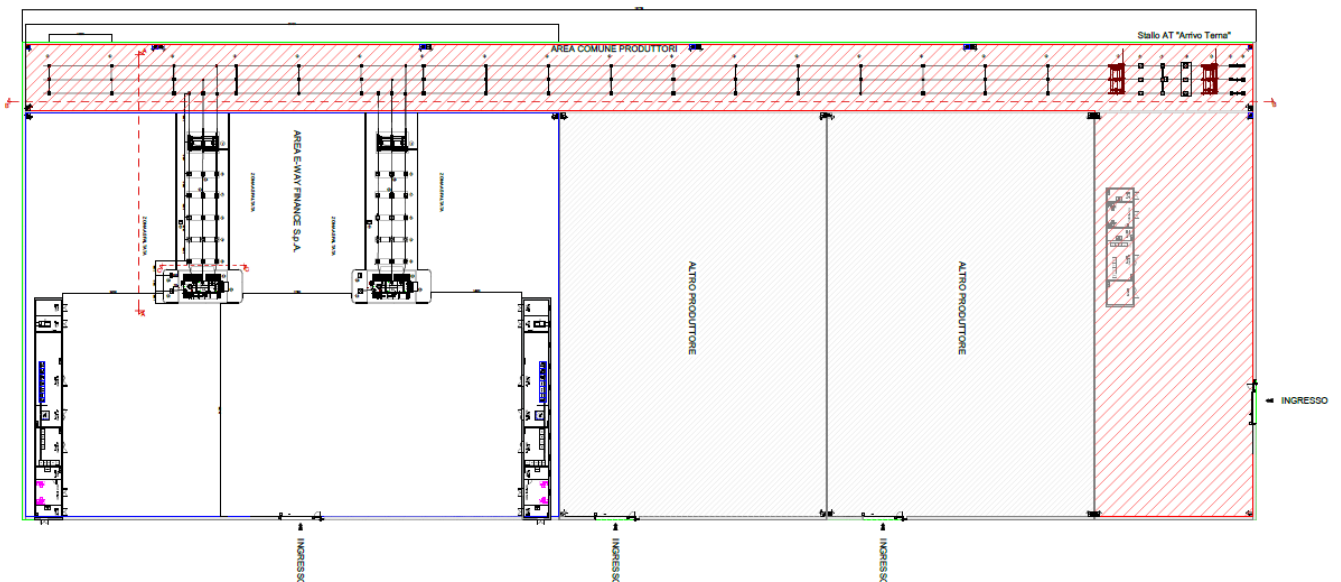


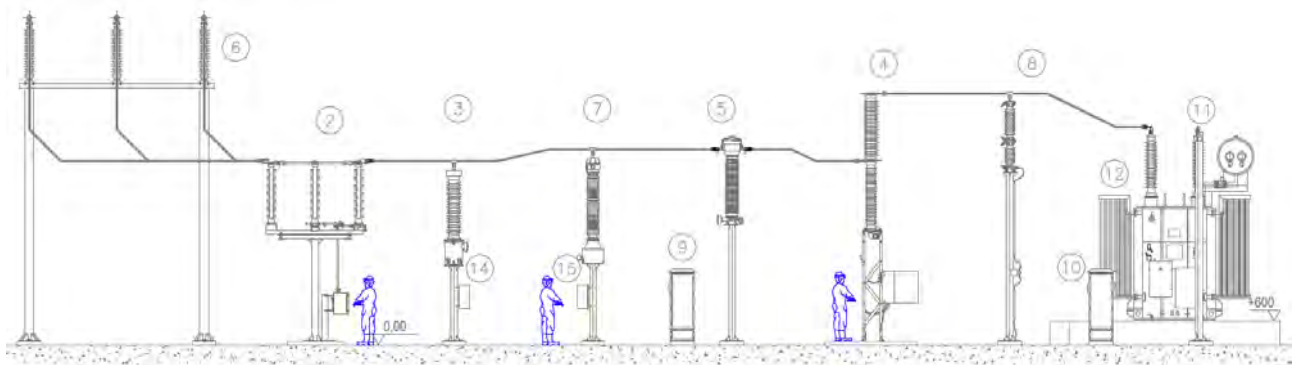
Figura 3: Planimetria Stazione di Trasformazione Utente 150/30 kV e Area Comune

## 4.2 Stallo AT a 150 kV

Il sistema sarà costituito da n°2 stalli trasformatore, ognuno dei quali composto dei seguenti apparati:

- Un trasformatore 150/30 kV, avente potenza nominale pari a 40/44 MVA per lo stallo 1 e 64/68 MVA per lo stallo 2, con variatore sotto carico (12) e predisposizione per la messa a terra del centro stella (11);
- Tre scaricatori di sovratensione (8);
- Un interruttore automatico, isolato in SF6 con comando unipolare (4);
- Tre trasformatori di corrente (protezione e misure) (5);
- Tre trasformatori di tensione induttivi (misure) (7);
- Tre trasformatori di tensione capacitivi/induttivi (protezione/misura) (3);
- Un sezionatore di isolamento sbarre (tripolare) (2);
- Tre isolatori rompitratta AT (6);
- Un portale per il collegamento aereo alla sezione di impianto d'area comune.

Di seguito l'estratto della EO.APR01.PD.H.03:



**Figura 4: Stallo AT a 150 kV - Vista laterale**

## 4.3 Sezione MT a 30 kV

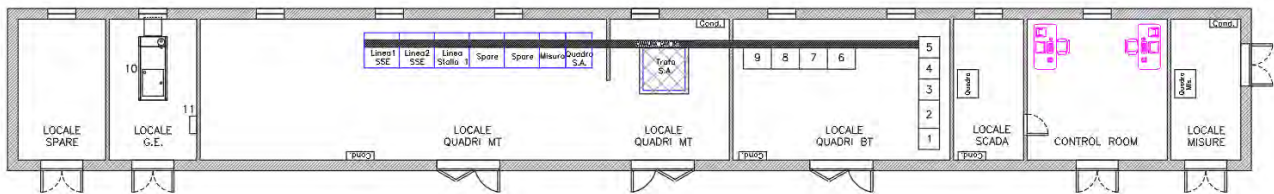
Il sistema sarà costituito da tutte le apparecchiature necessarie per l'interconnessione degli aerogeneratori al trasformatore di potenza e per il funzionamento ed il controllo della stazione di trasformazione.

In particolare, partendo dai terminali del secondario del trasformatore di potenza, il sistema relativo allo stallo 1 sarà costituito da:

- Tre scaricatori di sovratensione in MT;

- Cavi MT tra il Trasformatore AT/MT ed il quadro di MT a 30kV;
- Uno scomparto con interruttore automatico e sezionatore a protezione del trasformatore di AT lato MT;
- Due scomparti con interruttore automatico e sezionatore a protezione della rete a 30 kV del Parco Eolico;
- Due scomparti con interruttore automatico e sezionatore di scorta;
- Uno scomparto con IMS e fusibili a protezione del trasformatore di alimentazione dei servizi ausiliari di impianto;
- Uno scomparto con IMS e fusibili di scorta;
- Due scomparti con interruttore automatico e sezionatore a protezione degli eventuali banchi di rifasamento;
- Uno scomparto misura con IMS, fusibili e TV in MT.

Si riporta di seguito un estratto della "EO.APR01.PD.H.05.1 - Stazione Elettrica Utente e Sezioni Edifici di Stazione":



**Figura 5: Stazione Elettrica Utente Stallo 1 – Planimetria**

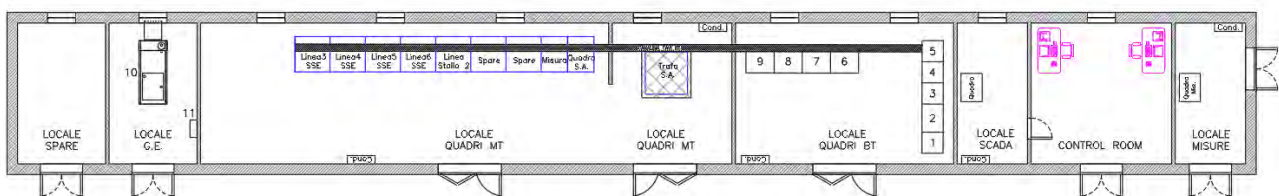
Per lo stallo 2, invece, sempre partendo dai terminali del secondario del trasformatore di potenza, il sistema relativo sarà costituito da:

- Tre scaricatori di sovratensione in MT;
- Cavi MT tra il Trasformatore AT/MT ed il quadro di MT a 30kV;
- Uno scomparto con interruttore automatico e sezionatore a protezione del trasformatore di AT lato MT;
- Quattro scomparti con interruttore automatico e sezionatore a protezione della rete a 30 kV del Parco Eolico;
- Due scomparti con interruttore automatico e sezionatore di scorta;



- Uno scomparto con IMS e fusibili a protezione del trasformatore di alimentazione dei servizi ausiliari di impianto;
- Uno scomparto con IMS e fusibili di scorta;
- Due scomparti con interruttore automatico e sezionatore a protezione degli eventuali banchi di rifasamento;
- Uno scomparto misura con IMS, fusibili e TV in MT.

Si riporta di seguito un estratto della "EO.APR01.PD.H.05.2 - Stazione Elettrica Utente e Sezioni Edifici di Stazione":



**Figura 6: Stazione Elettrica Utente Stallo 2 – Planimetria**

All'interno degli edifici tecnici saranno installati inoltre gli apparati di misura, comando, controllo e protezione necessari per la corretta funzionalità dell'impianto.

#### 4.4 Caratteristiche apparati

Come dati di progetto si adottano i seguenti valori:

- Tensione nominale: 150 kV
- Tensione massima: 170 kV
- Livello di isolamento:
  - Tensione a frequenza industriale (1 minuto 50 Hz) (valore efficace): 315 kV
  - Tensione a impulso atmosferico (onda 1,2 / 50  $\mu$ s) (cresta): 750 kV
- Corrente nominale montante di linea: 1000 A
- Corrente nominale montante trasformatore AT stallo 1: 150 A
- Corrente nominale montante trasformatore AT stallo 2: 250 A
- Massima corrente di cortocircuito: 31,5 kA
- Tempo di estinzione dei guasti: 0,5 s
- Altezza dell'installazione <1000 m

La distanza minima di isolamento in aria per tale installazione prevista dalla norma CEI 99-2 è pari a 1,5 m.

L'impianto è stato progettato considerando le seguenti distanze minime:

- Distanza fase-terra: 3,3 m
- Distanza fase-fase: 2,2 m
- Distanza fase-suolo: 4,5 m

La corrente massima di esercizio sarà di circa 400 A, corrispondente al regime di piena potenza del parco eolico, inferiore alle correnti nominali degli apparati e dei conduttori utilizzati.

La corrente di cortocircuito che l'impianto (apparati e cavi) può sopportare per 0,5 s sarà di 31,5 kA. Tale valore di corrente sarà notevolmente superiore alla reale corrente di cortocircuito al punto di connessione del parco sulla linea a 150 kV. Come dati di progetto si adottano i seguenti valori:

- Tensione nominale: 30 kV
- Tensione massima: 36 kV
- Livello di isolamento:
  - Tensione a frequenza industriale (1 minuto 50 Hz) (valore efficace): 70 kV
  - Tensione a impulso atmosferico (onda 1,2 / 50  $\mu$ s) (cresta): 170 kV
- Corrente nominale del trasformatore stallo 1: 720 A
- Corrente nominale del trasformatore stallo 2: 1200 A
- Corrente nominale di cortocircuito: 40 kA
- Tempo di estinzione del guasto: 0,5 s

#### 4.5 Tensioni di esercizio (distanze minime)

**Tabella 2: Verifica distanze minime ( $V_n = 30$  kV,  $V_{1,2/50 \mu s} = 170$  kV)**

|   | CEI 99-2 | Fissata in questo progetto |
|---|----------|----------------------------|
| <i>Distanza minima fase-terra in aria</i> | 0,32 m   | 0,50 m                     |
| <i>Distanza minima fase-fase in aria</i>  | 0,32 m   | 0,50 m                     |
| <i>Altitudine minima fase-suolo</i>       | 3,20 m   | 3,60 m                     |

Per il sistema a 30 kV all'interno della sottostazione si utilizzeranno cavi isolati e segregati in apposite canalizzazioni prefabbricate, collaudate e certificate dal Costruttore secondo procedure a norma di legge per il livello di isolamento indicato.

#### **4.6 Carpenterie metalliche**

Tutti gli apparati dell'impianto elettrico esterno saranno installati su idonei supporti metallici, aventi altezza minima pari a 2,25 m (CEI 99-2), al fine di evitare il posizionamento di barriere di protezione da elementi in tensione. La base della struttura dei supporti sarà realizzata in acciaio ed in grado di sopportare gli sforzi nelle condizioni peggiori. Le fondazioni necessarie per l'ancoraggio delle strutture saranno dimensionate per assicurare la stabilità ed evitare ribaltamenti.

#### **4.7 Celle a media tensione (30 kV)**

Da punto di vista della struttura, queste celle saranno del tipo incapsulato metallico, isolate in SF6, per installazione all'interno.

Le celle da installare per lo stallo 1 saranno le seguenti:

- N°1 cella del trasformatore di potenza (con interruttore automatico);
- N°2 celle di linea (con interruttore automatico);
- N°1 cella protezione trasformatore servizi ausiliari;
- N° 2 cella per alimentazione futura;
- N°2 cella per banchi di rifasamento;
- N°1 cella per misure di tensione.

Le celle da installare per lo stallo 2 saranno le seguenti:

- N°1 cella del trasformatore di potenza (con interruttore automatico);
- N°4 celle di linea (con interruttore automatico);
- N°1 cella protezione trasformatore servizi ausiliari;
- N° 2 cella per alimentazione futura;
- N°2 cella per banchi di rifasamento;
- N°1 cella per misure di tensione.

#### **4.8 Servizi Ausiliari**

Per i Servizi Ausiliari (SS.AA.) di Stazione sono stati previsti diversi sistemi di alimentazione, sia in corrente alternata che in corrente continua, necessari per i sistemi di controllo, comando, protezione e misura.

In particolare, è stata prevista l'alimentazione di tutti i SS.AA. mediante:

- Trasformatore 30/0,4 kV dedicato;
- Linea BT esterna dedicata ed indipendente dalla SE;
- Gruppo elettrogeno ad installazione fissa di Stazione;
- Sistema raddrizzatore/inverter/batterie.

Le diverse sezioni di alimentazione saranno organizzate in I servizi di corrente alternata e continua saranno alloggiati in diversi armadi destinati a realizzare le rispettive distribuzioni.

#### **4.9 Telecontrollo e Telecomunicazioni**

La SE e l'area comune saranno dotate di sistema SCADA per la supervisione ed il controllo, locale e remoto, di tutte le apparecchiature di stazione e, eventualmente, anche degli aerogeneratori. Inoltre, è prevista l'installazione di una UPDM, per la disconnessione remota dell'impianto dalla RTN.

#### **4.10 Opere civili**

I lavori riguarderanno l'intera area della sottostazione con l'eliminazione del mantello vegetale, scavo, riempimento e compattamento fino ad arrivare alla quota di appianamento prevista.

Saranno realizzate le fondazioni necessarie per le apparecchiature esterne a 150 kV ed i locali di stazione.

Per l'installazione del trasformatore di potenza sarà realizzato un idoneo basamento, formato da una fondazione di appoggio avente anche la funzione anche di vasca per la raccolta dell'olio in caso di fuoriuscite.

Saranno costruite le canalizzazioni elettriche necessarie alla posa dei cavi di potenza e di controllo dei diversi elementi dell'impianto.

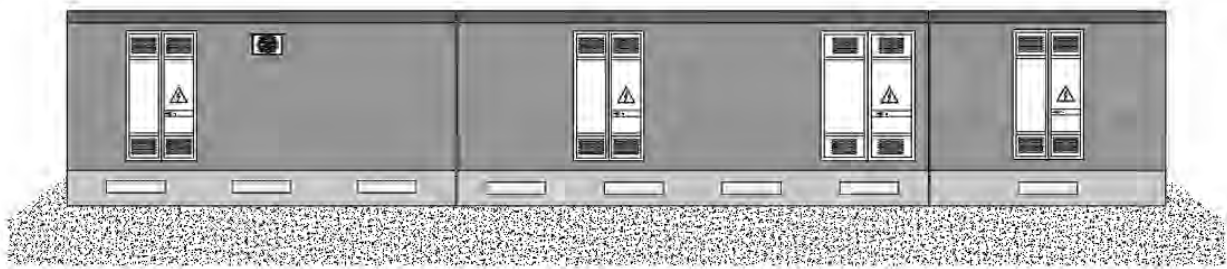
I dettagli relativi alla recinzione ed alle restanti opere civili previste sono rilevabili dagli allegati.

## 5 CABINA DI RACCOLTA E MISURA

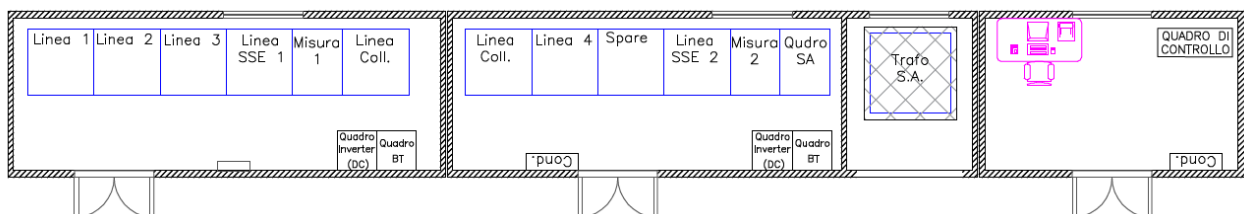
Considerando la distribuzione degli aerogeneratori e la potenza complessiva in gioco, si è deciso di dividere il parco eolico in due zone elettricamente indipendenti, ognuna con un proprio stallo nella SE Utente e per ognuna delle quali ci sarà una Cabine di Raccolta e Misura dedicata. I sistemi saranno costituiti da tutte le apparecchiature necessarie per l'interconnessione e il controllo dei diversi aerogeneratori.

In particolare, il sistema relativo alla Zona 1 sarà costituito da:

- Cavi MT tra Aerogeneratori e quadro MT a 30 kV;
- Quattro scomparti con interruttore automatico e sezionatore a protezione degli aerogeneratori, collegati fra loro in modalità "entra-esce";
- Due scomparti con interruttore automatico e sezionatore a protezione della rete a 30 kV del campo Eolico;
- Uno scomparto con interruttore automatico e sezionatore di scorta;
- Uno scomparto con interruttore automatico e sezionatore per eventuale connessione di back-up;
- Uno scomparto con sezionatore per eventuale connessione di back-up;
- Uno scomparto con IMS e fusibili a protezione del trasformatore di alimentazione dei servizi ausiliari di impianto;
- Due scomparti misura con IMS, fusibili e TV in MT.



**Figura 7: Quadro di Raccolta e Misura: Zona 1, Vista frontale**

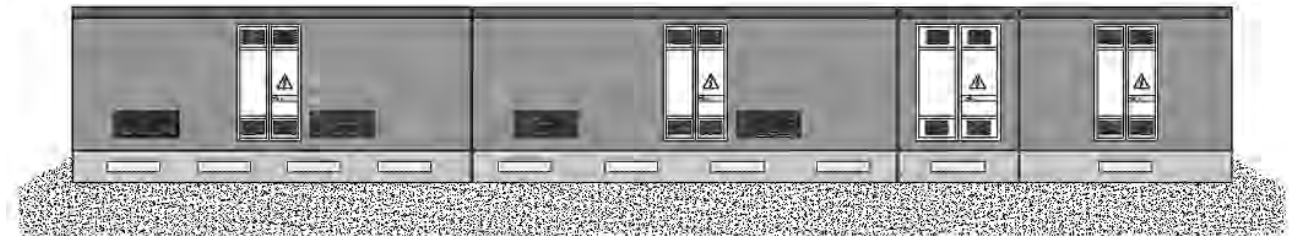


**Figura 8: Quadro di Raccolta e Misura: Zona 1, Planimetria**

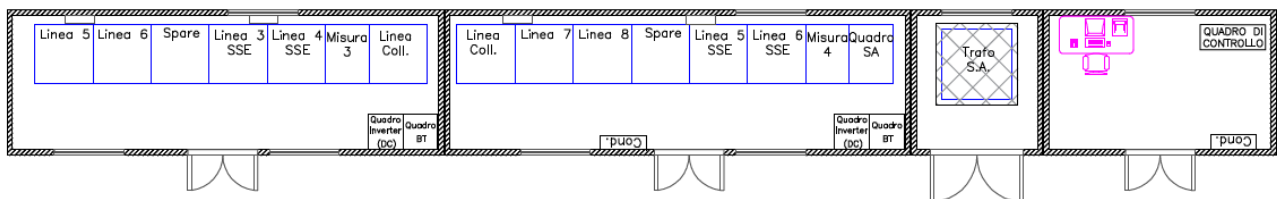
All'interno del prefabbricato saranno installati inoltre gli apparati di misura, comando, controllo e protezione necessari per la corretta funzionalità dell'impianto.

Per la zona 2, il sistema sarà costituito da:

- Cavi MT tra Aerogeneratori e quadro MT a 30 kV;
- Quattro scomparti con interruttore automatico e sezionatore a protezione degli aerogeneratori, collegati fra loro in modalità "entra-esce";
- Quattro scomparti con interruttore automatico e sezionatore a protezione della rete a 30 kV del campo Eolico;
- Due scomparti con interruttore automatico e sezionatore di scorta;
- Uno scomparto con interruttore automatico e sezionatore per eventuale connessione di back-up;
- Uno scomparto con sezionatore per eventuale connessione di back-up;
- Uno scomparto con IMS e fusibili a protezione del trasformatore di alimentazione dei servizi ausiliari di impianto;
- Due scomparti misura con IMS, fusibili e TV in MT.



**Figura 9: Quadro di Raccolta e Misura: Zona 2, Vista frontale**



**Figura 10: Quadro di Raccolta e Misura: Zona 2, Planimetria**

All'interno del prefabbricato saranno installati inoltre gli apparati di misura, comando, controllo e protezione necessari per la corretta funzionalità dell'impianto.

## 5.1 Caratteristiche apparati

Come dati di progetto si adottano i seguenti valori:

- Tensione nominale: 30 kV
- Tensione massima: 36 kV
- Livello di isolamento:
  - Tensione a frequenza industriale (1 minuto 50 Hz) (valore efficace): 70 kV
  - Tensione a impulso atmosferico (onda 1,2 / 50  $\mu$ s) (cresta): 170 kV
- Corrente nominale di cortocircuito: 40 kA
- Tempo di estinzione del guasto: 0,5 s

Per il sistema a 30 kV all'interno si utilizzeranno cavi isolati e segregati in apposite canalizzazioni prefabbricate, collaudate e certificate dal Costruttore secondo procedure a norma di legge per il livello di isolamento indicato.

## 5.2 Celle a media tensione (30 kV)

Da punto di vista della struttura, queste celle saranno del tipo incapsulato metallico, isolate in SF<sub>6</sub>, per installazione all'interno.

Per la Zona 1, Le celle da installare saranno le seguenti:

- N°6 celle di linea (con interruttore automatico);
- N°2 celle di collegamento Back-Up;
- N°1 cella protezione trasformatore servizi ausiliari;
- N°1 cella per alimentazione futura;
- N°2 cella per misure di tensione.

Per la Zona 2, Le celle da installare saranno le seguenti:

- N°8 celle di linea (con interruttore automatico);
- N°2 celle di collegamento Back-Up;
- N°1 cella protezione trasformatore servizi ausiliari;
- N°2 cella per alimentazione futura;
- N°2 cella per misure di tensione.

### **5.3 Servizi Ausiliari**

Per i Servizi Ausiliari sono previsti diversi sistemi di alimentazione, sia in corrente alternata che in corrente continua, necessari per i sistemi di controllo, comando, protezione e misura.

In particolare, è stata prevista l'alimentazione di tutti i servizi ausiliari mediante:

- Trasformatore 30/0,4 kV dedicato;
- sistema raddrizzatore/inverter/batterie.

I servizi di corrente alternata e continua saranno alloggiati in diversi armadi destinati a realizzare le rispettive distribuzioni.

### **5.4 Control Room – Sistema di Monitoraggio**

Verrà installato un sistema di monitoraggio e controllo basato su architettura SCADA in conformità alle specifiche della piramide CIM, al fine di garantire una resa ottimale dell'impianto eolico in tutte le situazioni.

Il sistema sarà connesso a diversi sistemi e riceverà informazioni:

- di produzione del parco eolico;
- di produzione degli apparati di conversione;
- di produzione e scambio dai sistemi di misura;
- di tipo climatico ambientale dalle stazioni di rilevamento dati meteo;
- di allarme da tutti gli interruttori e sistemi di protezione.

Il sistema di monitoraggio ambientale avrà il compito di misurare dati climatici e dati anemologici sul parco eolico. I parametri rilevati puntualmente dalla stazione di monitoraggio ambientale saranno inviati al sistema di monitoraggio SCADA e contribuiranno alla valutazione della producibilità teorica, parametro determinante per il calcolo delle performance dell'impianto eolico.

I dati monitorati saranno gestiti e archiviati da un sistema di monitoraggio SCADA. Il sistema nel suo complesso avrà ottime capacità di precisione di misura, robusta insensibilità ai disturbi, capacità di auto-diagnosi e auto-tuning.



## **6 MISURA DELL'ENERGIA ELETTRICA**

---

L'impianto elettrico previsto garantisce la possibilità di effettuare misure dell'energia elettrica assorbita ed immessa nei seguenti punti:

- Nella Cabina di Raccolta in prossimità della turbina AP03, in corrispondenza della linea 1 e 2 di collegamento con la SE – Totalizzatore energia lorda prodotta Zona 1;
- Nella Cabina di Raccolta in prossimità della turbina AP11, in corrispondenza della linea 3 e 4 di collegamento con la SE – Totalizzatore energia lorda prodotta Zona 2;
- Sul lato MT a 30 kV della SE, in corrispondenza delle linee di collegamento con le Cabine di Raccolta - Totalizzatore energia prodotta al netto delle perdite della linea;
- Sulla seziona AT della SE (eventualmente ridondata) – Totalizzatore energia prelevata ed immessa in rete.

## 7 AEROGENERATORE

Per il presente progetto si prevede l'utilizzo di aerogeneratori di marca Vestas, modello V162, ciascuno avente potenza nominale pari a 6,2 MW, o modelli equivalenti.

### 7.1 PMSG: Generatore Sincrono a Magneti Permanenti

L'aerogeneratore monta un Generatore Sincrono a Magneti Permanenti connesso alla rete per mezzo di un convertitore AC/AC a quattro quadranti.

Lo chassis del generatore è realizzato in modo da garantire la circolazione di aria di raffreddamento nel rotore e nello statore. Il calore generato dalle perdite è rimosso per mezzo di uno scambiatore acqua/aria.

Nelle seguenti tabelle si riportano le principali caratteristiche elettriche del generatore adoperato:

*Tabella 3: Caratteristiche elettriche Generatore*

|  |         |
|--|---------|
| <i>Potenza Nominale [kW]</i>               | 6200 kW |
| <i>Tensione alla Velocità Nominale [V]</i> | 3 x 800 |
| <i>Numero di Poli</i>                      | 36      |
| <i>Range di velocità [rpm]</i>             | 0 – 460 |
| <i>Limite di velocità [rpm]</i>            | 720     |

### 7.2 Convertitore di Frequenza AC/AC

Il convertitore a quattro quadranti è utilizzato in maniera tale da garantire il controllo sia lato rete che lato generatore. Il convertitore si occupa di convertire la frequenza variabile AC del generatore in frequenza fissa AC di rete, con il desiderato livello di potenza attiva e reattiva richiesta.

Di seguito alcune grandezze elettriche caratteristiche del convertitore:

*Tabella 4: Caratteristiche elettriche Convertitore AC/AC*

|   |         |
|---|---------|
| <i>Potenza Apparente [kVA]</i>              | 6750    |
| <i>Tensione nominale di rete [V]</i>        | 3x720   |
| <i>Tensione nominale del generatore [V]</i> | 3 x 800 |
| <i>Corrente nominale di rete [A]</i>        | 5400    |

### 7.3 Trasformatore MT/BT

Il trasformatore MT/BT è inserito in un locale separato chiuso, sul retro della navicella. È un trasformatore trifase, a doppio avvolgimento e immerso in un liquido poco infiammabile e “eco-design”. È equipaggiato con un circuito esterno di raffreddamento ad acqua.

Si riportano di seguito alcune informazioni chiave:

*Tabella 5: Caratteristiche elettriche Trasformatore BT/MT*

|   |       |
|---|-------|
| <i>Potenza Apparente [kVA]</i>              | 7000  |
| <i>Potenza reattiva a vuoto [kVAr]</i>      | ~17   |
| <i>Potenza reattiva sotto carico [kVAr]</i> | ~735  |
| <i>Tensione nominale lato BT [kV]</i>       | 0.72  |
| <i>Tensione nominale lato MT [kV]</i>       | 30    |
| <i>Frequenza [Hz]</i>                       | 50    |
| <i>Gruppo</i>                               | Dyn11 |

### 7.4 Cavo MT

Il cavo MT dal trasformatore arriva direttamente all'interruttore MT allocato internamente alla base della torre. In particolare, possono essere utilizzati due tipologia di cavi:

- Cavo tripolare MT, isolato in gomma, senza alogeni, con un cavo di terra multipolare;
- Cavo quadrupolare MT, isolato in gomma, senza alogeni.

Si riportano di seguito alcuni dati aggiuntivi:

*Tabella 6: Caratteristiche elettriche Cavo MT interno*

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <i>Materiale Isolante</i> | EPR o HEPR  |
| <i>Terminazioni</i>       | Connettore T, Tipo C, lato Trasformatore<br>Connettore T, Tipo C, lato Interruttore |
| <i>Massima Tensione</i>   | 42 kV per una tensione nominale di 30 kV  |
| <i>Sezione Cavo</i>       | 3x70 + 70 mm <sup>2</sup> (PE unico)<br>3x70 + 3x70/3 mm <sup>2</sup> (PE diviso)   |

## 7.5 Apparato di Interruzione e Protezione

L'interruttore isolato in SF6 è installato alla base della torre, internamente come parte integrante della turbina. I suoi controlli sono integrati con il sistema di sicurezza dell'aerogeneratore, che monitora le condizioni dell'interruttore e i dispositivi di sicurezza in MT. Per garantire che l'interruttore sia sempre pronto, esso è ridondato di "trip coil", sia per la fase di protezione che per eventuali condizioni di sotto-tensione.

L'interruttore è configurabile in funzione del numero di cavi che si prevede entrino nella turbina. Si riportano di seguito alcuni dati aggiuntivi:

*Tabella 7: Caratteristiche elettriche Interruttore MT*

|   |         |
|---|---------|
| <i>Tensione nominale</i>                                  | 36 kV   |
| <i>Tensione di Isolamento verso Terra (AC)</i>            | 70 kV   |
| <i>Tensione di isolamento da Scarica Atmosferica (LI)</i> | 170 kV  |
| <i>Frequenza</i>  | 50 Hz   |
| <i>Corrente di corto-circuito nominale</i>                | 25 kA   |
| <i>Corrente di corto-circuito di picco</i>                | 62,5 kA |
| <i>Massima durata di un corto-circuito</i>                | 1 s     |

## 7.6 Servizi Ausiliari

Il sistema dei servizi ausiliari è alimentato da un diverso trasformatore (720/400 V) posizionato nella navicella. Il primario (720 V) di questo trasformatore è alimentato direttamente dal quadro del convertitore AC/AC. Tutti i carichi nella turbina (motori, pompe, ventilatori e scambiatori) sono alimentati da questo sistema.

L'alimentazione 400 V è trasferita dalla Navicella al quadro di controllo della Torre, posizionato all'entrata della turbina, e distribuita fra diversi 400 e 230 V carichi, come l'ascensore, luci di sistema, carichi "general purpose", riscaldamento interno della cabina e ventilazione.

È previsto, inoltre, un trasformatore di controllo 400/230 V che alimenta l'UPS vicino al quadro.

I consumi sono definiti come la potenza che è usata dalla turbina quando questa non sta fornendo energia alla rete. È definito nel sistema di controllo come "Production Generator Zero". I seguenti componenti hanno

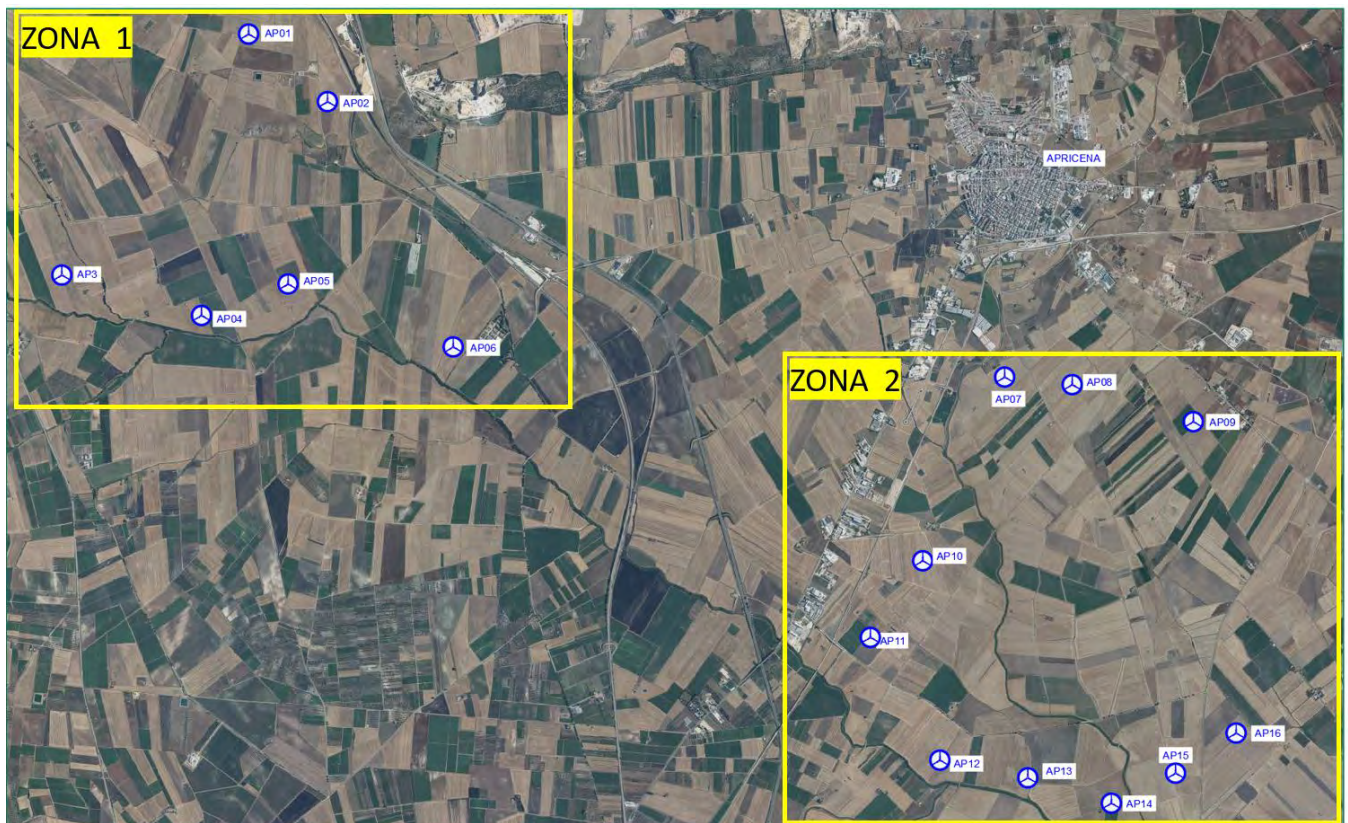
la più grande influenza in termini di consumi di un aerogeneratore. I valori indicati rappresentano il massimo raggiungibile ma il consumo medio può essere inferiori in funzione delle condizioni di lavoro attuali, clima, ecc...:

**Tabella 8: Contributi Principali all'Autoconsumo**

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| <i>Motore Idraulico</i>                         | 3 x 18,5 kW                          |
| <i>Motore per l'Imbardata</i>                   | Max 26 kW                            |
| <i>Ventilatori per Raffreddamento</i>           | 4 x 2,5 kW                           |
| <i>Pompe Idrauliche</i>                         | 4 kW + 7,5 kW                        |
| <i>Pompa Olio per Lubrificazione Cuscinetti</i> | 7,5 kW                               |
| <i>Controllore</i>                              | 3 kW                                 |
| <i>Perdite a Vuoto del Trasformatore MT/BT</i>  | Vedere Tabella Perdite Trasformatore |

## 8 LINEE MT DI INTERCONNESSIONE AEROGENERATORI – SE UTENTE

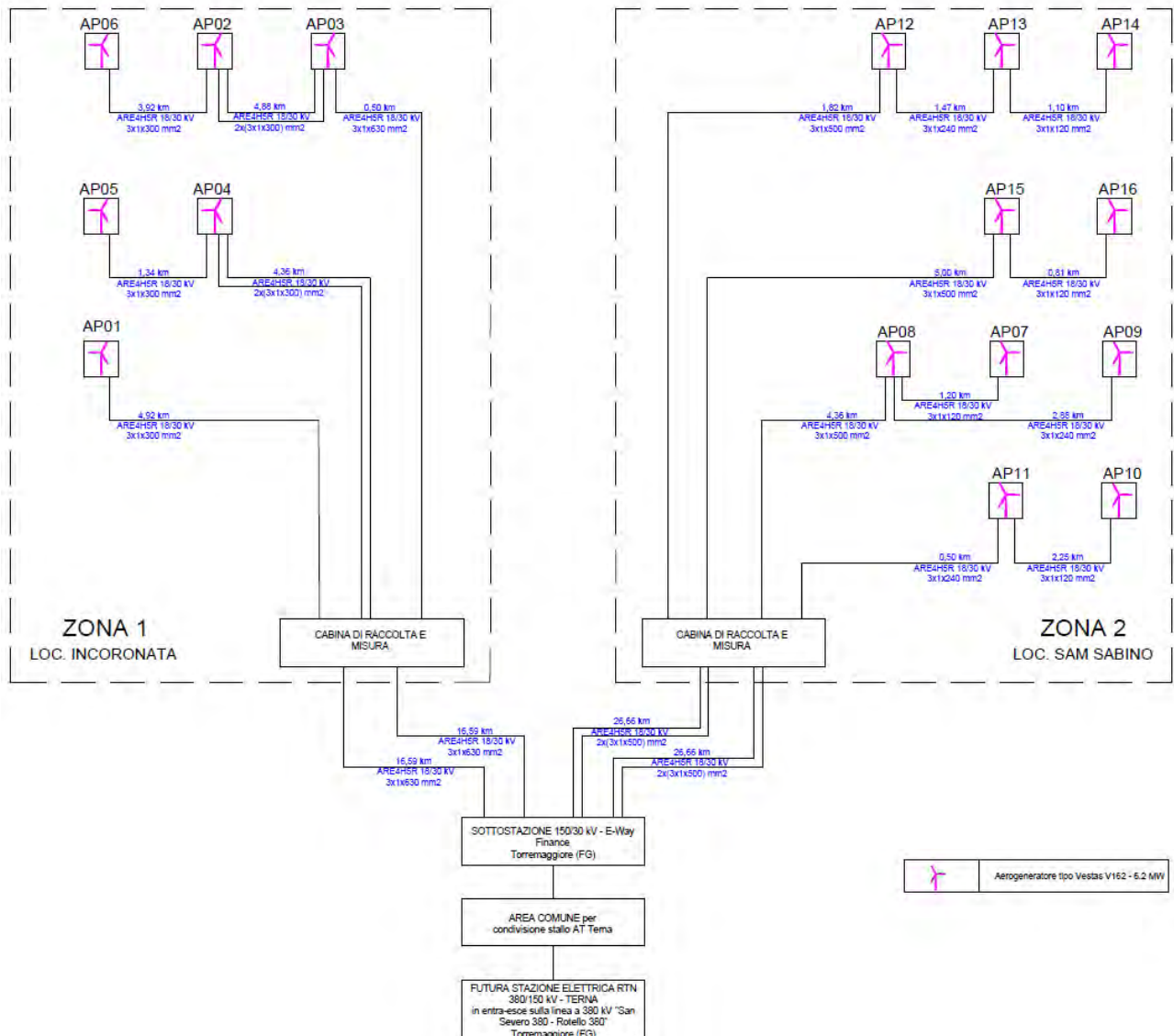
Considerando la distribuzione degli aerogeneratori nell’impianto, come già anticipato precedentemente, per la scelta progettuale elettrica si è deciso di dividere l’impianto in due Zone, come evidenziato in figura:



**Figura 11: Suddivisione Zonale dell’Impianto Eolico su Ortofoto**

I due impianti risultano essere elettricamente “indipendenti” in quanto, a partire da una Cabina di Raccolta e Misura dedicata per zona, inizia un cavidotto interrato in MT di connessione con la SE Utente. In ogni Zona, gli aerogeneratori sono collegati tra loro in “entra-esce” con un cavidotto interrato in MT.

La seguente figura è estrapolata da “EO.APR01.PD.H.06.2 - Schema delle Connessioni Elettriche delle Opere di Progetto” mostra uno schema semplificato delle connessioni ipotizzate:



**Figura 12: Schema di collegamento degli aerogeneratori**

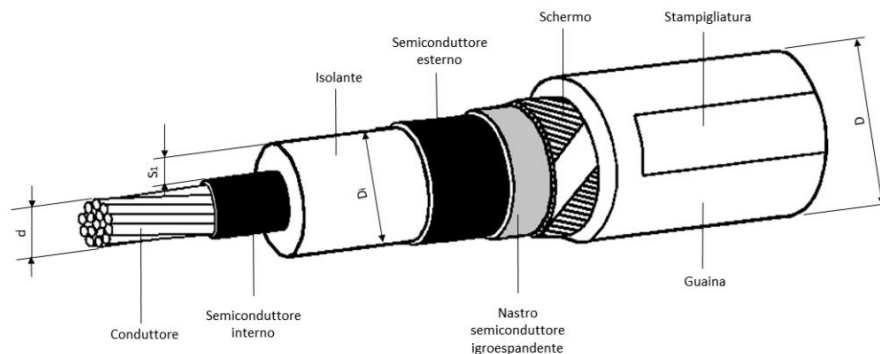
## 8.1 Tipologia Cavi

Per il collegamento elettrico in MT, si prevede l'utilizzo di cavi unipolari di tipo ARE4H5E-18/30 kV, aventi le seguenti caratteristiche:

- Anima realizzata con conduttore a corda rotonda compatta di alluminio;
- Semiconduttore interno a miscela estrusa;
- Isolante in miscela di polietilene reticolato per temperature a 85°C XLPE;
- Semiconduttore esterno a miscela estrusa;

- Rivestimento protettivo realizzato con nastro semiconduttore igroespandente;
- Schermo a nastro in alluminio avvolto a cilindro longitudinale ( $R_{max} = 3 \Omega/km$ );
- Guaina in polietilene, colore rosso.

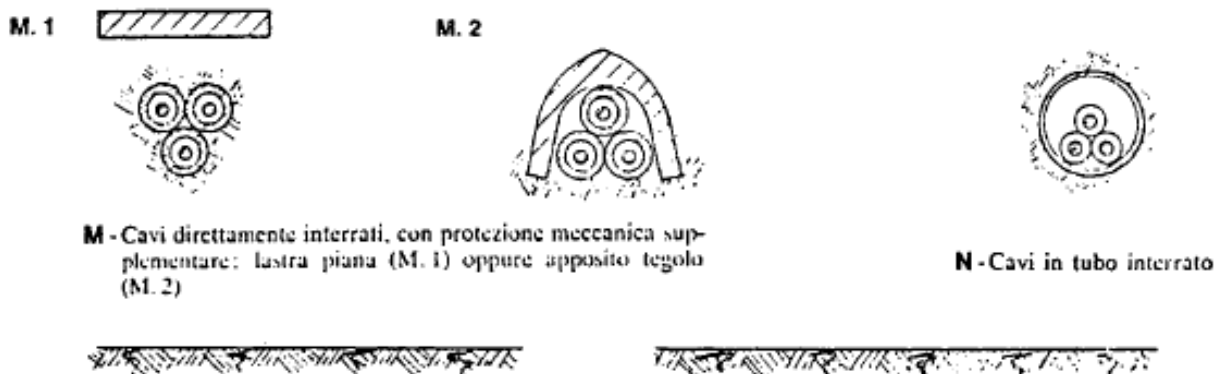
Il cavo rispetta le prescrizioni delle norme HD 620 per quanto riguarda l'isolante; per tutte le altre caratteristiche rispetta la IEC 60502-2.



**Figura 13: Immagine indicativa del tipo di Cavo**

## 8.2 Tipologia Posa

Il cavidotto MT che interessa il collegamento tra il parco eolico, la cabina di raccolta e la sottostazione elettrica seguirà le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17. Sarà costituito da cavi unipolari direttamente interrati (modalità di posa tipo M), ad eccezione degli attraversamenti di opere stradali e o fluviali richieste dagli enti concessionari, per i quali sarà utilizzata una tipologia di posa che prevede i cavi unipolari in tubo interrato (modalità di posa N). La posa verrà eseguita ad una profondità di 1,2 m.



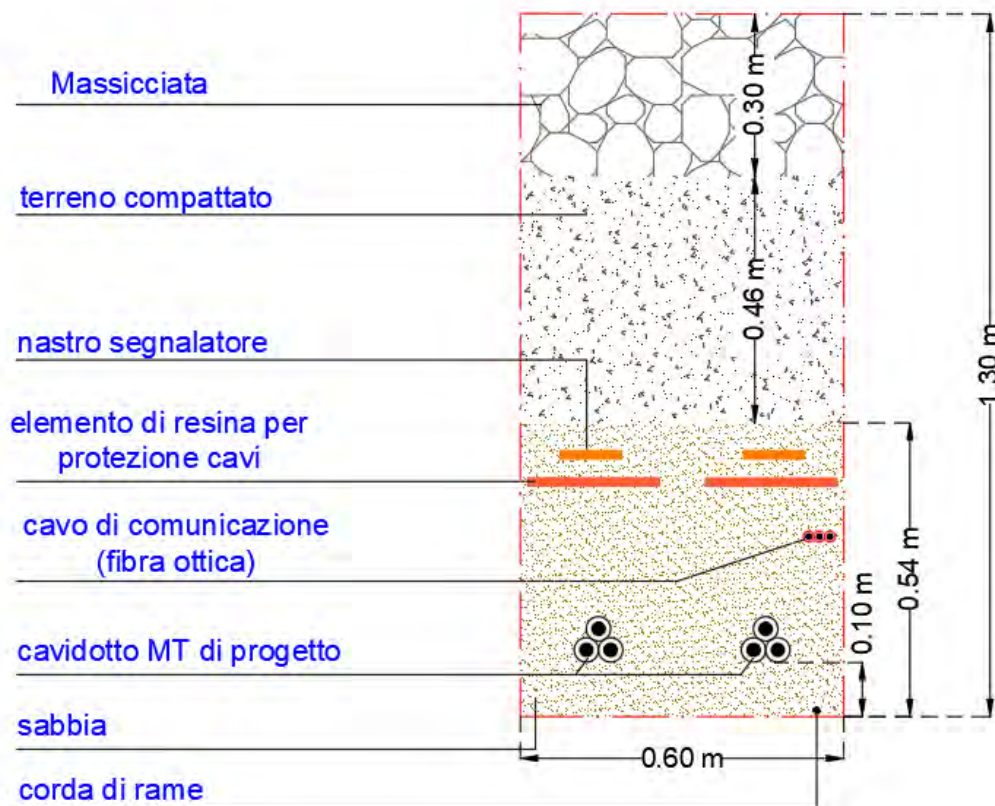
**Figura 14: Modalità di Posa (CEI 11-17)**

Il tracciato del cavidotto, che segue la viabilità prima definita, è realizzato nel seguente modo:

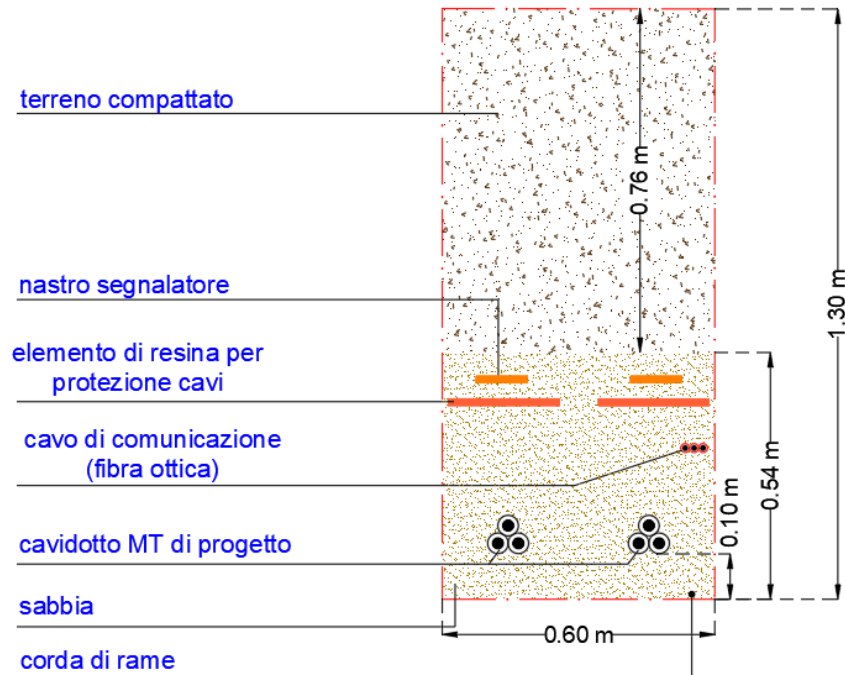


- Scavo a sezione ristretta obbligata (trincea) con dimensioni variabili;
- Letto di sabbia di circa 10 cm, per la posa delle linee MT avvolte ad elica;
- Rinfiando e copertura dei cavi MT con sabbia per almeno 10 cm;
- Corda nuda in rame (o in alluminio) per la protezione di terra (avente, come previsto da norma CEI EN 61936-1, una sezione maggiore o uguale di 16 mm<sup>2</sup> per il rame e 35 mm<sup>2</sup> nel caso di alluminio), e tubazioni PVC per il contenimento dei cavi di segnale e della fibra ottica, posati direttamente sulla sabbia, all'interno dello scavo;
- Riempimento per almeno 20 cm con sabbia;
- Inserimento per tutta la lunghezza dello scavo, e in corrispondenza dei cavi, delle tegole protettive in plastica rossa per la protezione e individuazione del cavo stesso;
- Nastro in PVC di segnalazione;
- Rinterro con materiale proveniente dallo scavo o con materiale inerte.

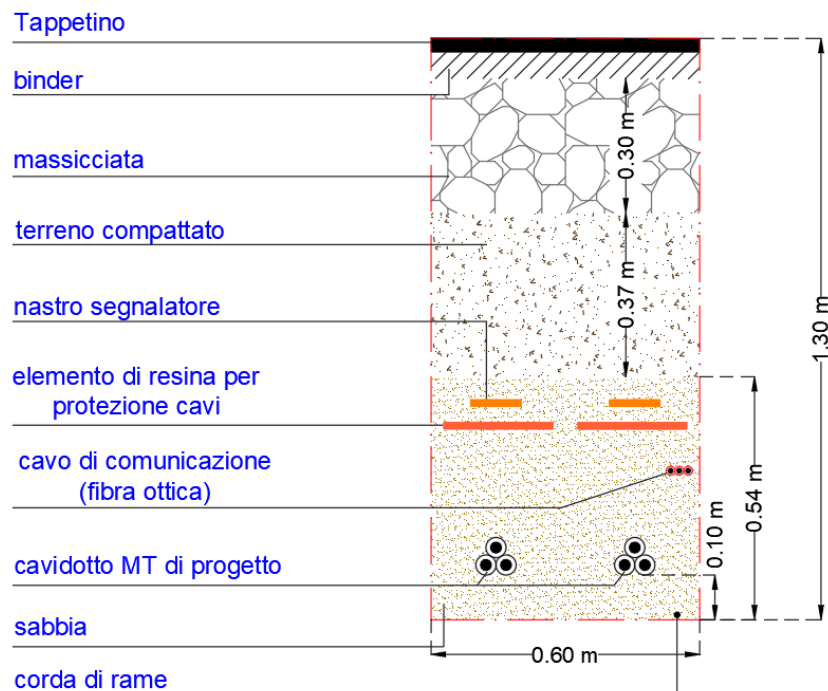
Si riportano di seguito alcune sezioni generiche del cavidotto:



*Figura 15: Sezione Cavidotto Doppia Trincea su Strada Bianca*



**Figura 16: Sezione Cavidotto Doppia Terna su Terreno**



**Figura 17: Sezione Cavidotto Doppia Terna su Strada Asfaltata**

Si rimanda alla Tavola "EO.APR01.PD.E.03 – Layout di progetto su CTR in fase di cantiere" per ulteriori dettagli.

## 9 DIMENSIONAMENTO CAVI MT

Per il dimensionamento dei cavi in MT è stato adoperato il criterio termico (come indicato dalla CEI UNEL 35027), utilizzando il criterio elettrico come ulteriore verifica delle sezioni scelte. Per il criterio termico è necessario individuare innanzitutto la corrente d'impiego  $I_b$  per la singola tratta, in modo da garantire che la portata del cavo  $I_0$  (opportunosamente corretta) sia sempre maggiore della corrente d'impiego prevista.

$$I_z = K_{TT} \cdot K_n \cdot K_p \cdot K_r \cdot I_0 > I_b$$

Dove:

- $K_{TT}$  è il coefficiente di correzione per posa interrata e temperature ambientali diverse dai 20 °C;
- $K_n$  è il coefficiente di correzione per numero di conduttori caricati nello scavo maggiore di 1;
- $K_p$  è il coefficiente di correzione per valori di profondità di posa diversa da 0,8 m;
- $K_r$  è il coefficiente di correzione per valori di resistività termica diversi da 1,0 K m/W.

Per il criterio elettrico è necessario verificare che la massima caduta di tensione sul cavidotto, nelle condizioni di funzionamento ordinario e particolari previsti (per es. avviamento motori), sia entro valori accettabili in relazione al servizio. Indicazioni circa i valori ammissibili per la caduta di tensione possono essere ricavati dalle norme relative agli apparecchi utilizzatori connessi e dalle norme relative agli impianti, ove applicabili. Nel caso specifico si assume:

$$\Delta V = K_L \cdot (RI \cos\varphi + XI \sin\varphi) \leq 4\%$$

Dove:

- $K_L$ , coefficiente di linea: 2 per linea monofase e  $\sqrt{3}$  per linea trifase;
- $R$ , resistenza del cavo;
- $X$ , reattanza del cavo;
- $I$ , corrente di impiego ( $I_b$ );
- $\cos\varphi$  ( $\sin\varphi$ ), fattore di potenza.

Data la suddivisione precedentemente fatta, si considerano le zone come due impianti separati; i dimensionamenti che seguono, quindi, sono indipendenti l'uno dall'altro.

### 9.1 Zona 1

Si riportano i dati di progetto per il dimensionamento delle varie tratte del cavidotto interno ed esterno, dove ogni tratta è codificata nel formato XX-YY, dove:

- XX è il numero della turbina di partenza;
- YY o è il numero della turbina di arrivo o è l'identificativo della Cabina di Raccolta (CR).

*Tabella 9: Dati di Progetti per Dimensionamento Elettrico – Zona 1*

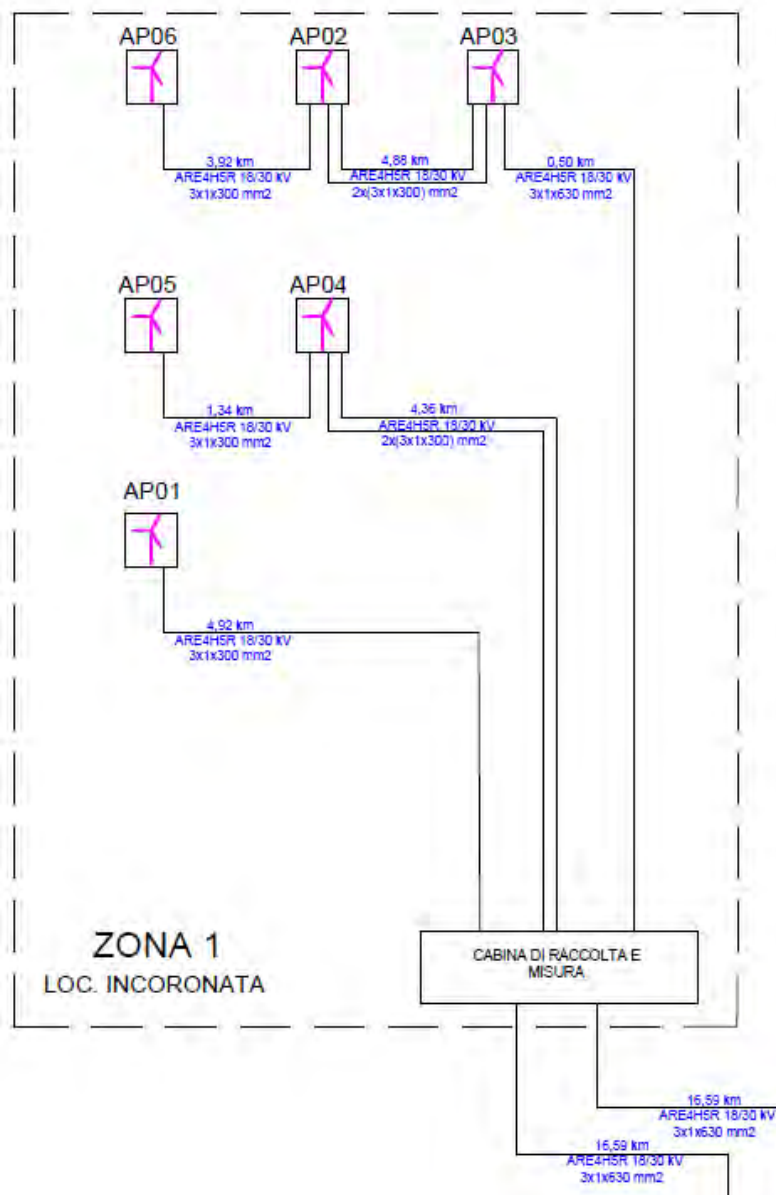
| <i>Aerogeneratori interessati</i>         | <b>AP02 – AP03 – AP06</b> |              |              |               | <b>AP02 – AP04 – AP05</b> |              |              |               |
|---|---------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------------------|--------------|--------------|---------------|
| <i>Tratta</i>                             | <b>06-02</b>              | <b>02-03</b> | <b>03-CR</b> | <b>Linea1</b> | <b>02-CR</b>              | <b>05-04</b> | <b>04-CR</b> | <b>Linea2</b> |
| <i>Potenza [kW]</i>                       | 6200                      | 12400        | 18600        | 18600         | 6200                      | 6200         | 12400        | 18600         |
| <i>Corrente <math>I_b</math> [A]</i>      | 125,60                    | 251,20       | 376,80       | 376,80        | 125,60                    | 125,60       | 251,20       | 376,80        |
| <i>Lunghezza [km]</i>                     | 3,92                      | 4,88         | 0,50         | 16,59         | 4,92                      | 1,34         | 4,36         | 16,59         |
| <i>Tensione di esercizio [kV]</i>         | 30,00                     |              |              |               |                           |              |              |               |
| <i><math>\Delta V</math> max impianto</i> | 4,00 %                    |              |              |               | 4,00 %                    |              |              |               |
| <i>cos <math>\varphi</math></i>           | 0,95                      |              |              |               |                           |              |              |               |
| <i>Tipo di posa</i>                       | Interrato                 |              |              |               |                           |              |              |               |
| <i>Tipo di linea</i>                      | Trifase                   |              |              |               |                           |              |              |               |
| <i>Temp. Ambiente [°C]</i>                | 25                        |              |              |               |                           |              |              |               |
| <i>Temp. Posa [°C]</i>                    | 35                        |              |              |               |                           |              |              |               |
| $K_{TT}$                                  | 0,89                      |              |              |               |                           |              |              |               |
| <i>Profondità Posa [m]</i>                | 1,20                      |              |              |               |                           |              |              |               |
| $K_p$                                     | 0,98                      |              |              |               |                           |              |              |               |
| <i>N° Terne nello Scavo</i>               | 1                         | 6            | 1            | 2             | 4                         | 1            | 6            | 2             |
| $K_n$                                     | 1,00                      | 0,69         | 1,00         | 0,86          | 0,74                      | 1,00         | 0,69         | 0,86          |
| <i>Distanza Terne [mm]</i>                | 250                       |              |              |               |                           |              |              |               |
| <i><math>\rho</math> [K m/W]</i>          | 1,5                       |              |              |               |                           |              |              |               |
| $K_r$                                     | 0,85                      |              |              |               |                           |              |              |               |

Si tenga conto che il dimensionamento è riferito alla posa M, in quanto prevalente rispetto la posa N, mentre i fattori di correzione sono stati desunti a partire dalla CEI UNEL 35027.

Dalla Tabella 9 è possibile evidenziare una distinzione delle Linee di uscita dalla Cabina di Raccolta (Linea1 e Linea2). La motivazione risiede nella ricerca di un compromesso tra la distribuzione degli aerogeneratori nella zona (e quindi motivazioni tecniche) e l'affidabilità dell'impianto; in particolare, si è deciso che:

- 3 è il numero massimo di "entra-esce" consentito fra gli aerogeneratori;
- Ogni 3 turbine in ingresso alla cabina di Raccolta, si è progettata una linea dedicata.

Quanto indicato, è evidenziato in Figura 12 e il cui estratto si riporta di seguito:



**Figura 18: Estratto Schema di collegamento – Zona 1**

Si riportano di seguito le scelte progettuali delle sezioni dei cavi ARE4H5E – 18/30 kV:

**Tabella 10: Dimensionamento Cavi – Zona 1**

| Tratta                              | 06-02  | 02-03  | 03-CR  | Linea1 | 02-CR  | 05-04  | 04-CR  | Linea2 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sezione Cavo [mm <sup>2</sup> ]     | 300    | 300    | 630    | 630    | 300    | 300    | 300    | 630    |
| Cavi in Parallelo                   | 1      | 2      | 1      | 1      | 1      | 1      | 2      | 1      |
| Portata Cavo $I_0$ [A] <sup>1</sup> | 480    | 480    | 709    | 709    | 480    | 480    | 480    | 709    |
| Portata effettiva $I_z$ [A]         | 355,86 | 491,08 | 525,63 | 452,04 | 263,33 | 355,86 | 491,08 | 452,04 |

Si riportano nella tabella successiva le caratteristiche meccaniche ed elettriche in funzione delle sezioni scelte:

**Tabella 11: Caratteristiche meccaniche ed elettriche del Cavo in funzione della Sezione scelta – Zona 1**

| Sezione [mm <sup>2</sup> ] | Diametro Conduttore d [mm] | Diametro sull'isolante Di [mm] | Diametro esterno nominale D [mm] | Massa indicativa del cavo [kg/km] | Raggio di Curvature [mm] | Resistenza a trifoglio @ 90 °C [Ω/km] | Reattanza a trifoglio @ 50 Hz [Ω/km] |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 300                        | 20,8                       | 34,7                           | 44                               | 1749                              | 590                      | 0,1360                                | 0,110                                |
| 630                        | 30,5                       | 45,6                           | 56                               | 3130                              | 760                      | 0,0739                                | 0,099                                |

Di seguito una tabella riepilogativa con le perdite ricavate a partire dalle caratteristiche del cavo e dalla configurazione d'impianto:

**Tabella 12: Perdite Impianto – Zona 1**

| Impianto           | 1                    |                     |                     |                      | 2                    |                     |                     |                      |
|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
|                    | 06-02                | 02-03               | 03-CR               | Linea1               | 02-CR                | 05-04               | 04-CR               | Linea2               |
| Caduta di Tensione | 117,65 V<br>(0,39 %) | 45,73 V<br>(0,15 %) | 28,46 V<br>(0,09 %) | 994,26 V<br>(3,15 %) | 147,66 V<br>(0,49 %) | 40,22 V<br>(0,13 %) | 40,85 V<br>(0,14 %) | 944,26 V<br>(3,15 %) |
| Potenza Dissipata  | 20,2 kW<br>(0,33 %)  | 12,6 kW<br>(0,10 %) | 12,6 kW<br>(0,07 %) | 418,8 kW<br>(2,25 %) | 25,4 kW<br>(0,41 %)  | 6,9 kW<br>(0,11 %)  | 11,3 kW<br>(0,09 %) | 418,8 kW<br>(2,25 %) |

<sup>1</sup> Trifoglio, direttamente interrato, a  $\rho = 1 \text{ K m /W}$

Come si può evincere dalla tabella:

- la c.d.t. totale dell'impianto 1 stimata è pari a:

$$\Delta V = 1136,1 (3,79\%) < 1200 V (4\%)$$

- la c.d.t. totale dell'impianto 2 stimata è pari a:

$$\Delta V = 1173,0 (3,91\%) < 1200 V (4\%)$$

Per quanto riguarda la potenza dissipata, per entrambi gli impianti rientriamo in un valore inferiore al 3 %.

## 9.2 Zona 2

**Tabella 13: Dati di Progetti per Dimensionamento Elettrico – Zona 2**

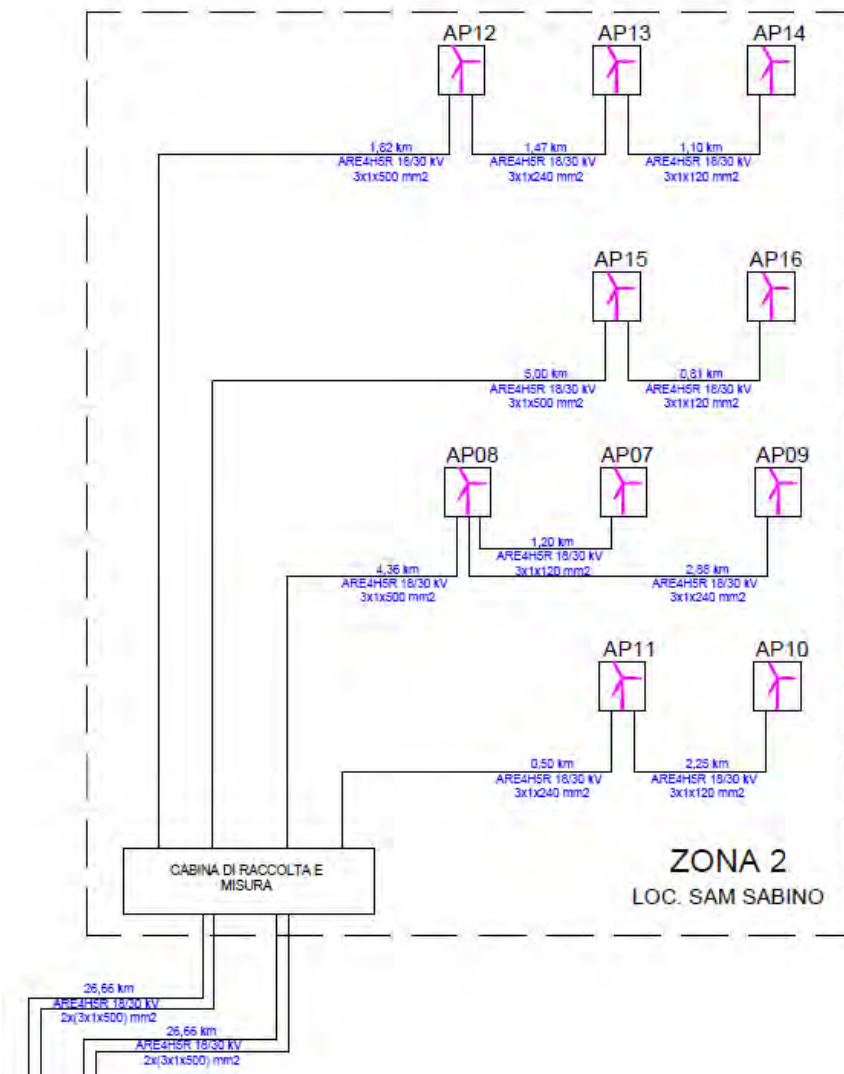
| Aerogeneratori<br>interessati | AP16 – AP15 – AP14 – AP13 – AP12 |       |       |       |       |        | AP07 – AP08 – AP09 – AP10 – AP11 |       |       |       |       |        |
|-------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                               | 16-15                            | 15-CR | 14-13 | 13-12 | 12-CR | Linea1 | 09-08                            | 07-08 | 08-CR | 10-11 | 11-CR | Linea2 |
| Tratta                        |                                  |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |
| Potenza [kW]                  | 6200                             | 12400 | 6200  | 12400 | 18600 | 31000  | 6200                             | 6200  | 18600 | 6200  | 12400 | 31000  |
| Corrente $I_b$ [A]            | 125,6                            | 251,2 | 125,6 | 251,2 | 376,8 | 628,0  | 125,6                            | 125,6 | 376,8 | 125,6 | 251,2 | 628,0  |
| Lunghezza [km]                | 0,81                             | 5,00  | 1,10  | 1,47  | 1,82  | 26,66  | 2,88                             | 1,20  | 4,36  | 2,25  | 0,50  | 26,66  |
| Tensione di esercizio         | 30 kV                            |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |
| $\Delta V$ max impianto       | 4,00 %                           |       |       |       |       |        | 4,00 %                           |       |       |       |       |        |
| cos $\varphi$                 | 0,95                             |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |
| Tipo di posa                  | Interrato                        |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |
| Tipo di linea                 | Trifase                          |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |
| Temp. Ambiente [°C]           | 25                               |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |
| Temp. Posa [°C]               | 35                               |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |
| $K_{TT}$                      | 0,89                             |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |
| Profondità Posa [m]           | 1,20                             |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |
| $K_p$                         | 0,98                             |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |
| N° Terne nello Scavo          | 1                                | 2     | 1     | 2     | 2     | 4      | 1                                | 1     | 2     | 2     | 1     | 4      |
| $K_n$                         | 1,00                             | 0,86  | 1,00  | 0,86  | 0,86  | 0,74   | 1,00                             | 1,00  | 0,86  | 0,86  | 1,00  | 0,74   |
| Distanza Terne [mm]           | 250                              |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |
| $\rho$ [K m/W]                | 1,5                              |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |
| $K_r$                         | 0,85                             |       |       |       |       |        |                                  |       |       |       |       |        |

Anche qui il dimensionamento è riferito alla posa M, in quanto prevalente rispetto la posa N, mentre i fattori di correzione sono stati desunti a partire dalla CEI UNEL 35027.

Dalla Tabella 13 è possibile evidenziare una distinzione delle Linee di uscita dalla Cabina di Raccolta (Linea1 e Linea2). Come per la Zona 1, la motivazione risiede nella ricerca del compromesso tra la distribuzione degli aerogeneratori nella zona e l'affidabilità dell'impianto. In questo caso:

- 3 è il numero di turbine massimo in "entra-esce";
- Ogni 5 turbine in ingresso alla cabina di Raccolta, si è progettata una linea dedicata.

Quanto indicato, è evidenziato in Figura 12 e il cui estratto si riporta di seguito:



**Figura 19: Estratto Schema di collegamento – Zona 2**



Si riportano di seguito le scelte progettuali delle sezioni dei cavi ARE4H5E – 18/30 kV:

**Tabella 14: Dimensionamento Cavi – Zona 2**

| Tratta                       | 16-15 | 15-CR | 14-13 | 13-12 | 12-CR | Linea1 | 09-08 | 07-08 | 08-CR | 10-11 | 11-CR | Linea2 |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Sez. Cavo [mm <sup>2</sup> ] | 120   | 500   | 120   | 240   | 500   | 500    | 240   | 120   | 500   | 120   | 240   | 500    |
| Cavi in Parallelo            | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 2      | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 2      |
| I <sub>0</sub> [A]           | 291   | 549   | 291   | 426   | 709   | 709    | 426   | 291   | 709   | 426   | 426   | 709    |
| I <sub>z</sub> [A]           | 216   | 350   | 216   | 272   | 452   | 778    | 316   | 216   | 452   | 272   | 316   | 778    |

In funzione del cavo scelto, si riporta nella tabella successiva le caratteristiche meccaniche ed elettriche:

**Tabella 15: Caratteristiche meccaniche ed elettriche del Cavo in funzione della Sezione scelta – Zona 2**

| Sezione<br>[mm <sup>2</sup> ] | Diametro<br>Conduttore<br>d [mm] | Diametro<br>sull'isolante<br>Di [mm] | Diametro<br>esterno<br>nominale D<br>[mm] | Massa<br>indicativa<br>del cavo<br>[kg/km] | Raggio di<br>Curvature<br>[mm] | Resistenza<br>a trifoglio<br>@ 90 °C<br>[Ω/km] | Reattanza<br>a trifoglio<br>@ 50 Hz<br>[Ω/km] |
|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---|--|--------------------------------|--|---|
| 120                           | 12,9                             | 27,4                                 | 36  | 1040                                       | 470                            | 0,3330   | 0,130   |
| 240                           | 18,2                             | 31,5                                 | 41  | 1480                                       | 550                            | 0,1680   | 0,120   |
| 500                           | 26,7                             | 41,0                                 | 51  | 2550                                       | 690                            | 0,0890   | 0,110   |

Di seguito una tabella riepilogativa con le perdite ricavate a partire dalle caratteristiche del cavo e dalla configurazione d'impianto:

| Impianto | 1      |        |        |        |        |        | 2      |        |        |        |        |        |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          | 16-15  | 15-CR  | 14-13  | 13-12  | 12-CR  | Linea1 | 09-08  | 07-08  | 08-CR  | 10-11  | 11-CR  | Linea2 |
| ΔV [V]   | 51,9   | 215,4  | 70,4   | 103,8  | 117,6  | 472,1  | 101,7  | 76,8   | 281,8  | 144,0  | 35,3   | 409,6  |
| (%)      | (0,17) | (0,72) | (0,23) | (0,35) | (0,39) | (1,57) | (0,34) | (0,26) | (0,94) | (0,48) | (0,12) | (1,57) |
| ΔP [kW]  | 12,8   | 84,2   | 17,3   | 46,7   | 69,0   | 701,8  | 22,9   | 18,9   | 165,3  | 35,5   | 15,9   | 701,8  |
| (%)      | (0,21) | (0,68) | (0,28) | (0,38) | (0,37) | (2,26) | (0,37) | (0,31) | (0,89) | (0,57) | (0,13) | (2,26) |



**RELAZIONE DI CALCOLO  
PRELIMINARE SUGLI IMPIANTI**

|                |                  |
|----------------|------------------|
| CODICE         | EO.APR01.PD.H.07 |
| REVISIONE n.   | 00               |
| DATA REVISIONE | 12/2021          |
| PAGINA         | 41 di 42         |

Come si può evincere dalla tabella:

- la c.d.t. totale dell'impianto 1 stimata è pari a:

$$\Delta V = 1031,3 (3,44 \% ) < 1200 V (4 \% )$$

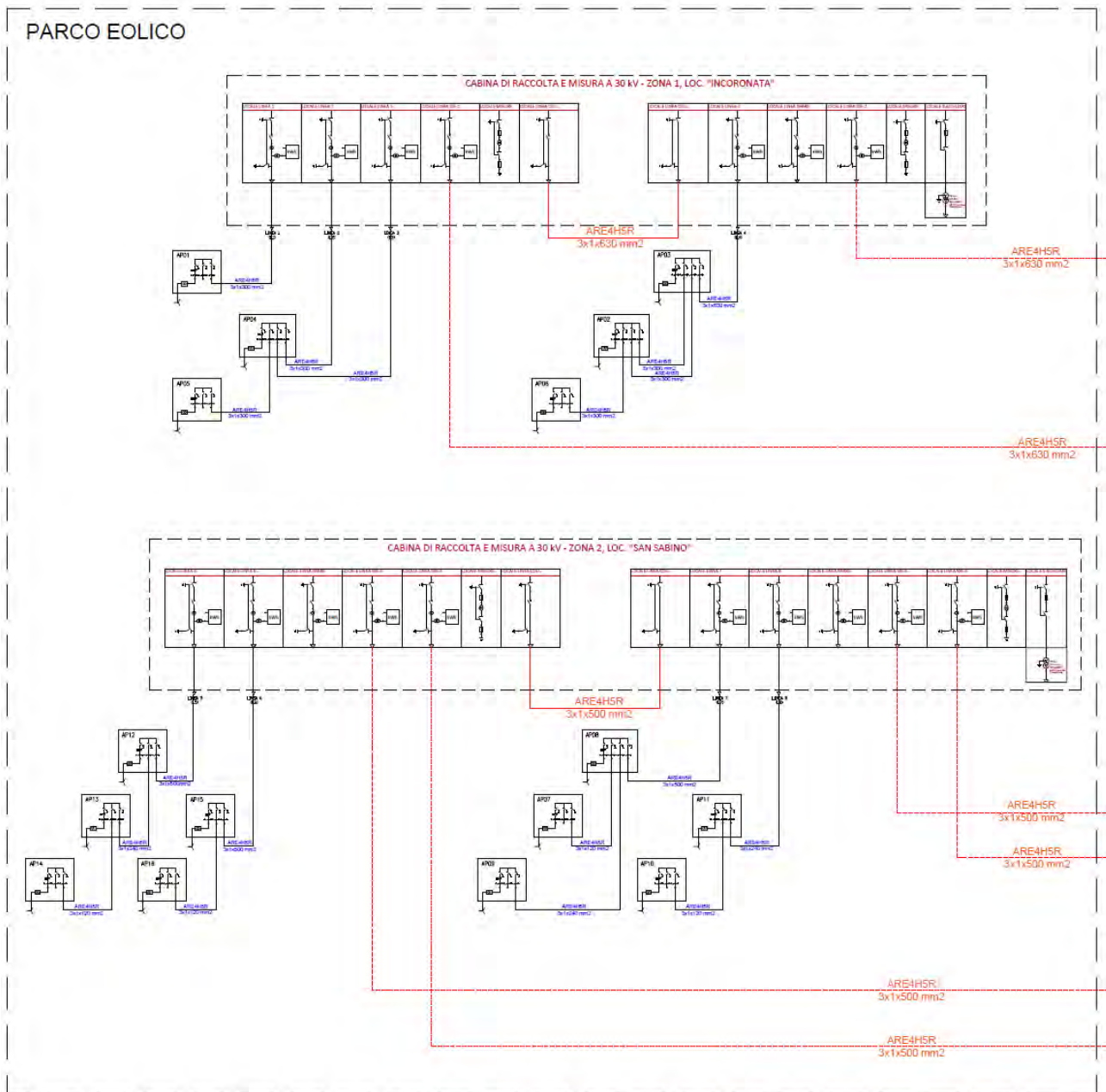
- la c.d.t. totale dell'impianto 2 stimata è pari a:

$$\Delta V = 1111,8 (3,71 \% ) < 1200 V (4 \% )$$

Per quanto riguarda la potenza dissipata, per entrambi gli impianti il valore è nell'intorno del 4 %.

## 10 SCHEMA ELETTRICO UNIFILARE IMPIANTO EOLICO

Si riporta di seguito un estratto dello schema unifilare dell'impianto eolico in esame. Per maggiori dettagli, si rimanda alla tavola "EO.APR01.PD.H.06.1- Schema Elettrico Unifilare".



**Figura 20: Estratto Schema Elettrico Unifilare**