

# AUTORIZZAZIONE UNICA EX D. LGS. N. 387/2003



Progetto Definitivo

## Parco Eolico Orgosolo-Oliena

Titolo elaborato:

# Calcolo preliminare degli impianti elettrici

EP	TL	GD	EMISSIONE	27/12/23	0	0
REDATTO	CONTR.	APPROV.	DESCRIZIONE REVISIONE DOCUMENTO	DATA	REV	

### PROPONENTE



**SCIROCCO PRIME SRL**

Via A. De Gasperi n. 8  
74023 Grottaglie (TA)

### CONSULENZA



**GECODOR SRL**

Via A. De Gasperi n. 8  
74023 Grottaglie (TA)

**PROGETTISTA**

Ing. Gaetano D'Oronzio

Codice  
**OROE058**

Formato A4

Scala

Foglio 1 di 27

## Sommarario

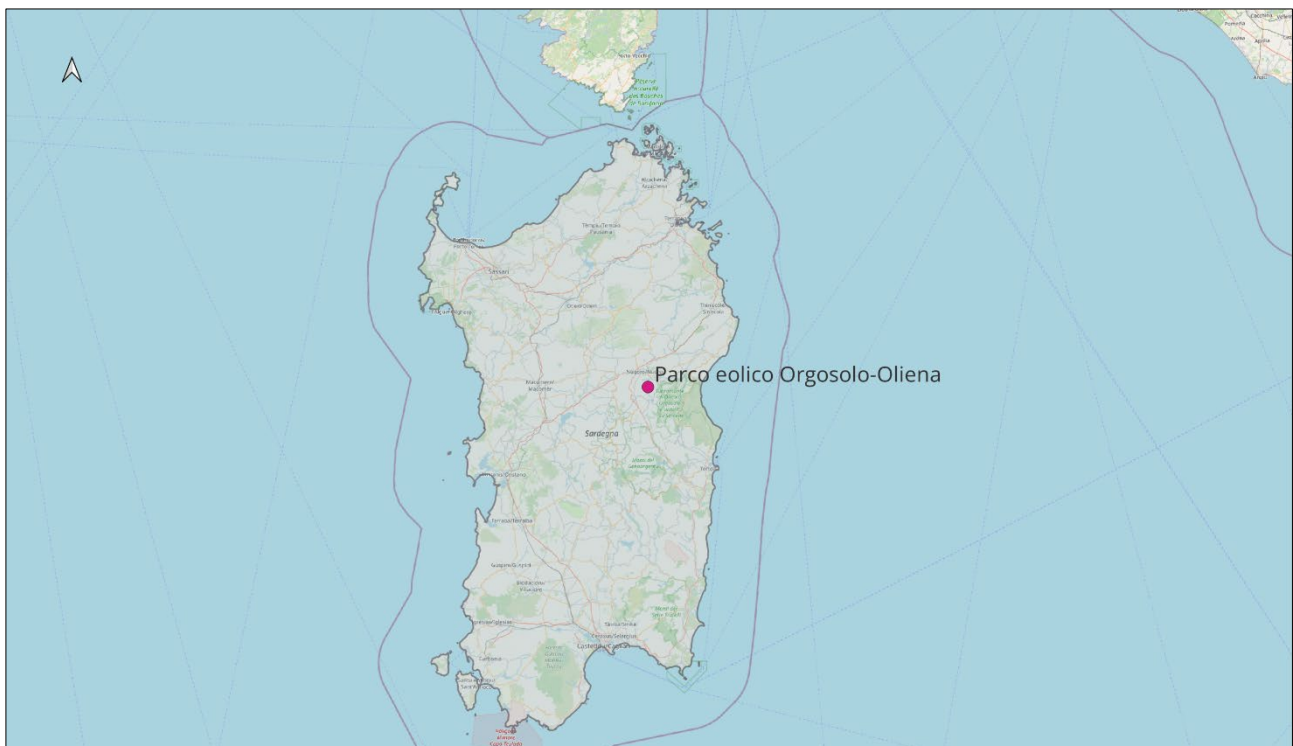
1. PREMESSA	3
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	4
3. DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO	6
4. SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DELLE LINEE ELETTRICHE	9
5. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DELLE LINEE A 33 KV	15
5.1. Criterio di dimensionamento	15
5.2. Posa e dati tecnici dei cavi a 33 kV utilizzati	15
5.3. Coesistenza tra i cavi elettrici di energia interrati e collegamenti interrati di altra natura	19
5.3.1. Coesistenza tra cavi di energia interrati e cavi di telecomunicazioni	19
5.3.2. Coesistenza tra cavi di energia interrati e tubazioni metalliche	19
5.3.3. Incroci di cavi	20
5.4. Calcolo delle portate	20
5.5. Calcolo della caduta di tensione	22
5.6. Calcolo della perdita di potenza	23
6. TABELLA DI CALCOLO	24
7. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO CAVI AT	26
8. CONCLUSIONI	27

## 1. PREMESSA

La “**Scirocco Prime s.r.l.**” è una società costituita per realizzare un impianto eolico in Sardegna, denominato “**Parco Eolico Orgosolo-Oliena**”, nel territorio dei comuni di Orgosolo e Oliena nella provincia di Nuoro.

L’impianto è caratterizzato da una potenza totale di 109,8 MW e ha punto di connessione in corrispondenza della Stazione Elettrica RTN Terna 150 kV, di futura realizzazione, nel Comune di Nuoro.

A tale scopo la Ge.co.D’Or. s.r.l., società italiana impegnata nello sviluppo di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili, con particolare focus nel settore dell’eolico e proprietaria della suddetta società, si è occupata della progettazione definitiva per la richiesta di Autorizzazione Unica (AU) alla costruzione e l’esercizio del suddetto impianto eolico e della relativa Valutazione d’Impatto Ambientale (VIA).



**Figura 1.1:** Localizzazione del Parco Eolico Orgosolo-Oliena

Il documento ha come scopo la descrizione dei criteri e delle tecniche adottate per il dimensionamento delle linee elettriche di connessione dell’impianto.

## 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

---

Nel seguito sono riportate le norme tecniche di riferimento del progetto in questione:

- ✓ IEC 60502-2: “Cavi di alimentazione con isolamento estruso e relativi accessori per tensioni nominali da 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) fino a 30 kV ( $U_m = 36$  kV) - Parte 2: Cavi per tensioni nominali da 6 kV ( $U_m = 7,2$  kV) fino a 30 kV ( $U_m = 36$  kV)”;
- ✓ IEC 60287: “Electric cables – Calculation of the current rating (12/2006)”;
- ✓ Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 – “Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità”;
- ✓ D.P.R. 18 marzo 1965, n. 342 – “Norme integrative della legge 6 dicembre 1962, n. 1643 e norme relative al coordinamento e all'esercizio delle attività elettriche esercitate da enti ed imprese diversi dall'Ente Nazionale per l'Energia Elettrica”;
- ✓ Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 – “Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”;
- ✓ Decreto Legislativo 31 marzo 1998, n. 112 – “Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59”;
- ✓ Legge 28 giugno 1986, n. 339 – “Nuove norme per la disciplina della costruzione e dell'esercizio di linee elettriche aeree esterne”;
- ✓ DM 29/05/2008 – “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”;
- ✓ Legge 22 febbraio 2001, n. 36 – “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetiche”;
- ✓ Norma CEI 20-24: Giunzioni e terminazioni per cavi di energia;
- ✓ Norma CEI 20-13: Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 a 30 kV;
- ✓ Norma CEI 11-1: Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata;

- ✓ Norma CEI 20-56: Cavi da distribuzione con isolamento estruso per tensioni nominali da 3,6/6 (7,2) kV a 20,8/36 (42) kV inclusi;
- ✓ Norma CEI EN 50522 (CEI 99-3) – “Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.”;
- ✓ Norma CEI EN 61936-1 (CEI 99-2): Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a - Parte 1: Prescrizioni comuni;
- ✓ Norma CEI 11-4: Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne;
- ✓ Norma CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo;
- ✓ Norma CEI 11-3; V1: Impianti di produzione eolica;
- ✓ Norma CEI 11-32: Impianti di produzione di energia elettrica collegati a reti di III categoria;
- ✓ Norma CEI 11-35: Guida all’esecuzione delle cabine elettriche d’utente;
- ✓ Norma CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica;
- ✓ Norma CEI 11-25: Calcolo delle correnti di corto circuito nelle reti trifasi a c.a., (IIa Ediz., Fasc. 6317, 2001-12);
- ✓ Norma CEI 17-1: Apparecchiature ad alta tensione – Interruttori a corrente alternata ad alta tensione;
- ✓ Norma CEI 211-6/2001 – “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) – Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo”;
- ✓ Norma CEI 211-4/1996 – “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”.

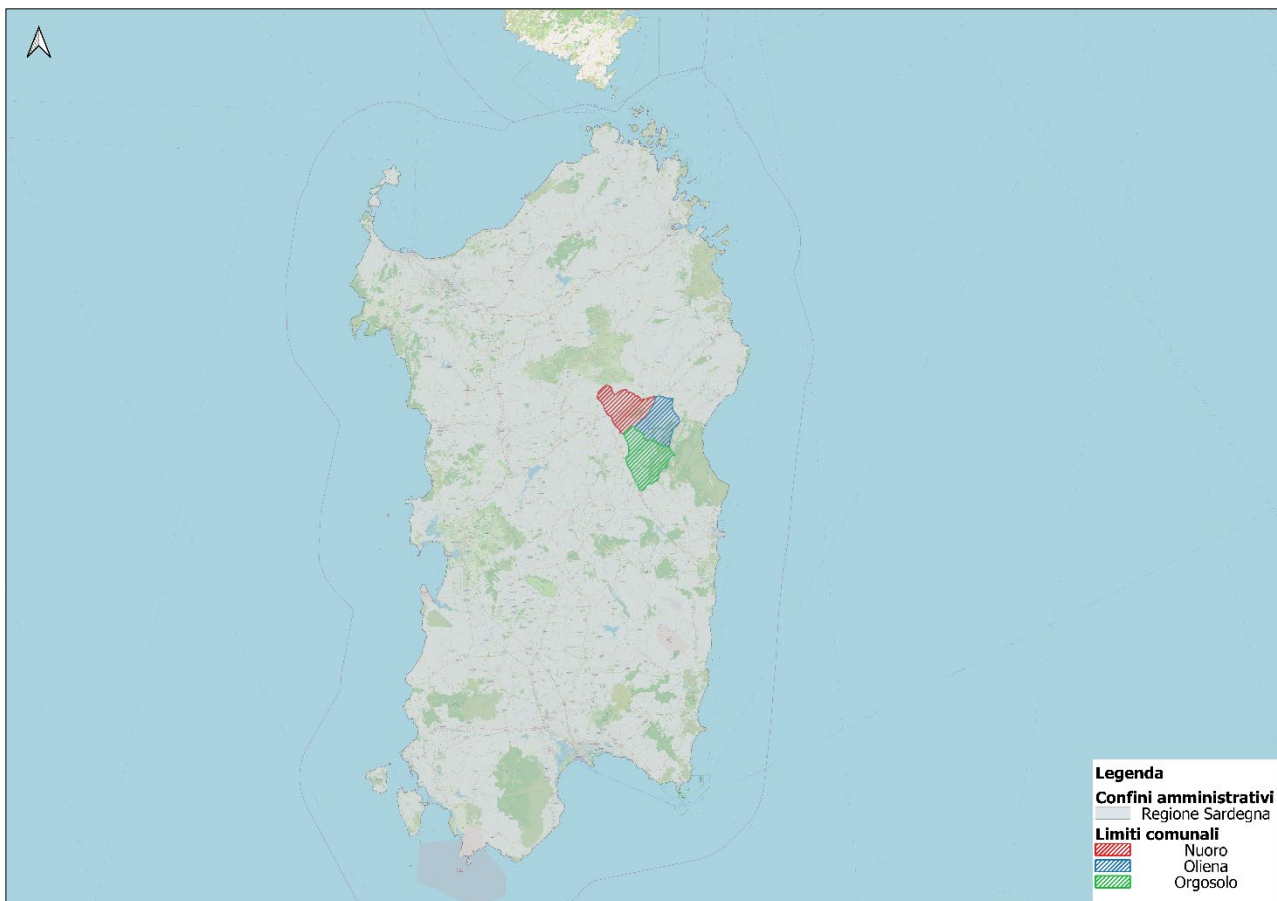
### 3. DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO

L'impianto eolico presenta una potenza totale pari a 109,8 MW ed è costituito da:

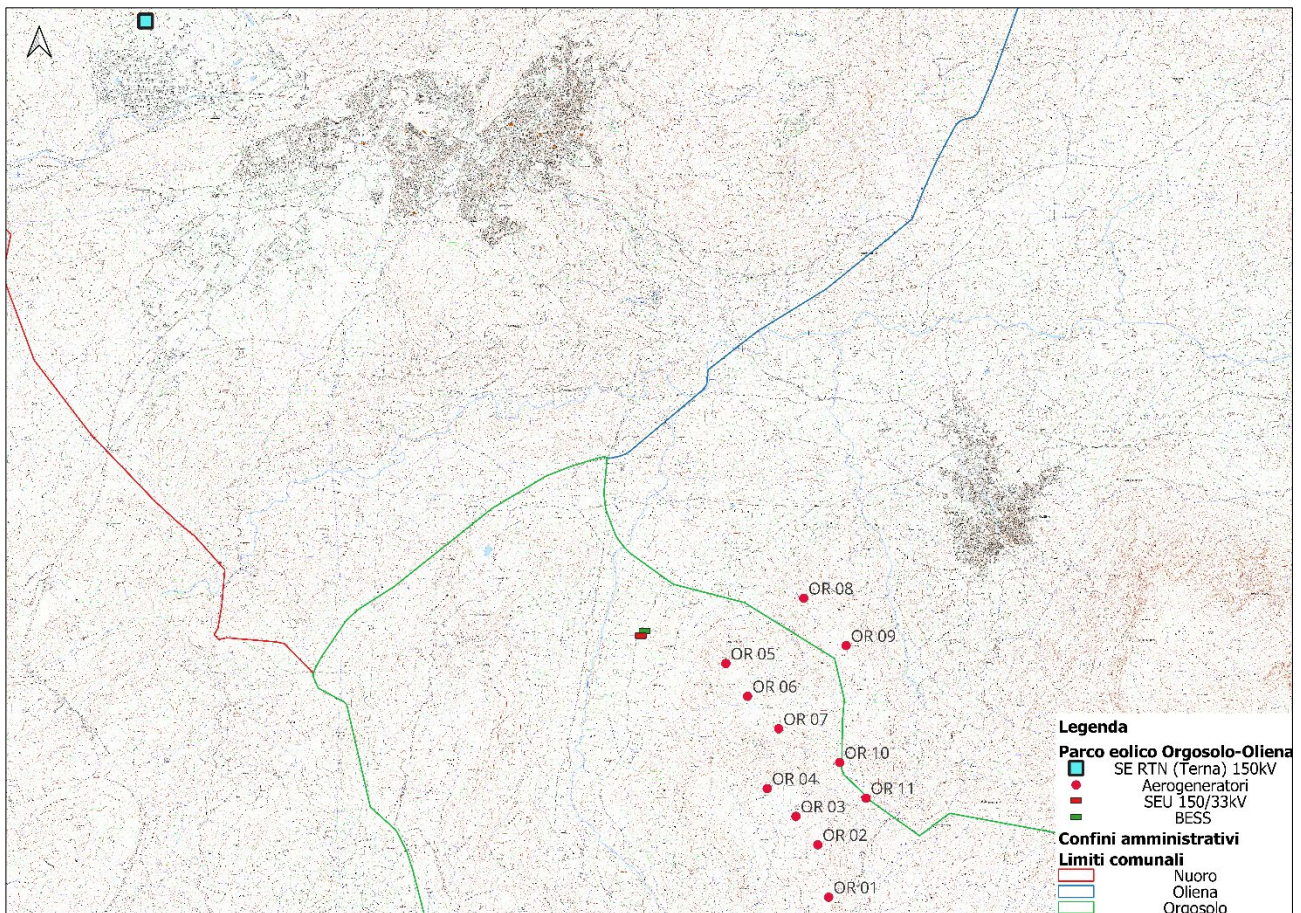
- 11 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 7,2 MW, altezza della torre pari a 114 m e rotore pari a 172 m;
- un sistema di accumulo di energia (BESS) della potenza di 30,6 MW.

Gli aerogeneratori sono collegati tra loro mediante terne di cavi interrati in Media Tensione a 33 kV che convogliano l'elettricità presso una Stazione Elettrica Utente (SEU) di trasformazione 150/33 kV, al fine di collegarsi alla futura Stazione Elettrica (SE) 150 kV della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) Terna di Nuoro attraverso una terna di cavi interrati a 150 kV.

L'impianto interessa prevalentemente il Comune di Orgosolo (NU), ove ricadano 9 aerogeneratori, la SEU 150/33 kV e il sistema di stoccaggio dell'energia (Battery Energy Storage System, BESS), il Comune di Oliena (NU), ove ricadono 2 aerogeneratori, e il Comune di Nuoro, dove ricade la SE RTN Terna 150 kV.



**Figura 3.1:** Inquadramento territoriale - Limiti amministrativi comuni interessati



**Figura 3.2:** Layout d’impianto su IGM con i limiti amministrativi dei comuni interessati

Le linee elettriche interrato di Media Tensione a 33 kV sono allocate prevalentemente in corrispondenza del sistema di viabilità interna, necessario alla costruzione e alla gestione futura dell’impianto e realizzato prevalentemente adeguando il sistema viario esistente e realizzando nuovi tratti di raccordo per consentire il transito dei mezzi eccezionali.

La Soluzione Tecnica Minima Generale (CP: 202200734), fornita da Terna, prevede che l’impianto eolico in progetto venga collegato in antenna a 150 kV sulla nuova Stazione Elettrica della RTN 150 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 150 kV "Taloro – Siniscola 2", previa realizzazione del nuovo elettrodotto a 150 kV tra la nuova SE e il futuro ampliamento a 150 kV della SE RTN "Ottana".

Il progetto prevede l’installazione dell’aerogeneratore di modello Vestas V 172, di potenza nominale pari a 7,2 MW, altezza torre all’hub pari a 114 m e diametro del rotore pari a 172 m (**Figura 3.3**).

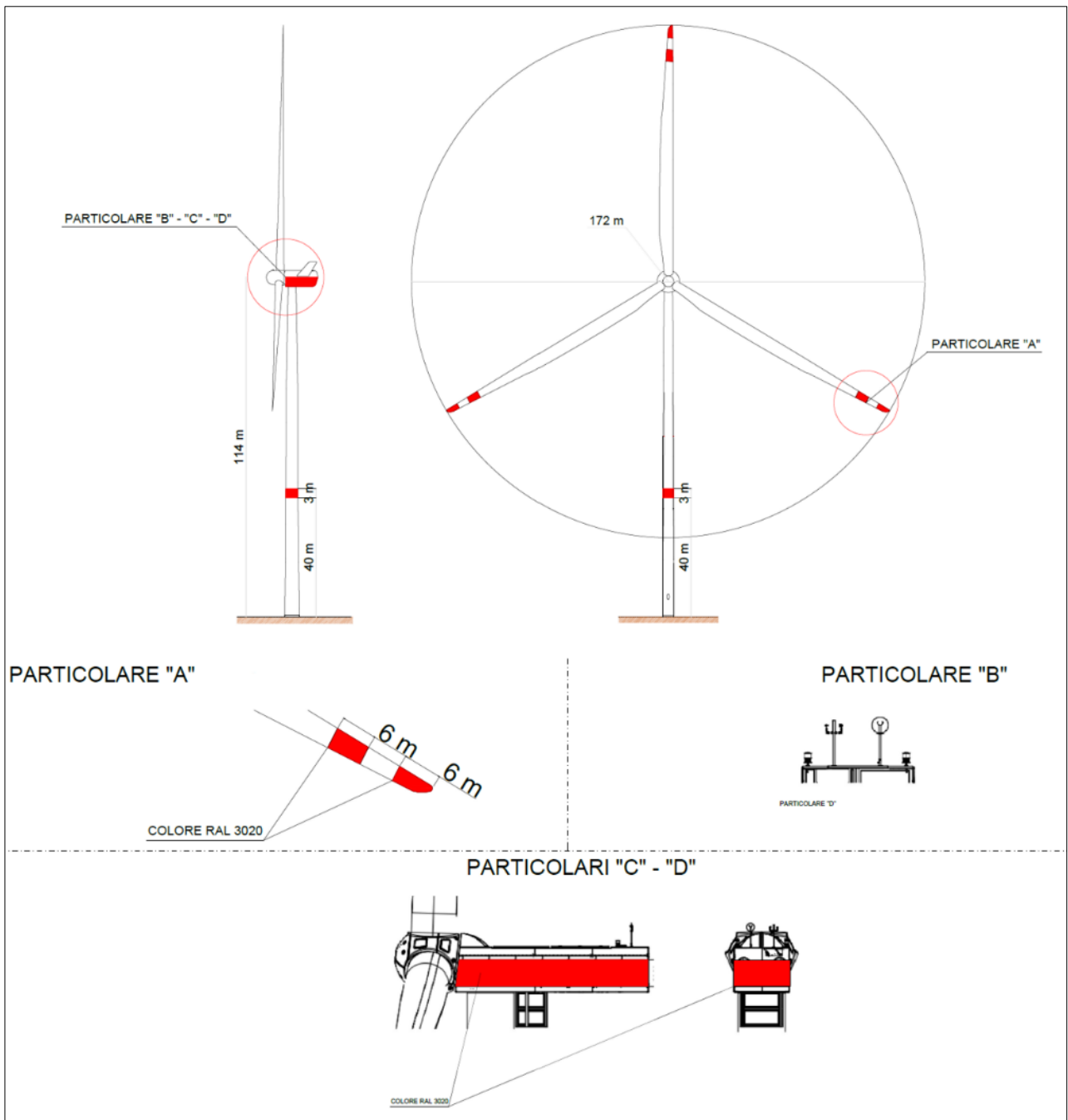


Figura 3.3: Profilo aerogeneratore V172 – 7,2 MW – HH = 114 m – D = 172 m



Technical specifications	
<b>POWER REGULATION OPERATIONAL DATA</b> <span style="float: right;">Pitch regulated with variable speed</span>	
Standard rated power	7,200kW
Cut-in wind speed	3m/s
Cut-out wind speed	25m/s
Wind class	IEC S
Standard operating temperature range	from -20°C* to +45°C
*High wind Operation available as standard	
<b>SOUND POWER</b>	
Maximum	106.9dB(A)**
**Sound Optimised Modes available dependent on site and country	
<b>ROTOR</b>	
Rotor diameter	172m
Swept area	23,235m <sup>2</sup>
Aerodynamic brake	full blade feathering with 3 pitch cylinders
<b>ELECTRICAL</b>	
Frequency	50/60 Hz
Converter	full scale
<b>GEARBOX</b>	
Type	two planetary stages
<b>TOWER</b>	
Hub heights*	114 m (IEC S), 150 m (IEC S), 164 m (DIBt), 166 m (IEC S), 175 m (DIBt) and 199 m (DIBt)
*Site specific towers available on request	
<b>SUSTAINABILITY</b>	
Carbon Footprint	6.4g CO <sub>2</sub> e/kWh
Return on energy break-even	6.9 months
Lifetime return on energy	34 times
Recyclability rate	86.6%
Configuration: 166m hub height, V <sub>avg</sub> =7.4m/s, k=2.48. Depending on site-specific conditions. Metrics are based on an internal streamlined assessment. An externally reviewed Life Cycle Assessment will be made available on vestas.com once finalised.	

**Figura 3.4:** Specifiche tecniche aerogeneratore di progetto

Ogni macchina è dotata di un sistema che esegue il controllo della potenza ruotando le pale intorno al proprio asse principale ed il controllo dell'orientamento della navicella, detto controllo dell'imbardata, che permette l'allineamento della macchina rispetto alla direzione del vento.

Il rotore, posto sopravvento al sostegno, è realizzato in resina epossidica rinforzata con fibra di vetro ed è caratterizzato da un funzionamento a passo variabile.

Le caratteristiche dell'aerogeneratore considerato sono quelle ritenute idonee in base a quanto disponibile oggi sul mercato; in futuro potrà essere possibile cambiare il modello dell'aerogeneratore senza modificare in maniera sostanziale l'impatto ambientale e i limiti di sicurezza previsti.

#### **4. SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DELLE LINEE ELETTRICHE**

Il Parco Eolico Orgosolo-Oliena è caratterizzato da una potenza complessiva di 109,8 MW, ottenuta da 11 aerogeneratori, di potenza pari a 7,2 MW ciascuno, e da un BESS da 30,6 MW.

Gli aerogeneratori sono collegati elettricamente tra loro mediante terne di cavi a 33 kV in modo da formare 5 sottocampi (Circuiti A, B, C, D ed E) di 2 o 3 WTG, a cui è associato un colore diverso per una più chiara identificazione, come riportato nella tabella seguente.

Sottocampo o Circuito	Aerogeneratori	Potenza totale [MW]
CIRCUITO A	OR 01 – OR 04	14,4
CIRCUITO B	OR 03 – OR 02	14,4
CIRCUITO C	OR 11 – OR 10	14,4
CIRCUITO D	OR 05 – OR 07 – OR 06	21,6
CIRCUITO E	OR 08 – OR 09	14,4

**Tabella 4.1:** Suddivisione degli aerogeneratori in circuiti elettrici e potenza associata

Gli aerogeneratori sono connessi elettricamente secondo un criterio che tiene in considerazione i valori di cadute di tensione, le perdite di potenza e l'ottimizzazione delle lunghezze dei cavi utilizzati.

Lo schema a blocchi di riferimento, nel quale sono indicate le sezioni e le lunghezze dei cavi di ogni linea elettrica e nel quale gli aerogeneratori sono collegati tra loro secondo lo schema in schema in entra – esce, in smistamento e in fine linea, è riportato nella **Figura 4.1** (maggiori dettagli sono riportati nell'elaborato di progetto "OROE068 Schema a blocchi impianto utente").

L'aerogeneratore capofila (fine linea) è collegato al resto del circuito, i restanti sono collegati tra loro in Entra – Esci o in smistamento (OR 06) e ognuno dei 5 circuiti è collegato alla SEU 150/33 kV.

Il BESS, di potenza complessiva di 30,6 MW, è collegato alla Stazione Elettrica Utente attraverso 2 linee elettriche interrata a 33 kV, come rappresentato nella **Tabella 4.2**.

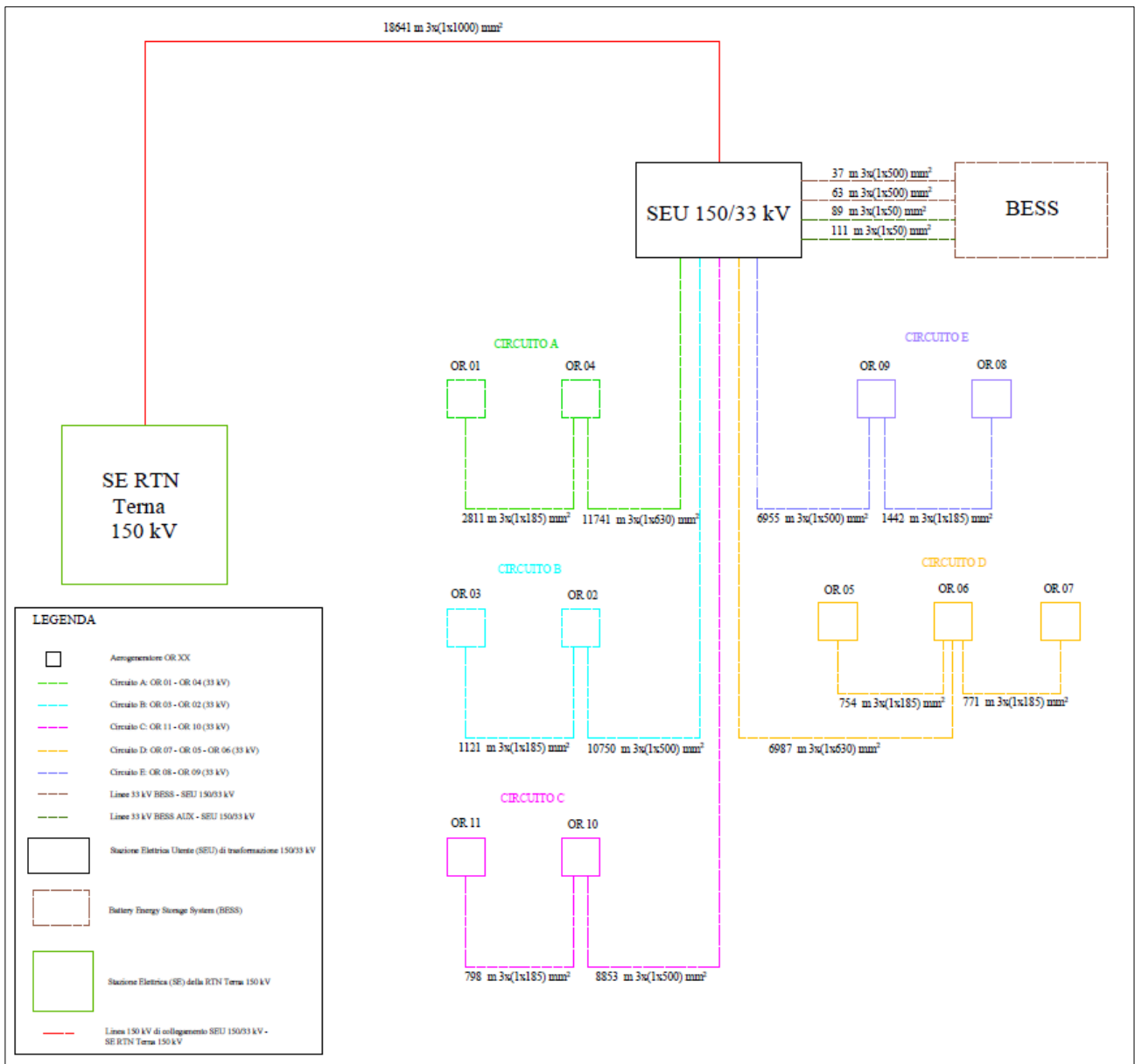
Elemento	Potenza totale [MW]
Linea 1 BESS – SEU 150/33 kV	15,3
Linea 2 BESS – SEU 150/33 kV	15,3

**Tabella 4.2:** Linee elettriche di collegamento tra BESS e SEU 150/33 kV e potenza associata

Ulteriori due linee elettriche interrate a 33 kV occorrono per collegare l' Auxiliary Power Block, in grado di assicurare i servizi ausiliari del BESS, al quadro di Media Tensione della SEU 150/33 kV, come rappresentato nella tabella seguente (maggiori dettagli sono riportati negli elaborati di progetto "OROE059 Relazione descrittiva BESS" e "OROE069 Schema elettrico unifilare impianto utente").

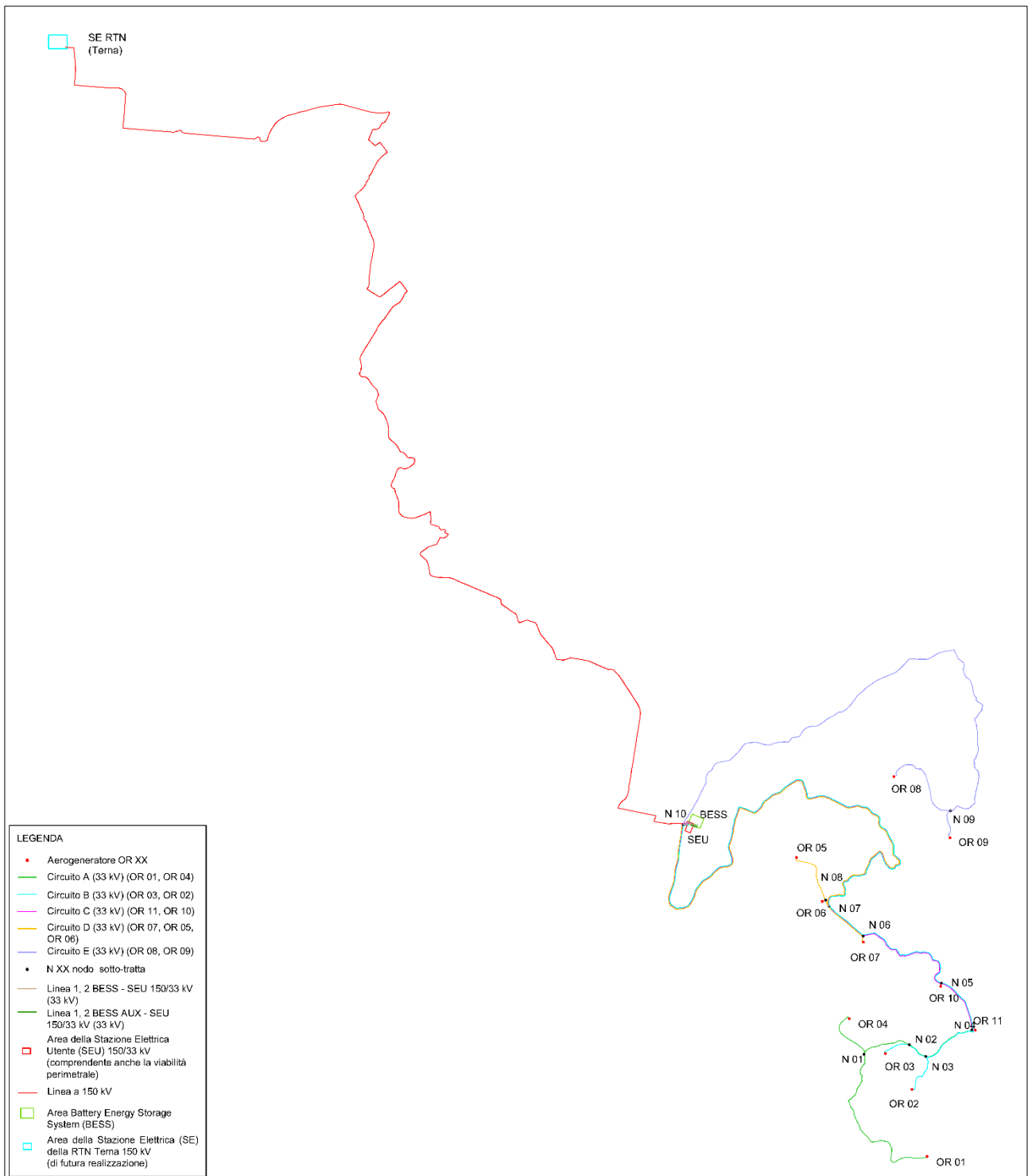
Elemento	Potenza totale [MW]
Linea 1 BESS AUX – SEU 150/33 kV	1,071
Linea 2 BESS AUX – SEU 150/33 kV	1,071

**Tabella 4.3:** Linee elettriche di collegamento tra BESS AUX e SEU 150/33 kV e potenza associata



**Figura 4.1:** Schema a blocchi del Parco Eolico Orgosolo-Oliena (nello schema è altresì riportato il collegamento di Alta Tensione tra la SEU 150/33 kV e la SE RTN 150 kV, come successivamente trattato nel dettaglio)

Nel seguito è riportata la planimetria di distribuzione delle linee a 33 kV e della linea a 150 kV (maggiori dettagli sono riportati negli elaborati di progetto “Planimetria sottocampi elettrici MT su CTR (generale)” e “Planimetria sottocampi elettrici MT (circuiti), collegamento BESS e linea AT su CTR”).



**Figura 4.2:** Planimetria generale di distribuzione linee a 33 kV e a 150 kV, SEU 150/33 kV, BESS e SE RTN Terna 150 kV

Nelle figure seguenti sono esplicitati i dettagli della planimetria di cui sopra (i nodi N XX rappresentano elementi fittizi di disegno introdotti per definire univocamente il numero di circuiti in parallelo presenti in una sotto-tratta).

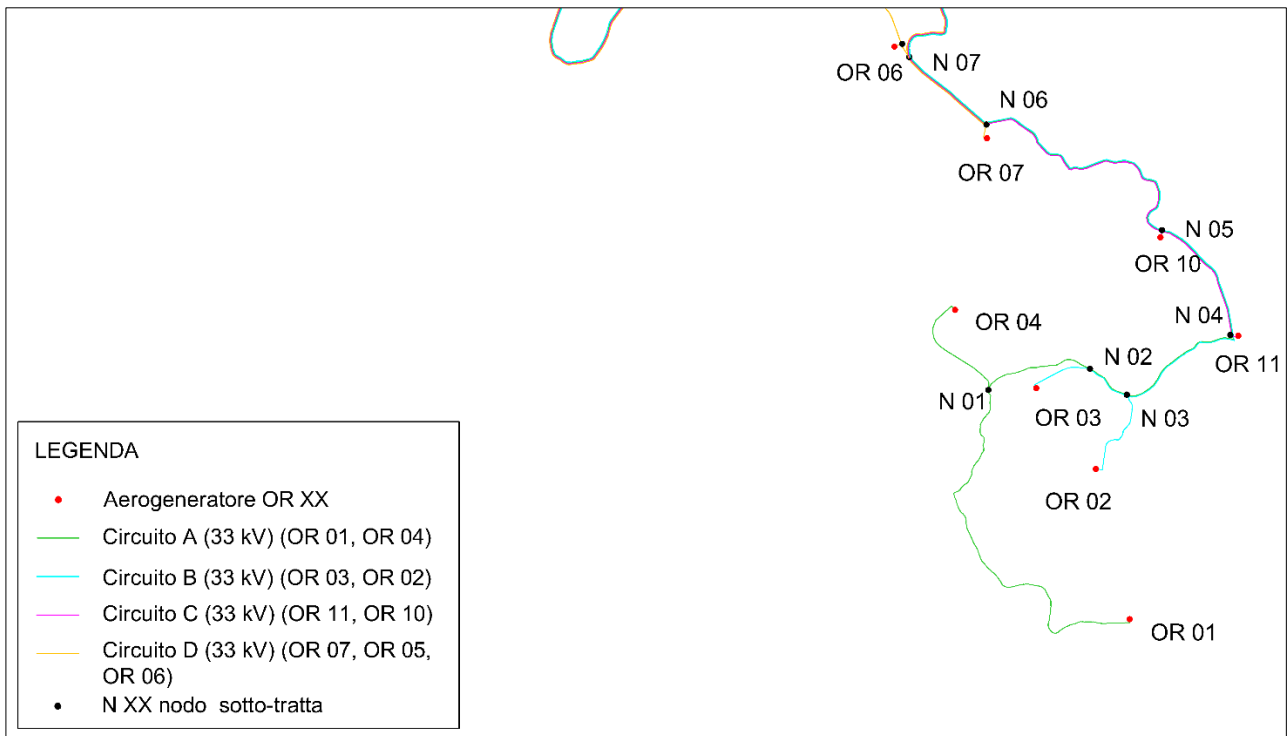


Figura 4.3: Dettaglio 1 planimetria generale di distribuzione linee a 33 kV

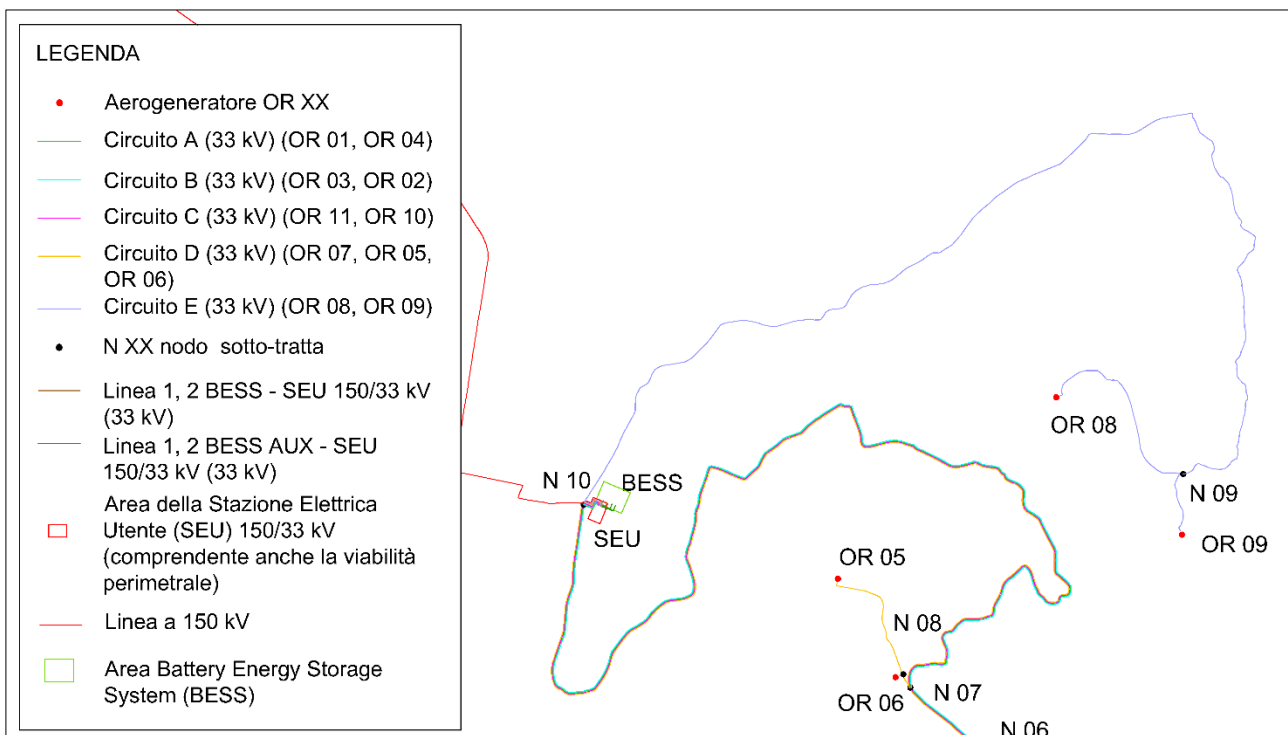


Figura 4.4: Dettaglio 2 planimetria generale di distribuzione linee a 33 kV

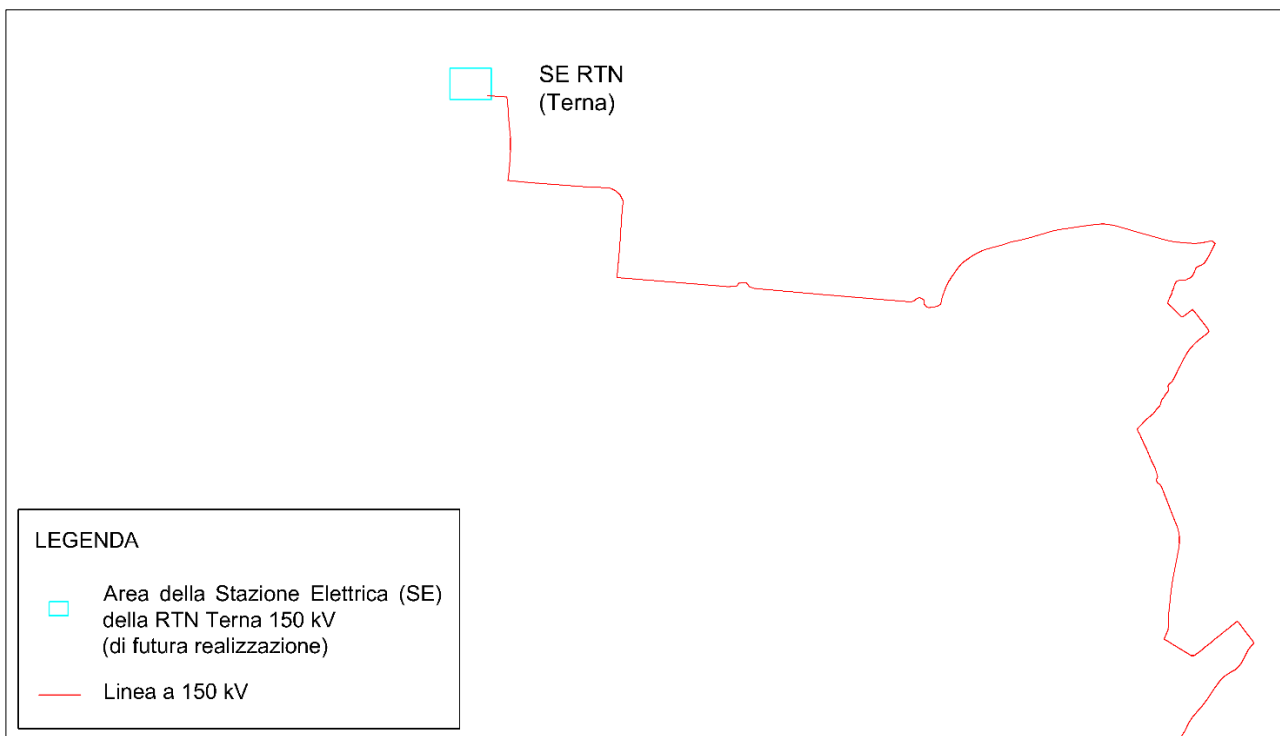


Figura 4.5: Dettaglio 3 planimetria generale di distribuzione linea a 150 kV

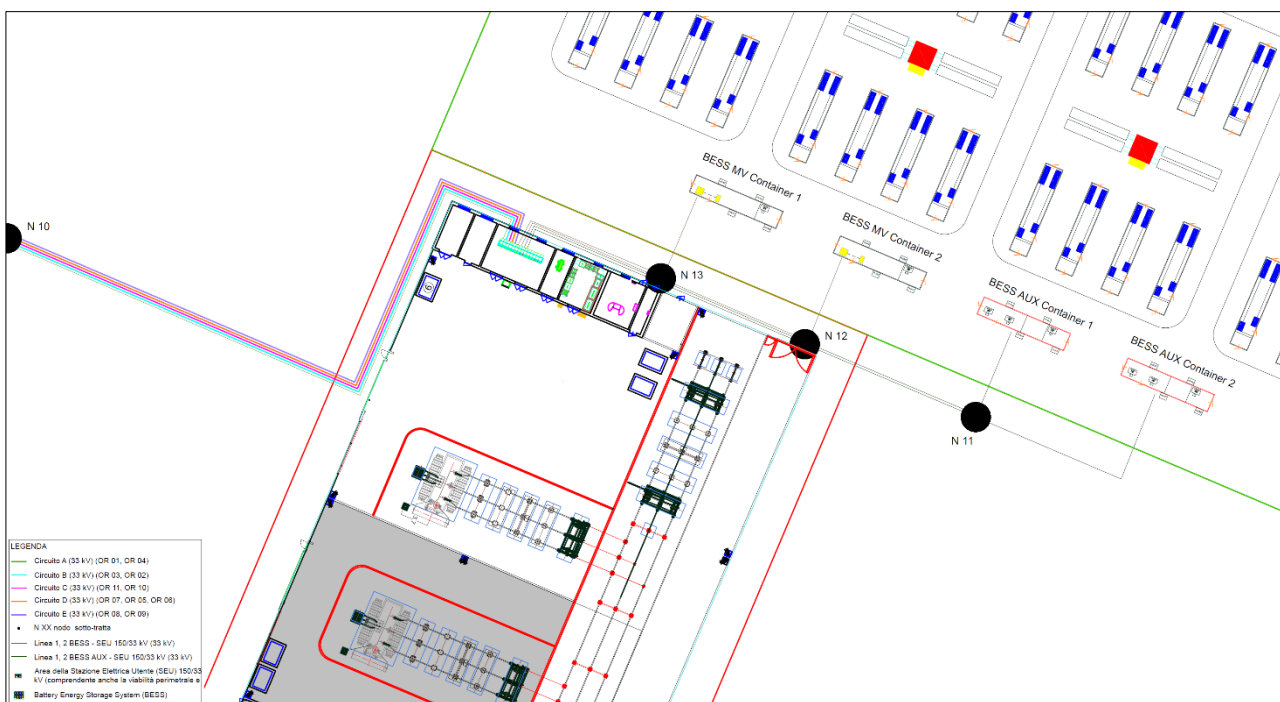


Figura 4.6: Dettaglio 4 arrivo linee a 33 kV al quadro MT della SEU 150/33 kV e partenza linea a 150 kV dalla SEU 150/33 kV (le distanze tra le terne di cavi a 33 kV di circuiti distinti in parallelo non sono in scala essendo state maggiorate per chiarezza di rappresentazione; nel seguito della trattazione tali distanze sono indicate così come la larghezza e la profondità dello scavo di ogni sotto-tratta elettrica)

## 5. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DELLE LINEE A 33 KV

---

### 5.1. Criterio di dimensionamento

---

La sezione dei cavi elettrici a 33 kV è calcolata, in accordo con la norma CEI 11 – 17, in modo che risultino soddisfatte le seguenti condizioni per ognuno dei circuiti:

1.  $I_b \leq I'_z$
2.  $\Delta V \leq 4\%$
3.  $\Delta P \leq 5\%$

dove:

- $I_b$  rappresenta la corrente di carico, ovvero l'intensità di corrente massima che scorre all'interno della linea di cavo;
- $I'_z$  rappresenta la portata di corrente effettiva del cavo e dipende dalla portata nominale del cavo stesso e dalle relative condizioni di posa lungo tutto il percorso;
- $\Delta V$  rappresenta la massima caduta di tensione per la linea di cavo ed è valutata in accordo con le modalità di posa dello stesso;
- $\Delta P$  rappresenta la perdita di potenza per ognuno dei sottocampi.

Individuate le sezioni dei singoli cavi vengono effettuate le verifiche termiche, calcolando le correnti di corto circuito previste e di tenuta termica dei cavi.

### 5.2. Posa e dati tecnici dei cavi a 33 kV utilizzati

---

Uno dei possibili cavi da impiegare per il collegamento di tutte le tratte in Media Tensione è il tipo ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™ (o similari), a norma IEC 60502-2 e HD 620, del primario costruttore Prysmian.

L'anima del cavo è costituita da un conduttore a corda rotonda compatta di alluminio, il semiconduttivo interno è costituito da materiale elastomerico estruso, l'isolante è in mescola in elastomero termoplastico (qualità HPTE), il semiconduttivo esterno è costituito da materiale in mescola estrusa.

La schermatura è realizzata mediante nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale, la protezione meccanica è in materiale polimerico (Air Bag) e la guaina è in polietilene di colore rosso e qualità DMP 2.

Per ogni tratto di collegamento si prevede una posa direttamente interrata di cavo, a trifoglio, essendo il cavo in questione idoneo alla stessa.

I cavi sono collocati in trincee ad una profondità di posa di 1 m dal piano del suolo su un sottofondo di sabbia di spessore di 0,1 m e la distanza di separazione delle terne adiacenti in parallelo sul piano orizzontale è pari a 0,20 m.

Una lastra protettiva, installata nella parte soprastante, assicura la protezione meccanica del cavo, mentre un nastro monitor ne segnala la presenza.

Inoltre, nel caso di eventuali interferenze e particolari attraversamenti, in accordo con la Norma CEI 11 – 17, tale modalità di posa potrà essere modificata, anche in base ai regolamenti riguardanti le opere interferite, in modo da garantire un'adeguata protezione del cavo rispetto alle condizioni di posa normali.

I fattori di progetto presi in considerazione per l'installazione dei cavi sono i seguenti:

- temperatura massima del conduttore pari a 90°C;
- temperatura aria ambiente di 30 °C;
- temperatura del terreno di 20°C;
- resistività termica del terreno pari a 1,5 K m/W;
- tensione nominale pari a 33 kV;
- frequenza pari a 50 Hz;
- profondità di posa di 1,00 m dal piano del suolo.

Nel seguito è rappresentato il dettaglio dei tipologici di posa, come anche riportato nell'elaborato di progetto "OROE067 Sezioni tipiche delle trincee di cavidotto utente", nel quale le misure sono espresse in mm.

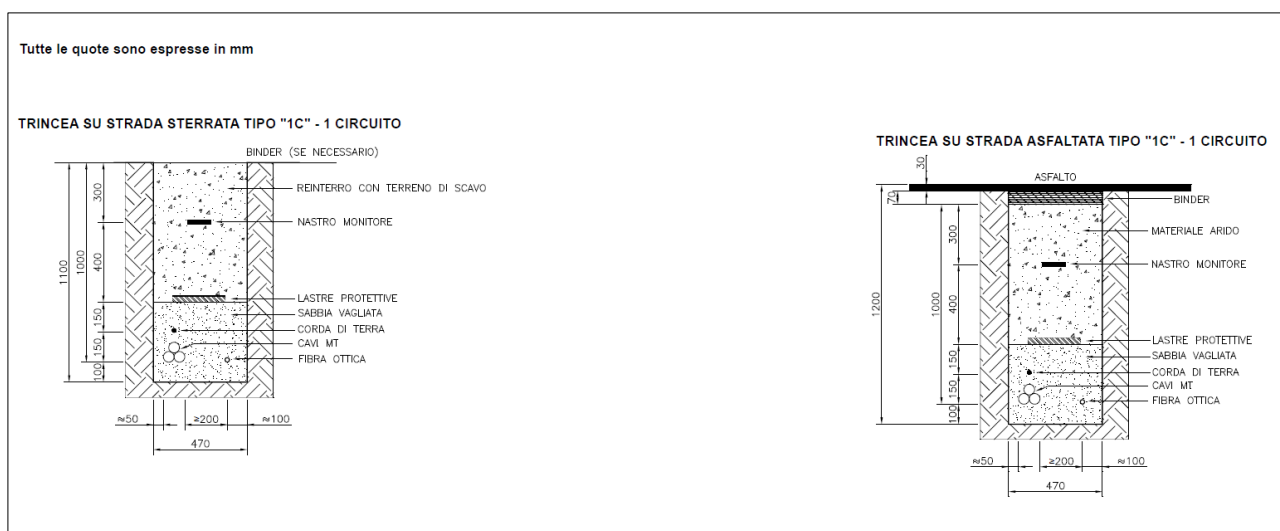


Figura 5.2.1: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per una terna di cavi su strada sterrata e asfaltata



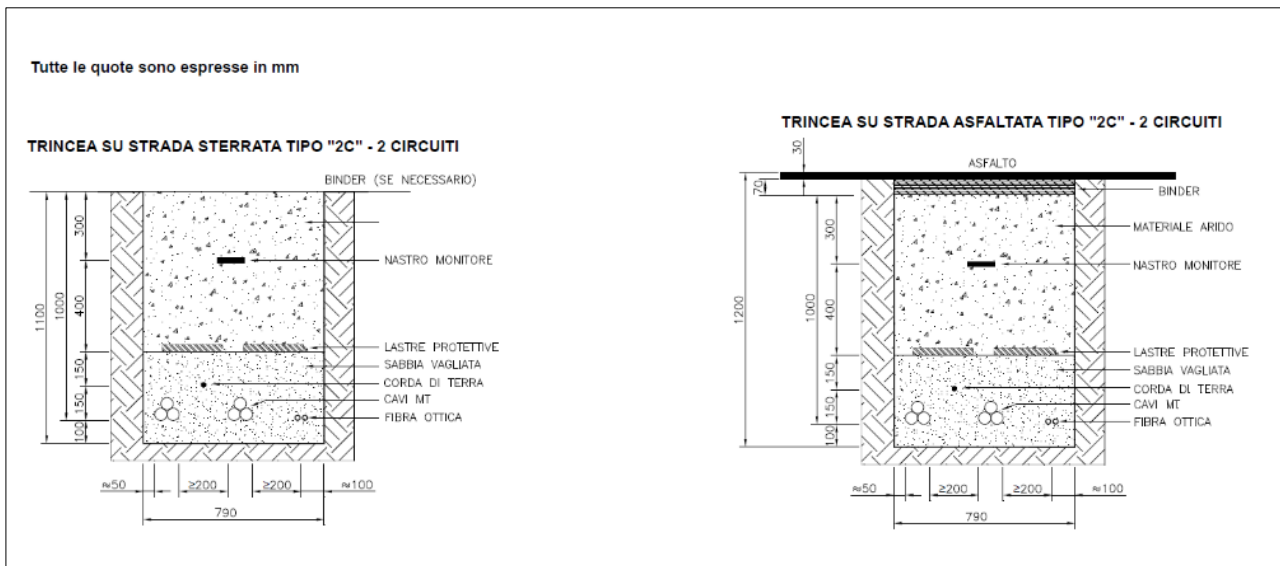


Figura 5.2.2: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per due terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata

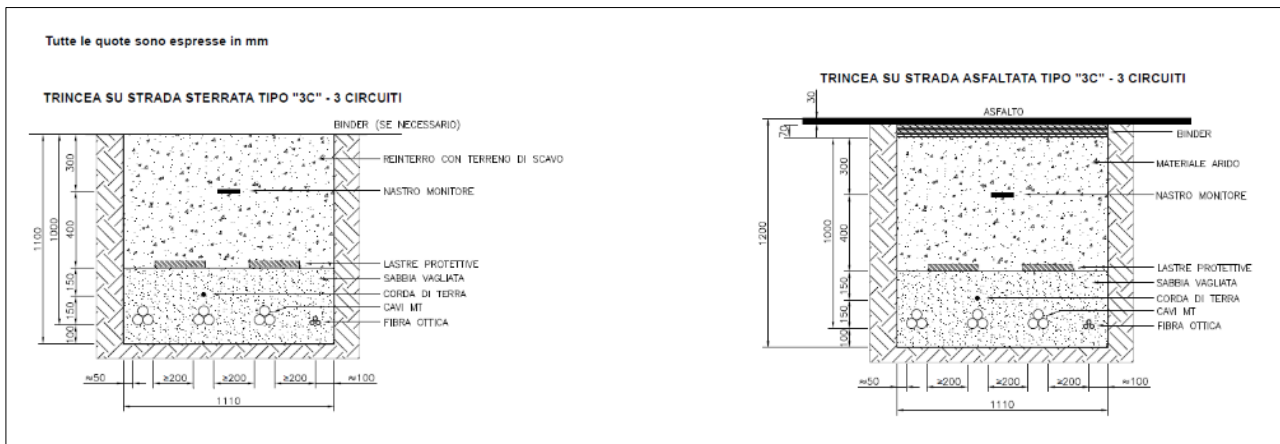


Figura 5.2.3: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per tre terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata

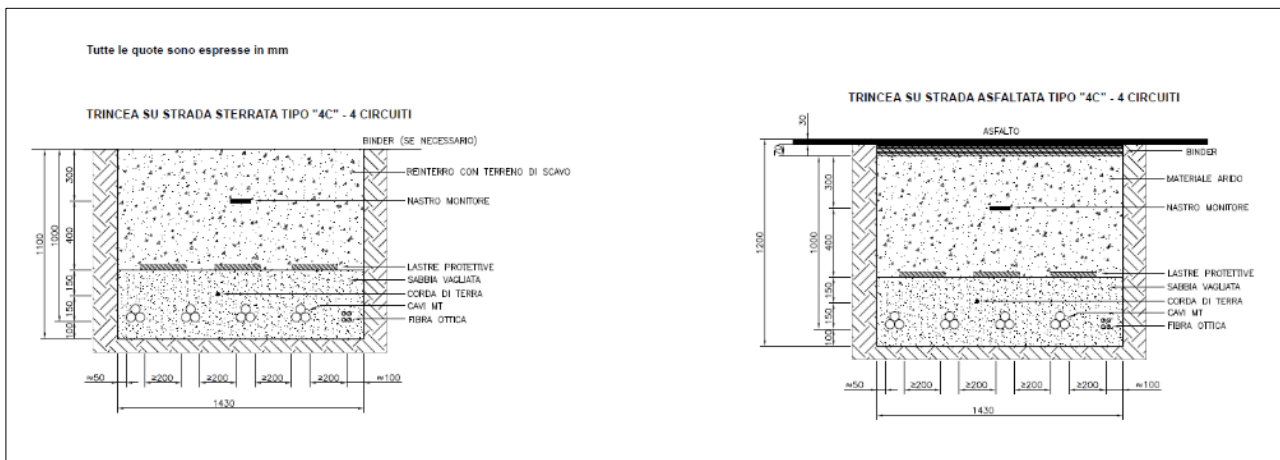
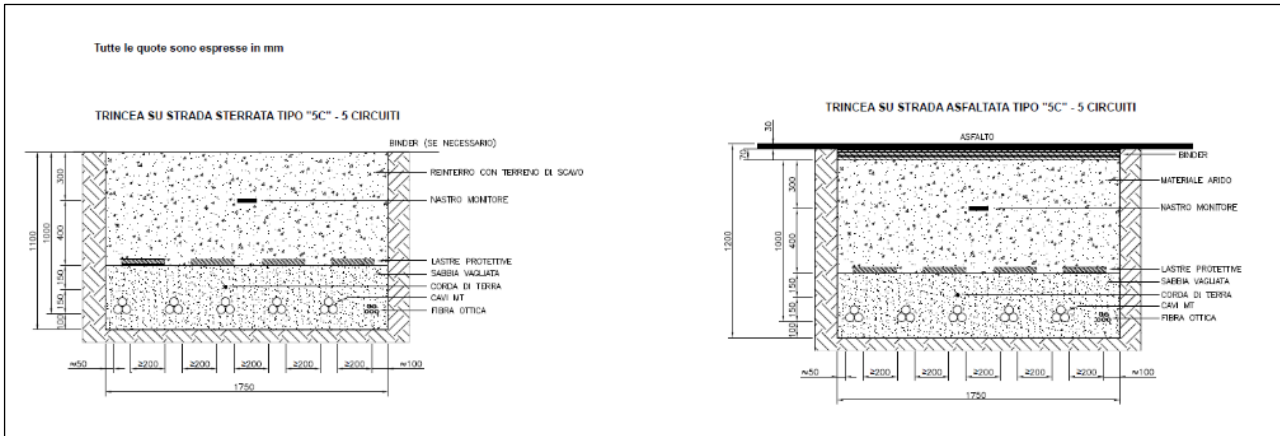
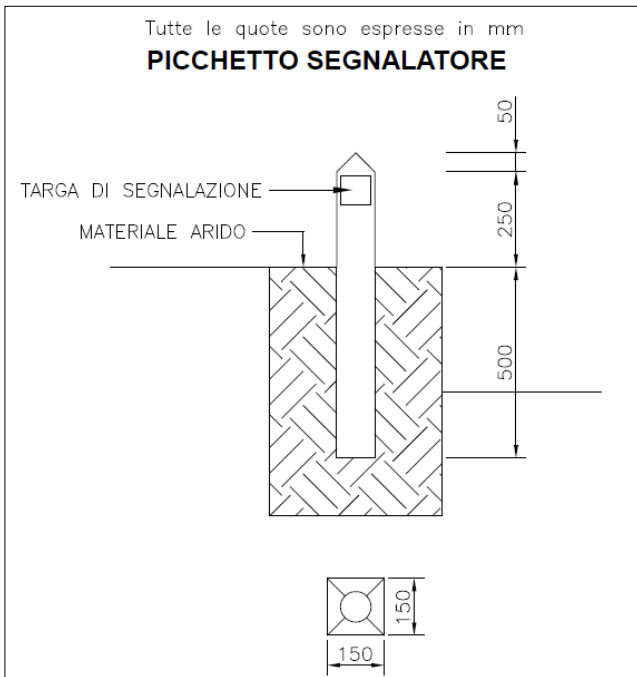


Figura 5.2.4: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per quattro terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata



**Figura 5.2.5:** Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per cinque terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata

I cavi sono opportunamente segnalati grazie ai picchetti segnalatori, posizionati a distanze non superiori a 50 m sui tratti rettilinei e in corrispondenza di punti di cambio direzione del percorso e dei giunti.



**Figura 5.2.6:** Sezione tipica del picchetto segnalatore

Considerando che le sezioni dei cavi di Media Tensione utilizzati sono di 50 mm<sup>2</sup>, 185 mm<sup>2</sup>, 500 mm<sup>2</sup> e 630 mm<sup>2</sup>, le specifiche tecniche del cavo in questione sono riassunte nella tabella seguente:

Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Resistenza apparente di fase a 90°C e 50 Hz [ $\Omega$ /Km]	Reattanza di fase a 50 Hz [ $\Omega$ /Km]	Portata nominale del cavo [A] (*)
50	0,832	0,15	173
185	0,218	0,12	368
500	0,089	0,10	636
630	0,0739	0,099	725

**Tabella 5.2.1:** Parametri elettrici del cavo ARP1H5(AR)E P-LASER AIR BAG™ forniti dal costruttore Prysmian

(\*) I valori della portata nominale sono forniti dal costruttore per posa a trifoglio, direttamente interrata,  $\rho = 1 \text{ }^\circ\text{C m/W}$ .

### 5.3. Coesistenza tra i cavi elettrici di energia interrati e collegamenti interrati di altra natura

---

In fase di progettazione esecutiva si procederà alla verifica di eventuali interferenze con sottoservizi (cavi di telecomunicazione, acquedotti, oleodotti, gasdotti, serbatoi contenenti liquidi a gas infiammabile) con i gestori degli stessi e si rispetteranno le minime distanze in accordo con la Norma CEI 11-17.

#### 5.3.1. Coesistenza tra cavi di energia interrati e cavi di telecomunicazioni

---

Nel caso di tratti in cui si verifica il parallelismo dei cavi di energia interrati con i cavi di telecomunicazioni è buona norma disporre i due cavi sui lati opposti della strada e, ove tale situazione non può essere verificata, è auspicabile mantenere i 2 cavi ad una distanza in proiezione orizzontale di almeno 0,30 m.

Nei casi in cui anche tale ultima distanza non possa essere rispettata è necessario adoperare alcuni dispositivi di protezione dei cavi quali tubazioni in acciaio zincato a caldo o in materiale plastico conforme alle norme CEI in vigore e cassette metalliche con zincatura a caldo.

Qualora i cavi in parallelo avessero una differenza di quota almeno pari a 0,15 m i dispositivi di protezione di cui sopra potrebbero essere omessi per il cavo interrato ad una maggiore profondità.

Lungo i tratti in cui almeno uno dei 2 cavi è contenuto in un manufatto (cunicolo o tubazione), che ne assicura una maggiore protezione e la possibilità di manutenzione, è possibile non adoperare i dispositivi di protezione di cui sopra, così come nel caso in cui ambo i cavi siano disposti all'interno dello stesso manufatto, nel quale, tuttavia, è necessario evitare contatti meccanici diretti e disporre i cavi stessi in distinte tubazioni.

#### 5.3.2. Coesistenza tra cavi di energia interrati e tubazioni metalliche

---

Nel caso di tratti in cui si verifica il parallelismo dei cavi di energia interrati con tubazioni metalliche interrate, quali per esempio oleodotti e acquedotti, necessarie al trasporto di fluidi, è necessario disporre i due cavi ad una distanza in proiezione orizzontale di almeno 0,30 m.

Tale distanza può non essere rispettata nel caso in cui la differenza di quota tra le superfici esterne cavo energia-tubazione metallica sia superiore a 0,50 m o nel caso in cui sia compresa tra 0,30 e 0,50 m, si frappongano tra le 2 strutture elementi non metallici e la tubazione non sia interna ad un dispositivo di protezione non metallico.

Inoltre, le superfici esterne dei cavi di energia interrati devono essere distanti almeno 1 m dalle superfici esterne di serbatoi contenenti gas o liquidi infiammabili, mentre i cavi di energia e le tubazioni metalliche non devono essere contenute negli stessi dispositivi di protezione.

Si rende necessario realizzare giunzioni sui cavi di energia ad una distanza di almeno 1 m da ogni eventuale punto di incrocio, tranne nei casi in cui la distanza tra le superfici esterne del cavo di energia e della tubazione metallica o dispositivo di protezione sia superiore a 0,50 m.

Nel caso di coesistenza tra cavi di energia, interrati secondo la modalità di posa a M (protezione meccanica) o L (senza protezione meccanica), e gasdotti, è possibile adottare le distanze di rispetto di cui sopra purché siano rispettate al contempo le disposizioni presenti nelle “Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8”.

### 5.3.3. Incroci di cavi

Nel caso di incroci tra cavi di energia è necessario rispettare una interdistanza di almeno 0,30 m e proteggere il cavo disposto a profondità superiore per una lunghezza di almeno 1 m adoperando i dispositivi di protezione di cui al paragrafo 5.3.1, da disporre in maniera simmetrica rispetto alla disposizione del cavo a profondità inferiore.

Lungo i tratti in cui almeno uno dei 2 cavi è contenuto in un manufatto (cunicolo o tubazione), che ne assicura una maggiore protezione e la possibilità di manutenzione, è possibile non adoperare i dispositivi di protezione di cui sopra, così come nel caso in cui i 2 cavi sono contenuti in 2 dispositivi di protezione di caratteristiche analoghe.

## 5.4. Calcolo delle portate

La corrente di carico che attraversa il cavo può essere valutata attraverso la seguente espressione:

$$I_b = \frac{P_n}{\cos \varphi V_n \sqrt{3}} \quad (1)$$

dove:

- $P_n$  rappresenta la massima potenza per ogni singola tratta.
- $V_n$  rappresenta la tensione nominale dell'impianto (nel caso in questione 33 kV).
- $\cos \varphi$  rappresenta il fattore di potenza (nella presente relazione assunto pari a 0,9).

Il calcolo della portata effettiva viene effettuato sulla base della norma CEI 11 – 17, della tabella CEI – UNEL 35026 e delle caratteristiche tecniche, fornite dal costruttore, del particolare cavo utilizzato.

In particolare, si fa riferimento a 4 fattori di correzione e alla portata nominale  $I_z$  del cavo:

$$I_z = k_1 k_2 k_3 k_4 I_z \quad (2)$$

dove:

- $k_1$  rappresenta il fattore di correzione per temperature del terreno diverse da  $20^\circ\text{C}$ ;
- $k_2$  rappresenta il fattore di correzione per profondità di posa diverse da 0,8 m;
- $k_3$  rappresenta il fattore di correzione per resistività termica del suolo diversa da  $1,5\text{ K m/W}$ ;
- $k_4$  rappresenta il fattore di correzione per gruppi di circuiti trifase di cavi unipolari installati sullo stesso piano in parallelo;

Nel caso del Parco Eolico in progetto può essere adoperato il fattore di correzione  $k_1 = 1$ , in quanto si può ritenere la temperatura del terreno pari a  $20^\circ\text{C}$  alla profondità di posa dei cavi.

Per la valutazione del fattore di correzione  $k_2$ , tenendo conto che è stata prevista la posa direttamente interrata dei cavi ad una profondità di 1,00 m dal piano del suolo, sulla scorta della Tabella B.12 della Norma IEC 60502-2, si considerano i valori di seguito riportati:

Profondità di posa [m]	$K_2$ (sezione $\leq 185\text{ mm}^2$ )	$K_2$ (sezione $> 185\text{ mm}^2$ )
1,00	0,98	0,97

**Tabella 5.4.1:** Fattore di correzione  $k_2$

In corrispondenza della profondità di posa di 1,00 m si ottiene  $k_2 = 0,98$  oppure 0,97 a seconda che si consideri la sezione di  $185\text{ mm}^2$  o le sezioni di  $300\text{ mm}^2$  e  $630\text{ mm}^2$ .

Per quanto riguarda il fattore di correzione per resistività termica del suolo diversa da  $1,5\text{ K m/W}$ , si ritiene  $k_3 = 1$  in quanto si assume che la posa dei cavi sia in terreno asciutto con resistività termica pari a  $1,5\text{ K m/W}$  (in fase di progettazione esecutiva sarà possibile effettuare le misure di resistività ed ottenere il corrispondente valore del parametro  $k_3$ ).

Tenendo conto che il numero di terne di cavi a 33 kV esistenti in parallelo sullo stesso piano orizzontale può essere desunto dagli elaborati grafici “OROEO60 Planimetria sottocampi elettrici MT su CTR (generale)” e “Planimetria sottocampi elettrici MT (circuiti), collegamento BESS e linea AT su CTR”, nonché dalla **Tabella 5.4.2** nel seguito riportata, i valori di  $k_4$  si ottengono dai valori della Tabella B.19 della Norma IEC 60502-2 e considerando una distanza di separazione delle terne adiacenti in parallelo sullo stesso piano orizzontale pari a 0,20 m.

SOTTO-TRATTA					CIRCUITO A		CIRCUITO B		CIRCUITO C		CIRCUITO D		CIRCUITO E	
DA	A	LUNGHEZZA [m]	LARGHEZZA TRINCEA [m]	PROFONDITA' TRINCEA [m]	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO
OR 01	N 01	2144	0,47	1,1	1	3x(1x185)								
OR 04	N 01	667	0,79	1,1	2	3x(1x185) + 3x(1x630)								
N 01	N 02	598	0,47	1,1	1	3x(1x630)								
OR 03	N 02	355	0,47	1,1			1	3x(1x185)						
N 02	N 03	246	0,79	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x185)						
OR 02	N 03	520	0,79	1,1			2	3x(1x185) + 3x(1x500)						
N 03	N 04	696	0,79	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)						
OR 11	N 04	39	0,47	1,1					1	3x(1x185)				
N 04	N 05	720	1,1	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)	1	3x(1x185)				
OR 10	N 05	39	0,79	1,1					2	3x(1x185) + 3x(1x500)				
N 05	N 06	1413	1,1	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)	1	3x(1x500)				
OR 07	N 06	108	0,47	1,1							1	3x(1x185)		
N 06	N 07	538	1,43	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)	1	3x(1x500)	1	3x(1x185)		
N 07	N 08	85	0,79	1,1							2	3x(1x185) + 3x(1x630)		
OR 05	N 08	715	0,47	1,1							1	3x(1x185)		
OR 06	N 08	39	1,1	1,1							3	2x[3x(1x185)] + 3x(1x630)		
N 07	N 10	6807	1,43	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)	1	3x(1x500)	1	3x(1x630)		
OR 08	N 09	1082	0,47	1,1									1	3x(1x185)
OR 09	N 09	360	0,79	1,1									2	3x(1x185) + 3x(1x500)
N 09	N 10	6541	0,47	1,1									1	3x(1x500)
N 10	SEU 150/33 kV	102	1,75	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)	1	3x(1x500)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)

Tabella 5.4.1: Singole sotto-tratte delle linee elettriche a 33 kV per i vari circuiti

SOTTO-TRATTA					Linea 1 BESS SEU 150/33 kV		Linea 2 BESS SEU 150/33 kV		Linea 1 BESS AUX SEU 150/33 kV		Linea 2 BESS AUX SEU 150/33 kV	
DA	A	LUNGHEZZA [m]	LARGHEZZA TRINCEA [m]	PROFONDITA' TRINCEA [m]	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO
BESS AUX Container 2	N 11	35	0,47	1,1							1	3x(1x50)
BESS AUX Container 1	N 11	13	0,47	1,1					1	3x(1x50)		
N 11	N 12	26	0,79	1,1					1	3x(1x50)	1	3x(1x50)
BESS MV Container 2	N 12	13	0,47	1,1			1	3x(1x500)				
N 12	N 13	26	1,11	1,1			1	3x(1x500)	1	3x(1x50)	1	3x(1x50)
BESS MV Container 1	N 13	13	0,47	1,1	1	3x(1x500)						
N 13	SEU 150/33 kV	24	1,43	1,1	1	3x(1x500)	1	3x(1x500)	1	3x(1x50)	1	3x(1x50)

Tabella 5.4.2: Singole sotto-tratte delle linee elettriche a 33 kV di collegamento BESS - SEU 150/33 kV

Numero circuiti in parallelo	1	2	3	4	5
<b>K<sub>4</sub></b>	1	0,83	0,73	0,68	0,63

Tabella 5.4.3: Fattore di correzione k<sub>4</sub>

Inoltre, per ciascuna tratta si considera quale valore k<sub>4</sub> quello relativo al numero massimo di terne in parallelo e sullo stesso piano orizzontale della medesima tratta, in modo da ottenere, per maggiore cautela, un sovradimensionamento rispetto alle effettive condizioni di posa.

A scopo cautelativo la distanza per eventuali brevi tratti in tubatura sarà incrementata di 0,5 m, in accordo rispetto a quanto previsto dalla Norma CEI 11 – 17, Allegato B della Tabella III.

### 5.5. Calcolo della caduta di tensione

Per la valutazione della caduta di tensione lungo il cavo si considera la seguente formula:

$$\Delta V = I_b (R_f \cos\varphi + X_f \sin\varphi) \sqrt{3}$$

dove:

- I<sub>b</sub> rappresenta la corrente transitante lungo il cavo;
- cosφ rappresenta il fattore di potenza (0,9);
- R<sub>f</sub> rappresenta la resistenza di fase del cavo;
- X<sub>f</sub> rappresenta la reattanza longitudinale di fase del cavo.

L'espressione considerata porta in conto la potenza attiva e reattiva lungo il cavo e i parametri longitudinale del cavo.

Tenendo presente che la tensione di esercizio del cavo è  $V = 33 \text{ kV}$ , che  $R_f$  è pari alla resistenza unitaria  $R$  per la lunghezza  $L$  del cavo e che  $X_f$  è pari alla reattanza unitaria  $X$  per la lunghezza  $L$ , la caduta di tensione lungo la singola tratta percentuale relativa si ottiene dalla seguente espressione:

$$\Delta V_{r,\%} = \frac{\sqrt{3} L I_b (R \cos \varphi + X \sin \varphi)}{V} 100 \quad (3)$$

### 5.6. Calcolo della perdita di potenza

Il calcolo della perdita di potenza per effetto Joule lungo una tratta viene valutato mediante l'espressione seguente:

$$\Delta P = 3 \frac{\rho L}{S} I_b^2$$

dove:

- $\rho$  rappresenta la resistività elettrica del conduttore [ $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ ];
- $L$  rappresenta la lunghezza della tratta di linea considerata [ $\text{m}$ ];
- $S$  rappresenta la sezione del cavo del tratto di linea [ $\text{mm}^2$ ];
- $I_b$  rappresenta la corrente transitante lungo la tratta di linea [ $\text{A}$ ].

Tenendo conto che la resistenza di fase del cavo si può esprimere come:

$$R_f = \frac{\rho L}{S}$$

si ottiene:

$$\Delta P = 3 R L I_b^2$$

con  $R$  resistenza unitaria del cavo lungo la tratta.

La perdita di potenza percentuale relativa lungo un tratto di linea è data dall'espressione:

$$\Delta P_{r,\%} = \frac{\Delta P}{\sum_{i=1}^K P_i} 100 \quad (4)$$

dove:

- $\sum_{i=1}^K P_i$  rappresenta la somma delle potenze massime relative agli aerogeneratori presenti a monte di quello terminale del tratto di linea in questione + la potenza di quello terminale di tale tratto;

- $K$  rappresenta il numero di aerogeneratori presenti a monte di quello terminale del tratto di linea in questione +1.

## 6. TABELLA DI CALCOLO

In accordo con le norme CEI 11 – 17, tenendo conto delle espressioni (1), (2), (3) e (4) di cui ai paragrafi precedenti, sono valutate le sezioni dei singoli tratti di linea, la corrente di carico, la portata effettiva, la caduta di tensione e la perdita di potenza.

Inoltre, la caduta di tensione e la perdita di potenza lungo un circuito sono valutati come la somma delle cadute di tensioni e perdite di potenza relative ai singoli tratti di linea (a partire dal generatore più lontano) che lo costituiscono.

La **Tabella 6.1** riporta i risultati ottenuti relativi al dimensionamento a 33 kV.

LINEA	DA	A	L [m]	SEZIONE [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>b</sub> [A]	I <sub>z</sub> [A]	$\Delta V_r, \%$	$\Delta P_r, \%TOT$
CIRCUITO A	OR 01	OR 04	2811	185	140,0	299,3	0,513	
	OR 04	SEU 150/33 KV	11.741	630	280,0	443,0	1,892	
							SOMMA	SOMMA
							2,40	1,67
CIRCUITO B	OR 03	OR 02	1.121	185	140,0	299,3	0,205	
	OR 02	SEU 150/33 KV	10.750	500	280,0	388,6	1,953	
							SOMMA	SOMMA
							2,16	1,66
CIRCUITO C	OR 11	OR 10	798	185	140,0	263,3	0,146	
	OR 10	SEU 150/33 KV	8.853	500	280,0	388,6	1,609	
							SOMMA	SOMMA
							1,75	1,36
CIRCUITO D	OR 07	OR 06	771	185	140,0	245,2	0,141	
	OR 05	OR 06	754	185	140,0	263,3	0,138	
	OR 06	SEU 150/33 KV	6.987	630	419,8	443,0	1,69	
							SOMMA	SOMMA
							1,97	1,35
CIRCUITO E	OR 08	OR 09	1.442	185	140,0	299,3	0,263	
	OR 09	SEU 150/33 KV	6.955	500	280,0	388,6	1,264	
							SOMMA	SOMMA
							1,53	1,14

**Tabella 6.1:** Calcolo del dimensionamento delle linee elettriche a 33 kV



Nella **Tabella 6.2** sono riportate le lunghezze, le sezioni, le cadute di tensione e le perdite di potenza percentuali relative delle linee interrate a 33 kV di collegamento tra il BESS e la SEU 150/33 kV.

LINEA	DA	A	L [m]	SEZIONE [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>b</sub> [A]	I <sub>z</sub> [A]	$\Delta v$ r,%	$\Delta P$ r,% TOT
LINEA 1 BESS – SEU 150/33 kV	BESS	SEU 150/33 KV	37	500	297,4	419,5	0,00714	0,00285
LINEA 2 BESS – SEU 150/33kV	BESS	SEU 150/33 KV	63	500	297,4	419,5	0,0121	0,00487
LINEA 1 BESS AUX – SEU 150/33kV	AUX BESS	SEU 150/33 KV	89	50	20,8	115,3	0,00791	0,00449
LINEA 2 BESS AUX – SEU 150/33kV	AUX BESS	SEU 150/33 KV	111	50	20,8	115,3	0,00987	0,00560

**Tabella 6.2:** Calcolo del dimensionamento delle linee elettriche a 33 kV di collegamento tra BESS e SEU 150/33 kV (per le linee BESS AUX – SEU 150/33 kV il calcolo è effettuato tenendo conto che la potenza nominale dei servizi ausiliari è pari al 7 % della potenza totale del BESS)

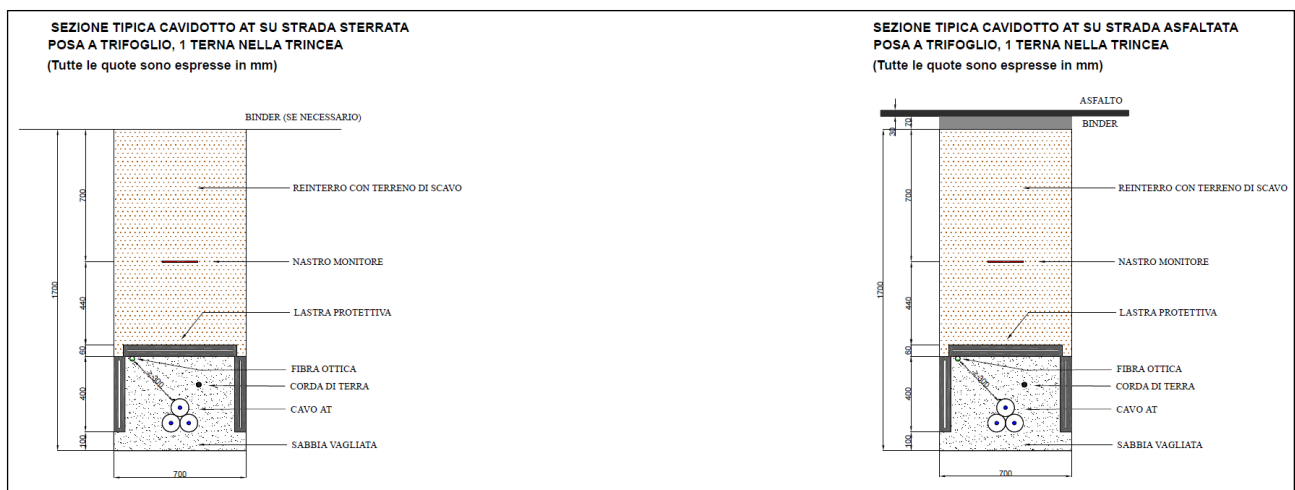
## 7. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO CAVI AT

Il collegamento tra la SEU 150/33 kV e la Stazione Elettrica 150 kV della RTN Terna di Nuoro è realizzato tramite linea direttamente interrata a 150 kV di lunghezza di 18,641 km ed è composta da una terna di cavi unipolari ARE4H5E a 150 kV di sezione 1000 mm<sup>2</sup>, in accordo con lo standard IEC 60840, con conduttore in alluminio, schermo semiconduttivo del conduttore, isolamento in polietilene reticolato XLPE, U<sub>0</sub>/U<sub>n</sub> (U<sub>max</sub>) 87/150 (170 kV) kV, portata nominale di 750 A, schermo semiconduttivo dell'isolamento, schermo metallica e guaina di protezione esterna in alluminio saldata longitudinalmente.

I cavi sono caratterizzati da una posa a trifoglio, sono posati a 1,60 m dal piano di calpestio e su un letto di sabbia di 0,1 m, sono ricoperti da uno strato di 0,4 m di sabbia, al di sopra del quale una lastra protettiva in cemento ne assicurerà la protezione meccanica.

A 0,7 m dal piano di calpestio un nastro monitore ha lo scopo di segnalare la presenza dei cavi al fine di evitarne eventuali danneggiamenti seguenti ad eventuali scavi da parte di terzi.

La terna di cavi in AT è distante sul piano orizzontale almeno 0,3 m dal cavo in fibra ottica, mentre nel letto di sabbia è previsto anche un cavo unipolare di protezione, così come rappresentato nel dettaglio dell'elaborato di progetto "OROE077 Sezione tipica della trincea cavidotto AT".



**Figura 7.1:** Sezione tipica della trincea che ospita i cavi AT

La scelta della sezione dei cavi presi in considerazione è stata effettuata in modo che la corrente di impiego  $I_b$  risulti inferiore alla portata effettiva del cavo stesso e tenendo presente le condizioni di posa adottate.

La scelta dei particolari cavi AT e delle relative condizioni di posa potranno comunque subire modifiche, non sostanziali, in fase di progettazione esecutiva, a seconda delle condizioni operative riscontrate.

## 8. CONCLUSIONI

Come si evince dalla **Tabella 6.1** e dalla **Tabella 6.2**, la corrente di progetto lungo ogni linea elettrica a 33 kV e 150 kV è inferiore a quella effettiva e le cadute di tensioni e le perdite di potenza lungo ogni tratta sono inferiori rispettivamente al 4% ed al 5%.

Alla luce di tale risultato la sezione di ognuno dei cavi di collegamento a 33 kV e 150 kV è adeguata al trasporto della potenza richiesta.

Si riportano le informazioni relative alle varie tratte a 33 kV e alla tratta a 150 kV in forma sintetica.

PARCO EOLICO ORGOSOLO - OLIENA					
CIRCUITO A	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tipologia cavo	Modello cavo	Costruttore
OR 01 - OR 04	2811	185	AL 3x(1x185)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
OR 04 - SEU 150/33 kV	11741	630	AL 3x(1x630)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
CIRCUITO B	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tipologia cavo	Modello cavo	Costruttore
OR 03 - OR 02	1121	185	AL 3x(1x185)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
OR 02 - SEU 150/33 kV	10750	500	AL 3x(1x500)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
CIRCUITO C	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tipologia cavo	Modello cavo	Costruttore
OR 11 - OR 10	798	185	AL 3x(1x185)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
OR 10 - SEU 150/33 kV	8853	500	AL 3x(1x500)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
CIRCUITO D	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tipologia cavo	Modello cavo	Costruttore
OR 07 - OR 06	771	185	AL 3x(1x185)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
OR 05 - OR 06	754	185	AL 3x(1x185)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
OR 06 - SEU 150/33 kV	6987	630	AL 3x(1x630)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
CIRCUITO E	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tipologia cavo	Modello cavo	Costruttore
OR 08 - OR 09	1442	185	AL 3x(1x185)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
OR 09 - SEU 150/33 kV	6955	500	AL 3x(1x500)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian

**Tabella 8.1:** Lunghezze, sezioni e modello dei cavi a 33 kV per i circuiti elettrici

Linee BESS - SEU 150/33 kV	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tipologia cavo	Modello cavo	Costruttore
Linea 1 BESS - SEU 150/33 kV	37	500	AL 3x(1x500)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
Linea 2 BESS - SEU 150/33 kV	63	500	AL 3x(1x500)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
Linee BESS AUX - SEU 150/33 kV	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tipologia cavo	Modello cavo	Costruttore
Linea 1 BESS AUX - SEU 150/33 kV	89	50	AL 3x(1x50)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian
Linea 2 BESS AUX - SEU 150/33 kV	111	50	AL 3x(1x50)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™	Prysmian

**Tabella 8.2:** Lunghezze, sezioni e modello dei cavi a 33 kV per le linee elettriche BESS – SEU 150/33 kV

Linea 150 kV	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Tipologia cavo	Modello cavo	Costruttore
SEU 150/33 kV – SE RTN 150 kV	18.641	1000	AL 3x(1x1000)	ARE4H5E	Prysmian

**Tabella 8.3:** Lunghezza, sezione e modello dei cavi della terna a 150 kV