

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



PROGETTO DEFINITIVO PARCO EOLICO VAL D'AGRI

Titolo elaborato:

CALCOLO PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI

TL	GD	GD	EMISSIONE	07/12/22	0	0
REDATTO	CONTR.	APPROV.	DESCRIZIONE REVISIONE DOCUMENTO	DATA	REV	

PROPONENTE



BASILICATA PRIME S.R.L.

VIA G. GARIBALDI N. 15
74023 GROTTAGLIE (TA)

CONSULENZA



GE.CO.D'OR S.R.L.

VIA G. GARIBALDI N. 15
74023 GROTTAGLIE (TA)

PROGETTISTA

ING. GAETANO D'ORONZIO
VIA GOITO 14 – COLOBRARO (MT)

Codice
VAOE068

Formato
A4

Scala
/

Foglio
1 di 26

Sommarario

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	3
3. DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO	5
4. SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DELLE LINEE ELETTRICHE	10
5. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DELLE LINEE A 33 KV	16
5.1. Criterio di dimensionamento	16
5.2. Posa e dati tecnici del cavo a 33 kV utilizzato	17
5.3. Calcolo delle portate	20
5.4. Calcolo della caduta di tensione	22
5.5. Calcolo della perdita di potenza	23
6. TABELLA DI CALCOLO	24
7. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO CAVI AT	25
8. CONCLUSIONI	26

1. PREMESSA

La “**Basilicata Prime S.r.l.**” è una società costituita per realizzare un impianto eolico da 68,2 MW, denominato “**Parco Eolico Val d’Agri**”, nel territorio del Comune di Montemurro (PZ), Armento (PZ) e Gallicchio (PZ) nella Regione Basilicata con Stazione Elettrica di trasformazione Utente 150/33 kV (SEU) nel Comune di Armento, stazione in condivisione con altri produttori nel Comune di Aliano e punto di connessione a 150 kV in corrispondenza della Stazione Elettrica di trasformazione (SE) RTN Terna 380/150 kV anch’essa localizzata nel Comune di Aliano.

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 Basilicata Prime S.r.l., 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).

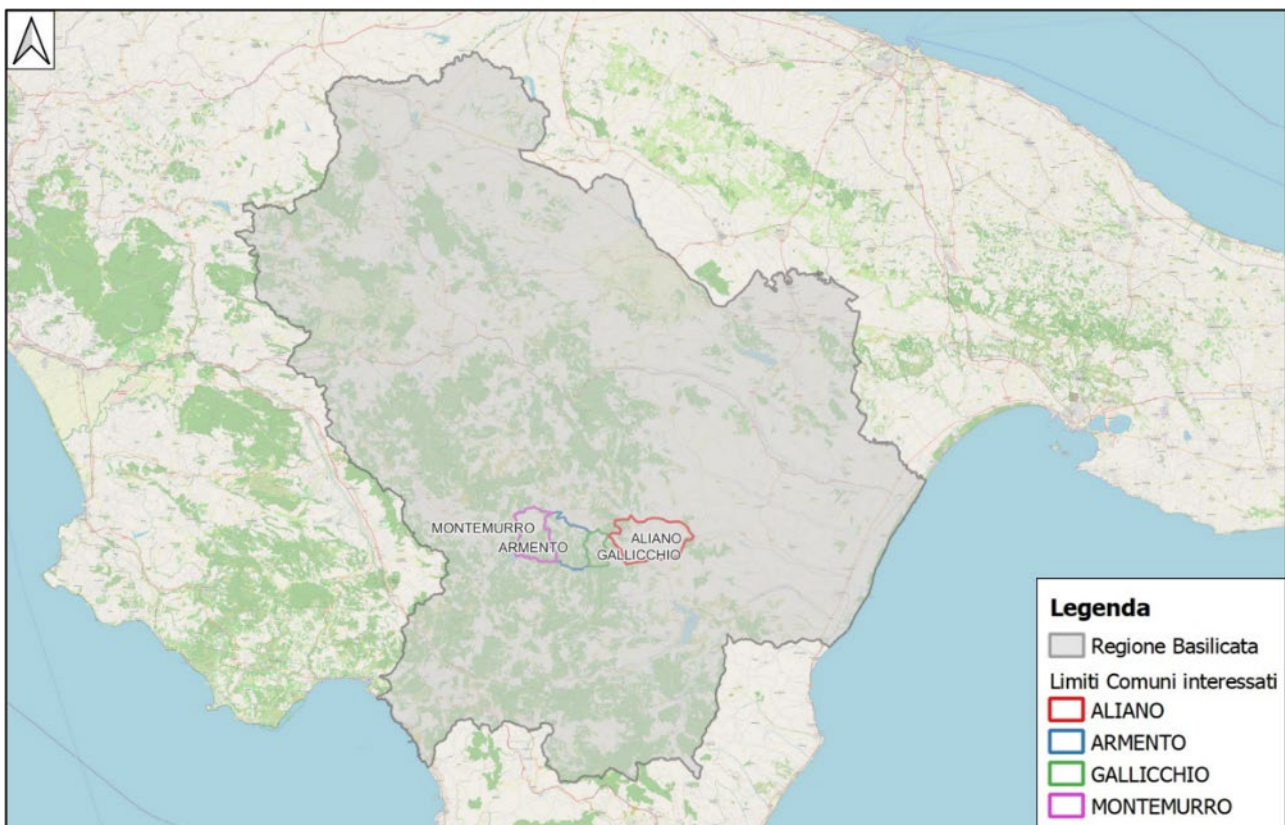


Figura 1.1: Localizzazione del Parco Eolico Val d’Agri

Il presente 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 in immissione di 68,2 MWp ed è costituito da 11 aerogeneratori di potenza pari a 6,2 MWp, altezza torre pari a 115 m e rotore pari a 170 m, collegati tra loro mediante un sistema di cavi interrati a 33 kV, opportunamente dimensionati e collegati alla Stazione Elettrica di trasformazione Utente 150/33 kV all’interno del Comune di Armento.

La SEU 150/33 kV è collegata, mediante un cavo interrato in Alta Tensione a 150 kV di lunghezza di circa 18,485 km, con la stazione condivisa di Aliano, a sua volta collegata mediante un cavo interrato in Alta Tensione a 150 kV di lunghezza di circa 6 km alla Stazione Elettrica di trasformazione della RTN a 380/150 kV denominata "Aliano".

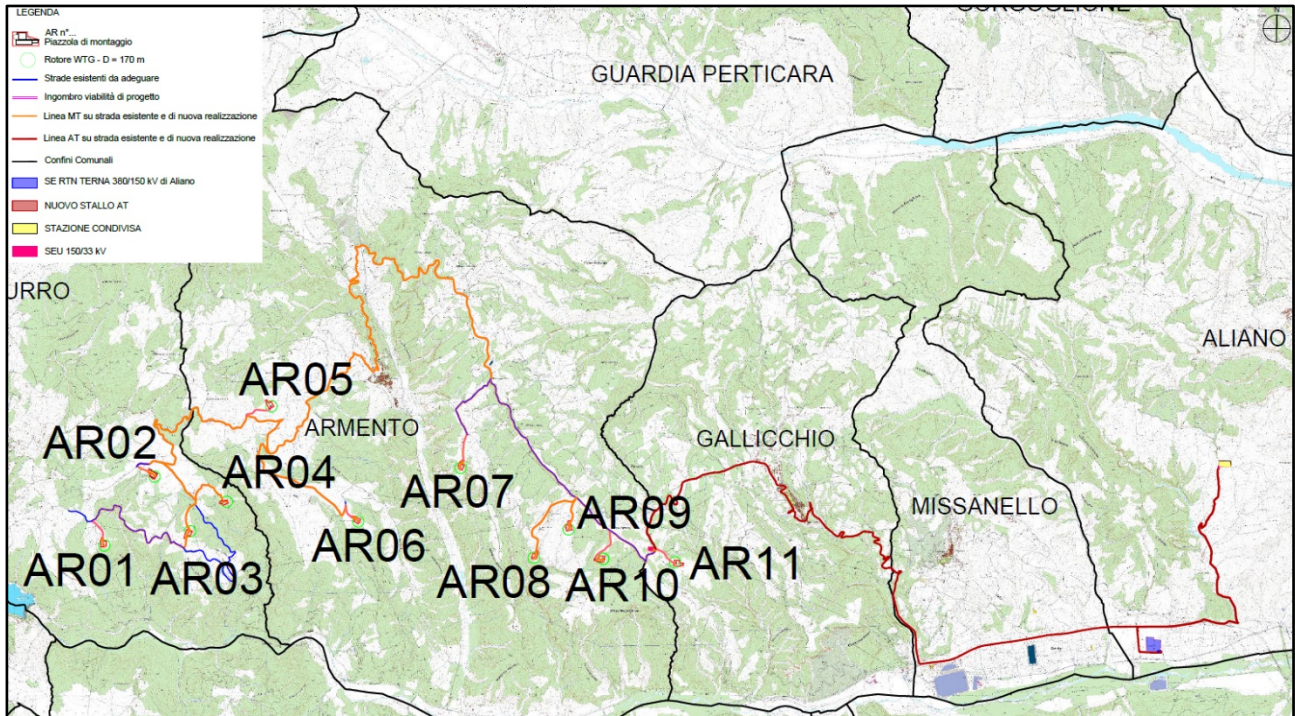


Figura 3.1: Inquadramento territoriale dell'impianto - Limiti amministrativi comuni interessati

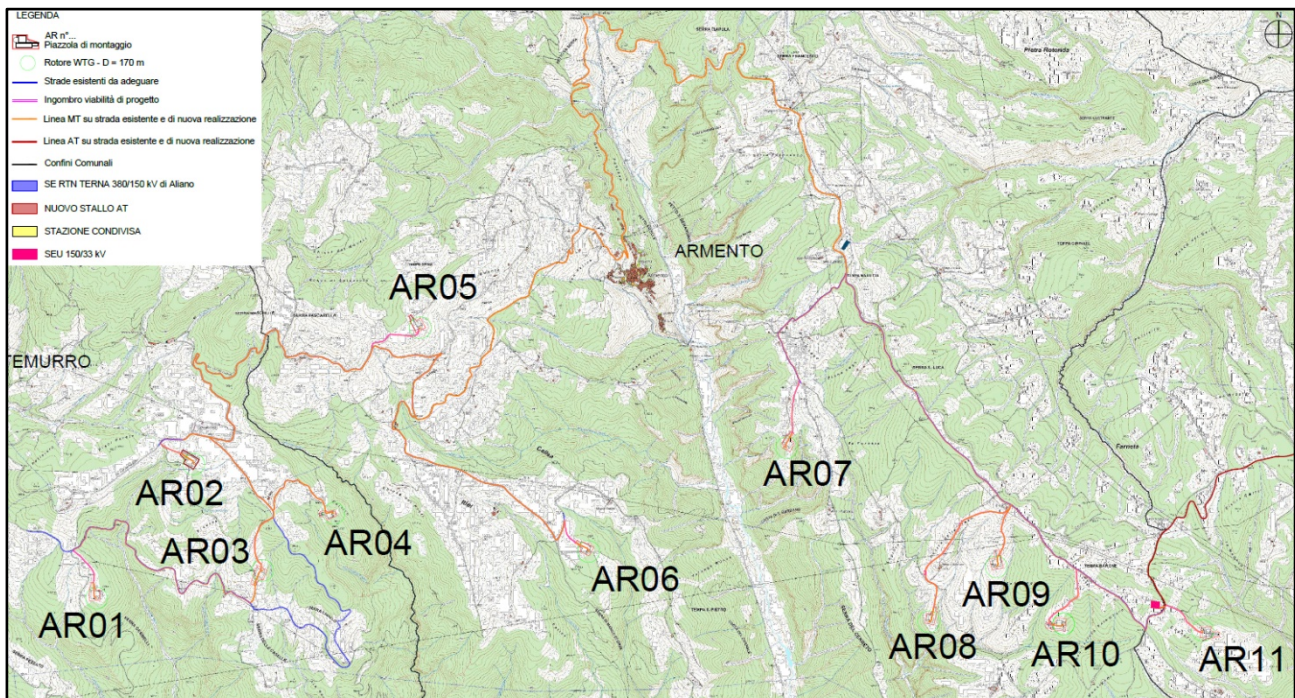


Figura 3.2: Layout d'impianto con aerogeneratori e SEU 150/33 kV su CTR

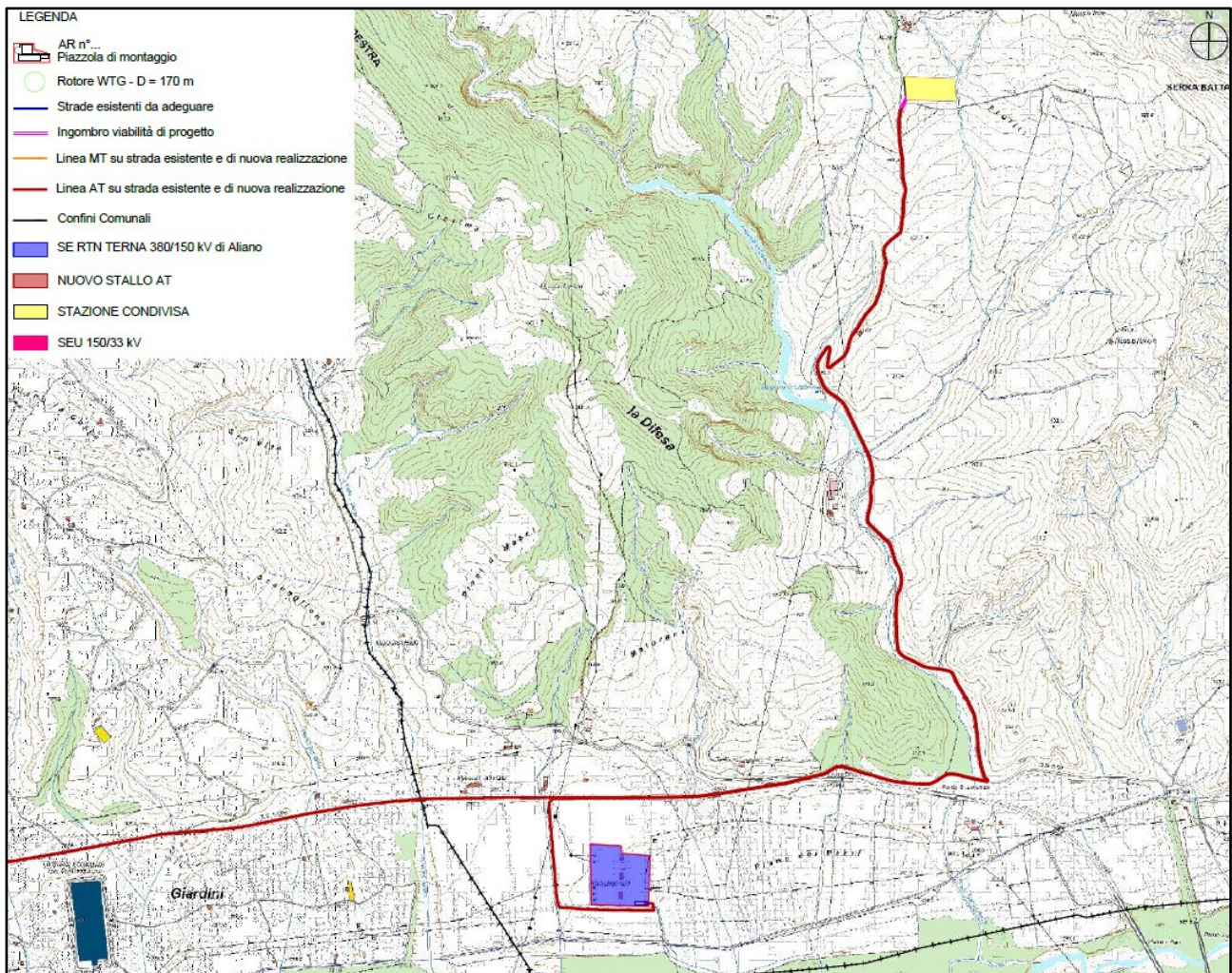


Figura 3.3: Stazione condivisa di Aliano, SE RTN Terna 380/150 kV Aliano su CTR

La soluzione di connessione (soluzione tecnica minima generale STMG - codice pratica del preventivo di connessione C.P. 202101538), prevede che l'impianto eolico venga collegato in antenna a 150 kV su un nuovo stallo della Stazione Elettrica di trasformazione della RTN a 380/150 kV denominata "Aliano" (Figura 3.3).

Il Gestore ha inoltre prescritto che lo stallo occupato dall'impianto debba essere condiviso con altri produttori e, a tal fine, si prevede di realizzare una stazione elettrica condivisa con altri produttori, collegata alla SE RTN mediante la posa in opera, su strade esistenti o da realizzarsi per lo scopo, di una linea Alta Tensione a 150 kV interrata di lunghezza complessiva di circa 6 km.

Le linee elettriche interrate a 33 kV sono allocate prevalentemente in corrispondenza del sistema di viabilità interna necessario anche per la costruzione e la gestione futura dell'impianto.

Il sistema di viabilità è realizzato prevalentemente adeguando il sistema viario esistente e realizzando nuovi tratti di raccordo per consentire il transito dei mezzi eccezionali.

Si riportano di seguito le coordinate delle posizioni scelte per l'installazione degli aerogeneratori e le

relative caratteristiche.

ID	Comune	Foglio	Particella	Latitudine [°]	Longitudine [°]	D rotore [m]	H tot [m]	H hub [m]
AR01	Montemurro	56	81	40.284384	16.015401	170	200	115
AR02	Montemurro	47	2	40.293744	16.024487	170	200	115
AR03	Montemurro	48	38	40.286214	16.030729	170	200	115
AR04	Montemurro	47	73	40.290155	16.037346	170	200	115
AR05	Armento	30	95	40.303170	16.045512	170	200	115
AR06	Armento	57	10	40.287263	16.060763	170	200	115
AR07	Armento	49	90	40.294414	16.079120	170	200	115
AR08	Armento	61	90	40.282025	16.092013	170	200	115
AR09	Armento	63	2	40.285832	16.098284	170	200	115
AR10	Armento	63	137	40.281757	16.104428	170	200	115
AR11	Gallicchio	27	113	40.281172	16.117212	170	200	115

Tabella 3.1: Localizzazione e caratteristiche degli aerogeneratori di progetto

Il progetto prevede che uno dei possibili aerogeneratori da installare sia il modello Siemens Gamesa SG 170 di potenza nominale pari a 6,2 MWp, altezza torre all'hub pari a 115 m e diametro del rotore 170 m.

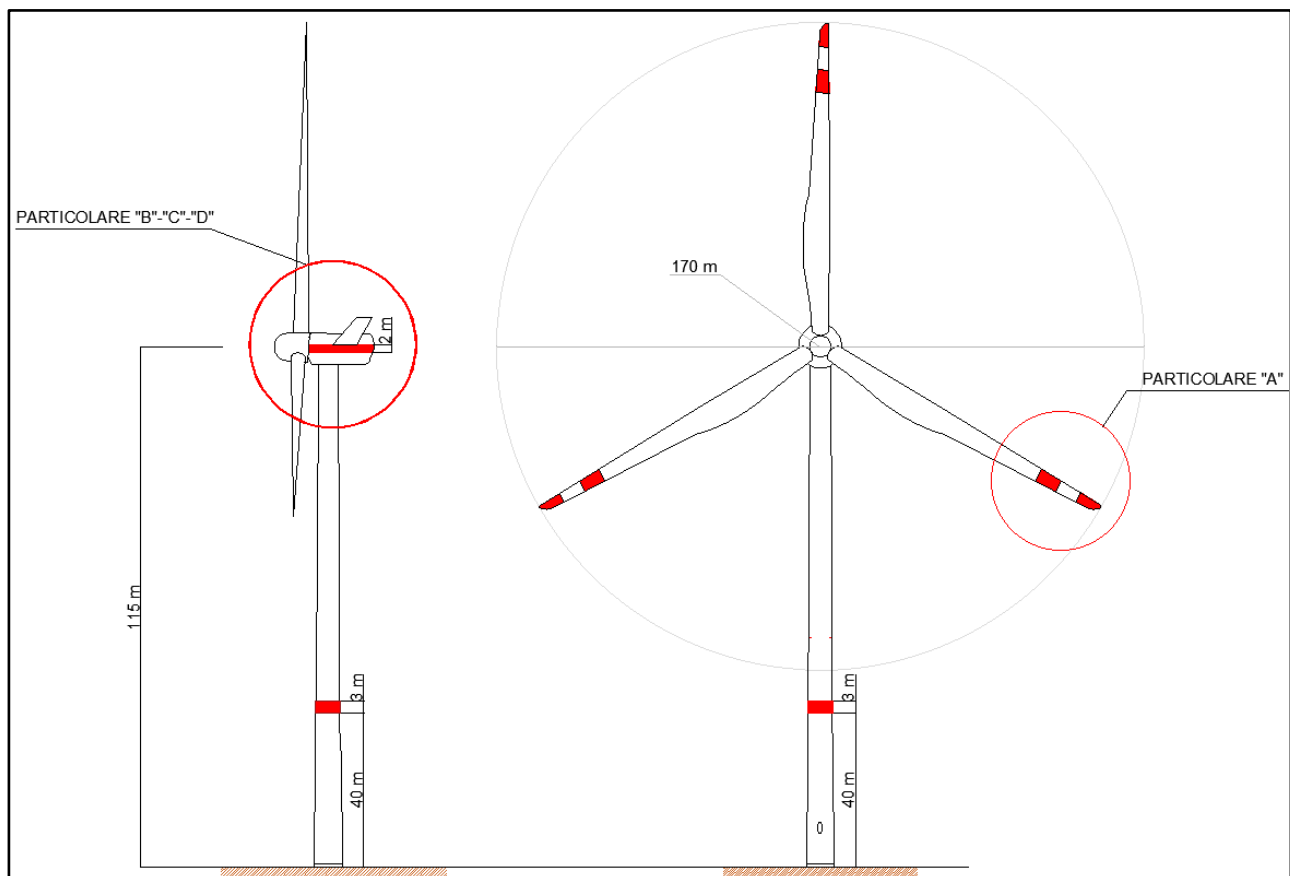


Figura 3.4: Profilo aerogeneratore SG170 – 6,2 MWp

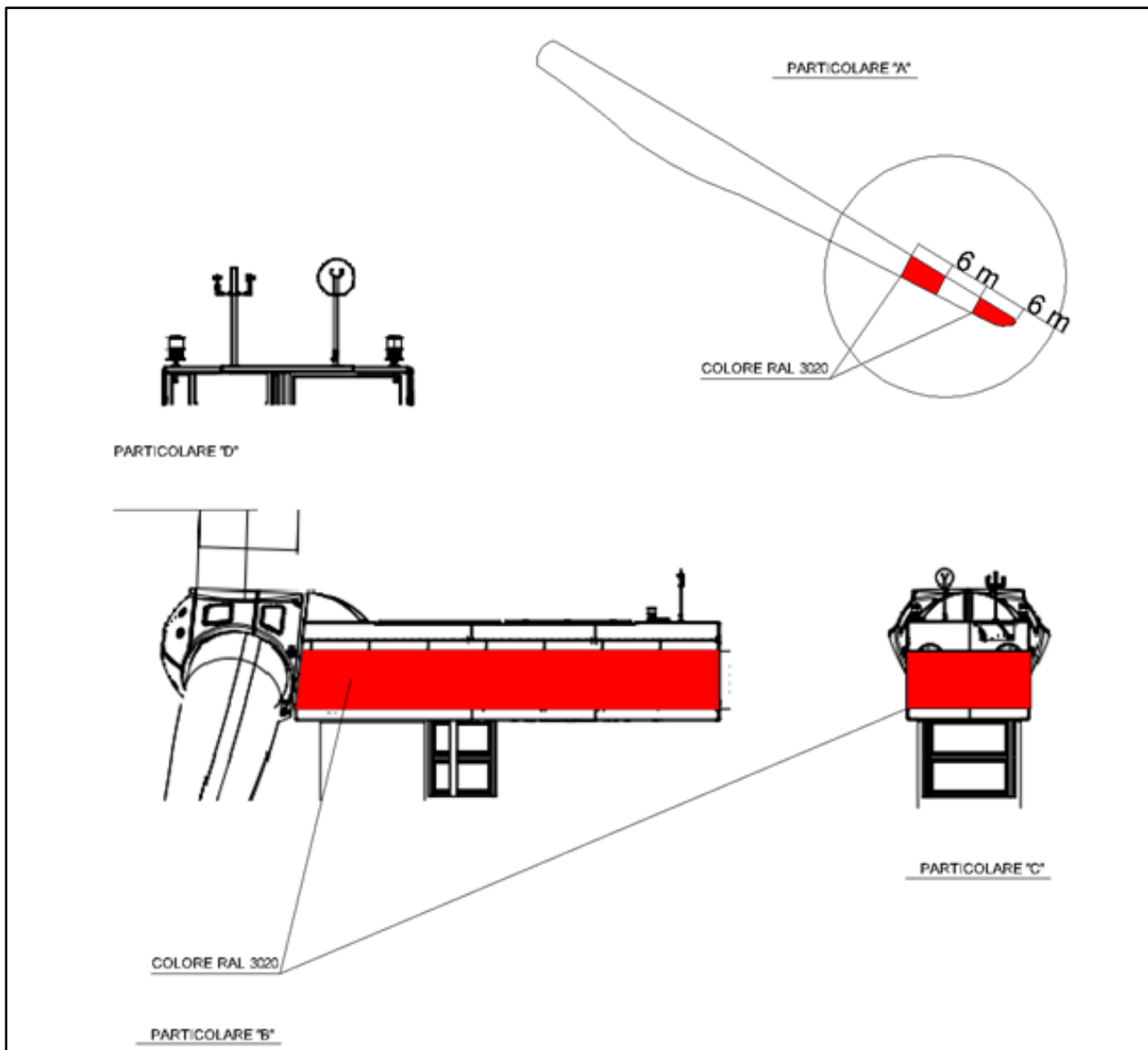


Figura 3.5: Particolari aerogeneratore SG170 – 6,2 MWp

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, viene realizzato in resina epossidica rinforzata con fibra di vetro ed è caratterizzato da un funzionamento a passo variabile. Altre caratteristiche salienti sono riassunte nella **Tabella 3.2**.

Rotor		Grid Terminals (LV)
Type.....	3-bladed, horizontal axis	Baseline nominal power...6.0MW/6.2 MW
Position.....	Upwind	Voltage.....690 V
Diameter.....	170 m	Frequency.....50 Hz or 60 Hz
Swept area.....	22,698 m ²	
Power regulation.....	Pitch & torque regulation with variable speed	
Rotor tilt.....	6 degrees	
Blade		Yaw System
Type.....	Self-supporting	Type.....Active
Single piece blade length	83,3 m	Yaw bearing.....Externally geared
Segmented blade length:		Yaw drive.....Electric gear motors
Inboard module.....	68,33 m	Yaw brake.....Active friction brake
Outboard module.....	15,04 m	
Max chord.....	4.5 m	Controller
Aerodynamic profile.....	Siemens Gamesa proprietary airfoils	Type.....Siemens Integrated Control System (SICS)
Material.....	G (Glassfiber) – CRP (Carbon Reinforced Plastic)	SCADA system.....Consolidated SCADA (CSSS)
Surface gloss.....	Semi-gloss, < 30 / ISO2813	
Surface color.....	White, RAL 9018	Tower
		Type.....Tubular steel / Hybrid
		Hub height.....100m to 165 m and site- specific
		Corrosion protection.....
		Surface gloss.....Painted
		Color.....Semi-gloss, <30 / ISO-2813 Light grey, RAL 7035 or White, RAL 9018
Aerodynamic Brake		Operational Data
Type.....	Full span pitching	Cut-in wind speed.....3 m/s
Activation.....	Active, hydraulic	Rated wind speed.....11.0 m/s (steady wind without turbulence, as defined by IEC61400-1)
		Cut-out wind speed.....25 m/s
		Restart wind speed.....22 m/s
Load-Supporting Parts		Weight
Hub.....	Nodular cast iron	Modular approach.....Different modules depending on restriction
Main shaft.....	Nodular cast iron	
Nacelle bed frame.....	Nodular cast iron	
Mechanical Brake		
Type.....	Hydraulic disc brake	
Position.....	Gearbox rear end	
Nacelle Cover		
Type.....	Totally enclosed	
Surface gloss.....	Semi-gloss, <30 / ISO2813	
Color.....	Light Grey, RAL 7035 or White, RAL 9018	
Generator		
Type.....	Asynchronous, DFIG	

Tabella 3.2: Specifiche tecniche dell'aerogeneratore

Le caratteristiche dell'aerogeneratore sopra riportate 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 Val D'Agri" è caratterizzato da una potenza complessiva di 68,2 MWp, ottenuta da 11 aerogeneratori di potenza 6,2 MWp ciascuno.

Gli aerogeneratori sono collegati elettricamente tra loro mediante cavi a 33 kV in modo da formare 5 sottocampi (Circuiti A, B, C, D e E) di 2 o 3 WTG (Wind Turbine Generator); ognuno di tali circuiti, associato ad un colore diverso per maggiore chiarezza di esposizione, è collegato mediante cavo interrato a 33 kV alla SEU 150/33 kV di Armento, come esplicitato nella **Tabella 4.1**.

Sottocampo o Circuito	Aerogeneratori	Potenza totale [MWp]
CIRCUITO A	AR01 – AR03	12,4
CIRCUITO B	AR04 – AR 02	12,4
CIRCUITO C	AR06 – AR05	12,4
CIRCUITO D	AR07 – AR08	12,4
CIRCUITO E	AR09 – AR10 – AR11	18,6

Tabella 4.1: Distribuzione linee a 33 kV

Gli aerogeneratori sono stati collegati elettricamente secondo un criterio che tiene in considerazione i valori di cadute di tensione e 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 del cavo di ogni tratto di linea e nel quale gli aerogeneratori di ogni linea sono collegati tra loro secondo lo schema in entra – esci e in fine linea, è riportato nella **Figura 4.1** (maggiori dettagli sono riportati nell'elaborato di progetto "VAOE074 Distribuzione MT – schema a blocchi").

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

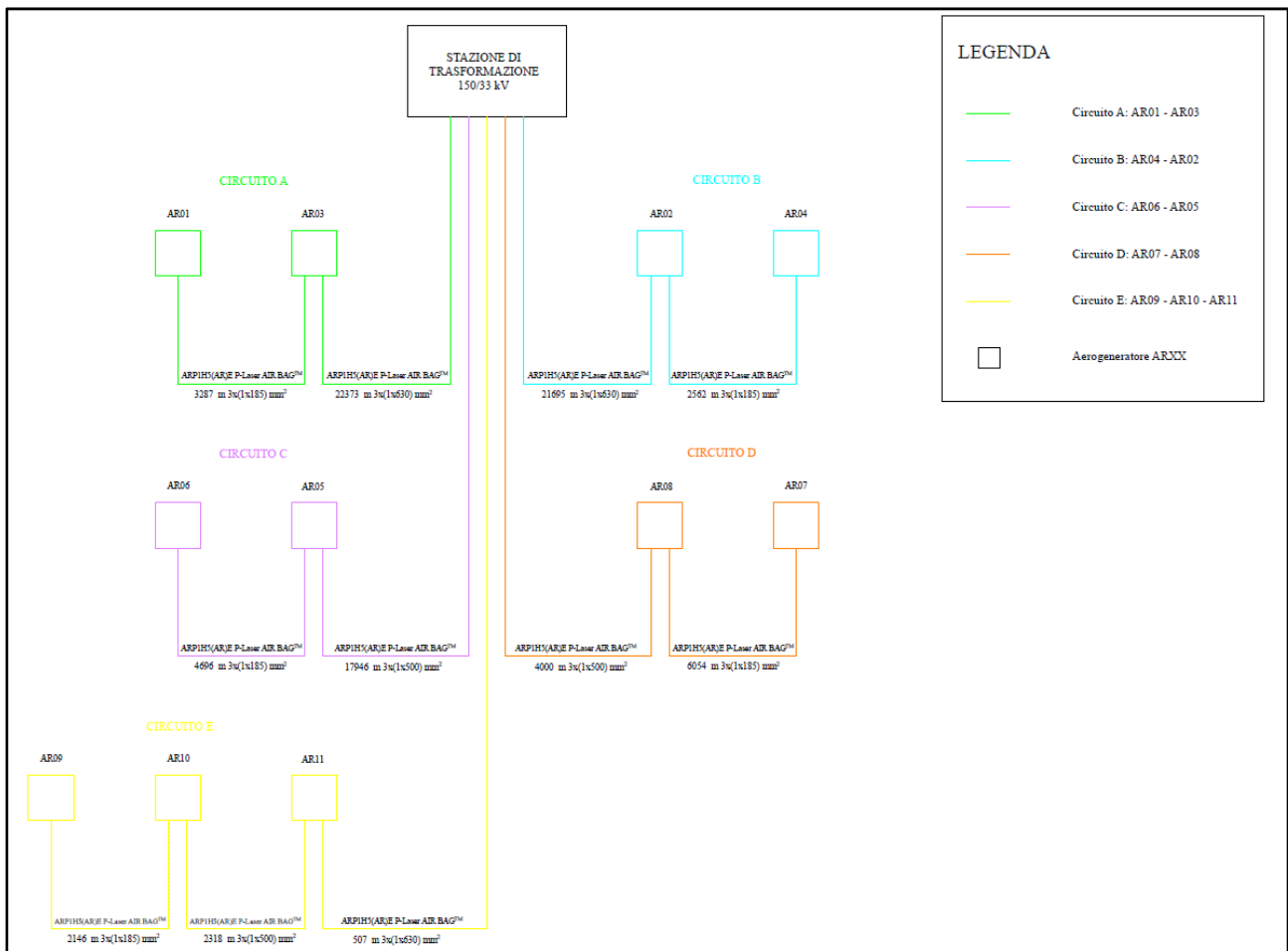


Figura 4.1: Schema a blocchi del Parco Eolico Val D'Agri

Nel seguito sono riportati la planimetria di distribuzione delle linee a 33 kV per i cinque circuiti e i relativi dettagli.

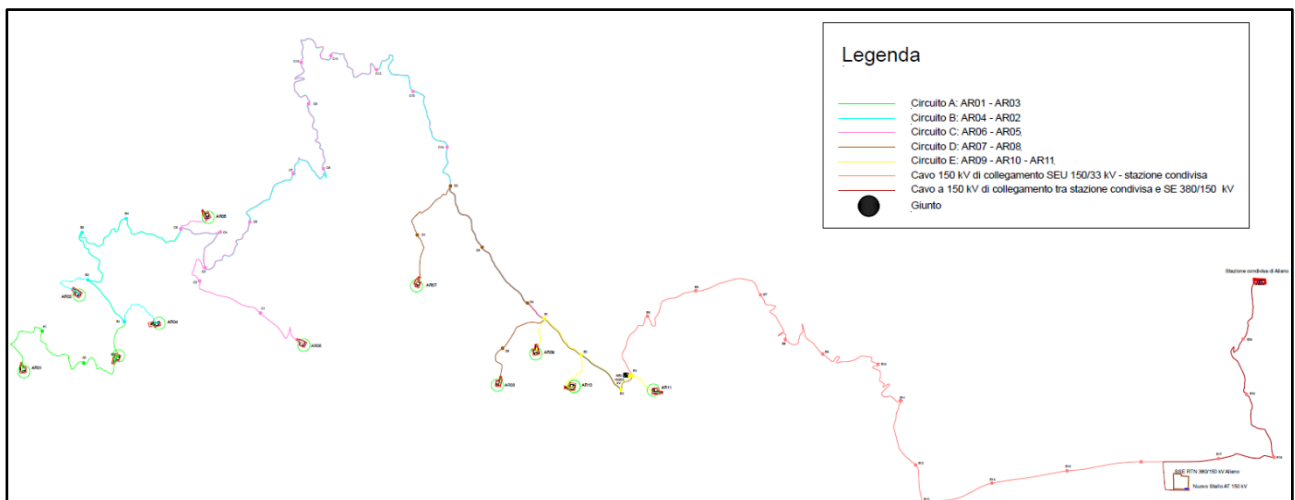


Figura 4.2: Planimetria generale di distribuzione linee a 33 kV e a 150 kV di collegamento

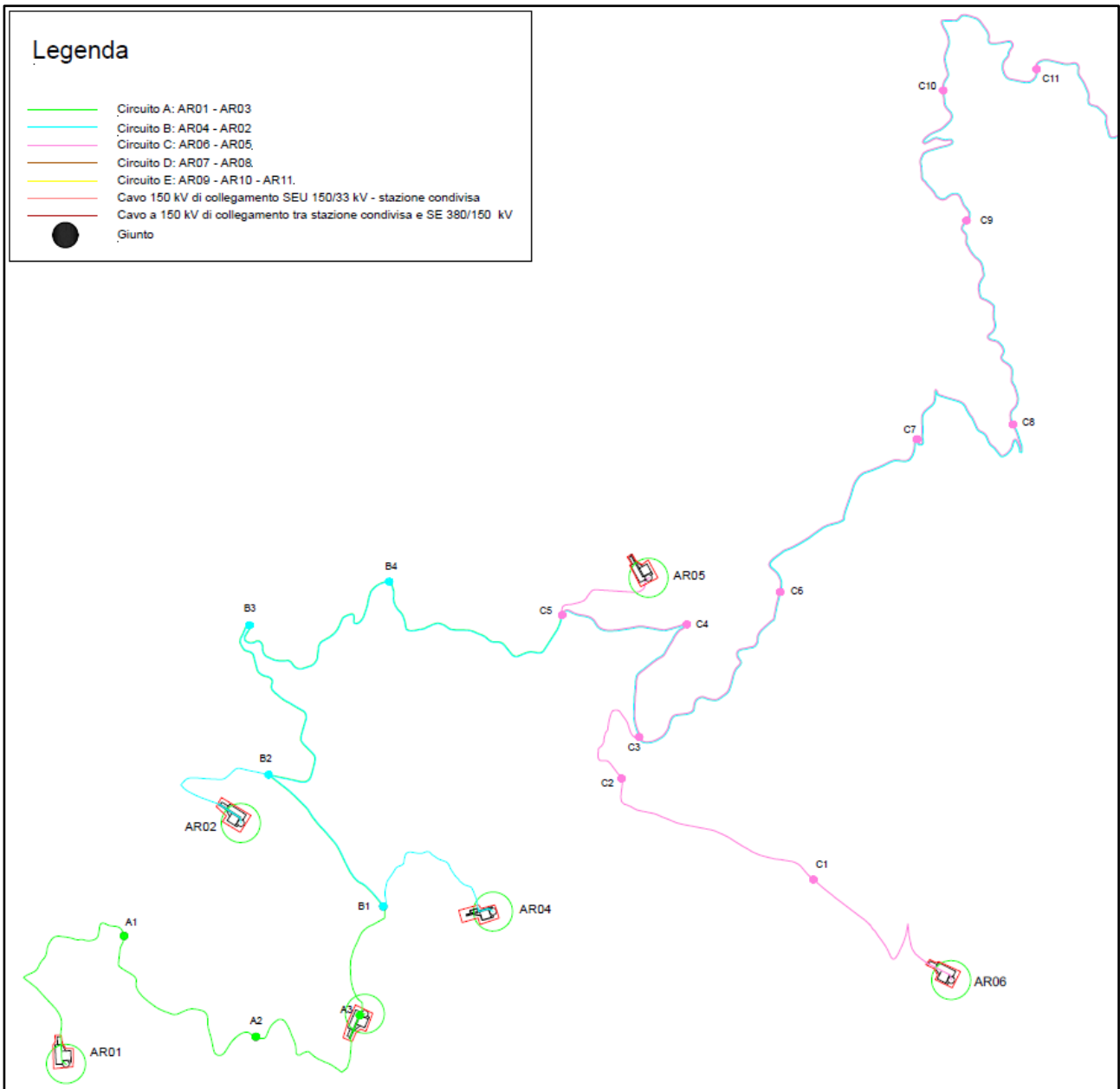


Figura 4.3: Dettaglio 1 - planimetria di distribuzione linee a 33 kV di collegamento tra gli aerogeneratori

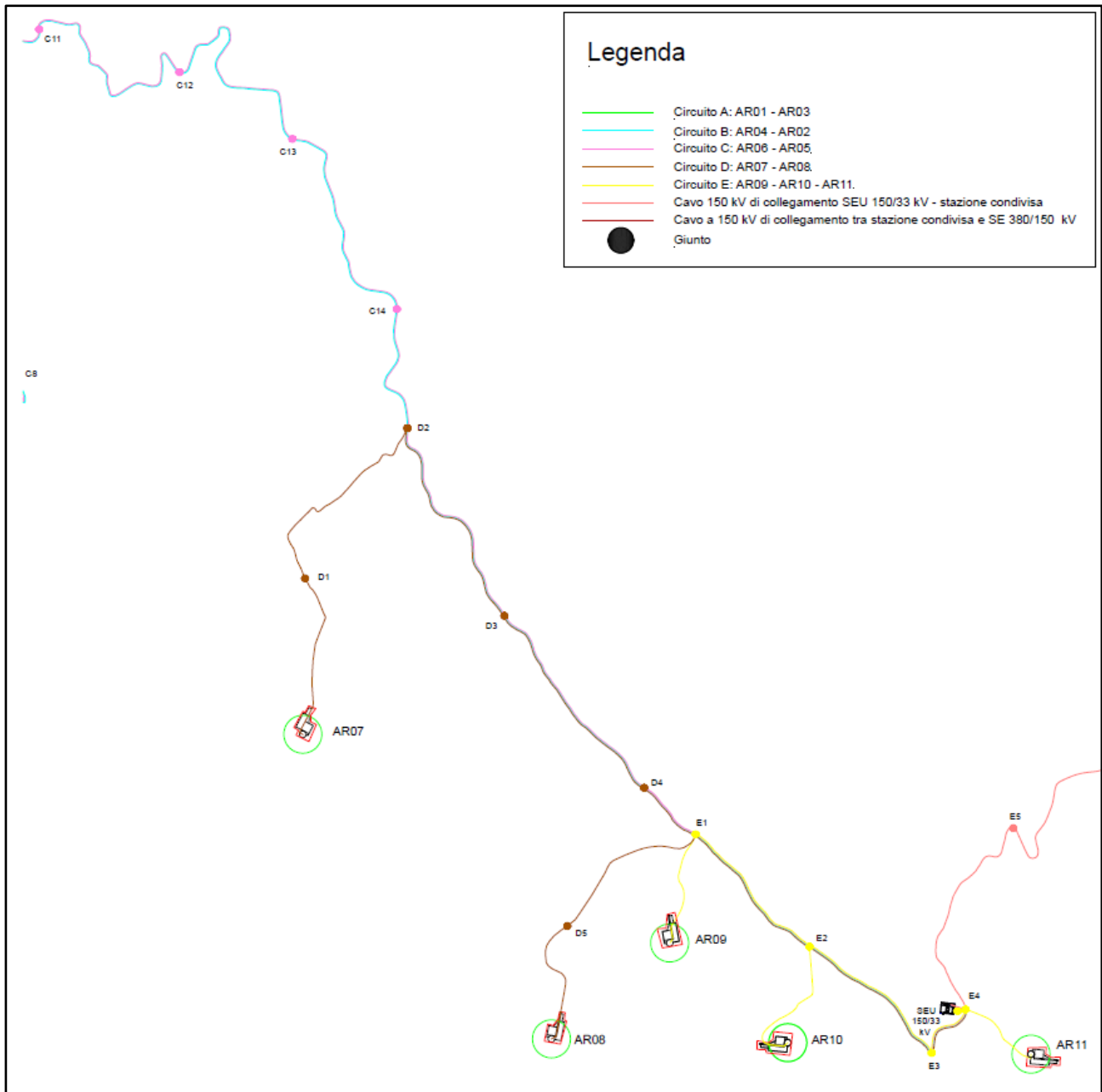


Figura 4.4: Dettaglio 2 - planimetria di distribuzione linee a 33 kV di collegamento tra gli aerogeneratori, tra i circuiti e la SEU 150/33 kV e linea a 150 kV di collegamento tra la SEU 150/33 kV e la stazione condivisa

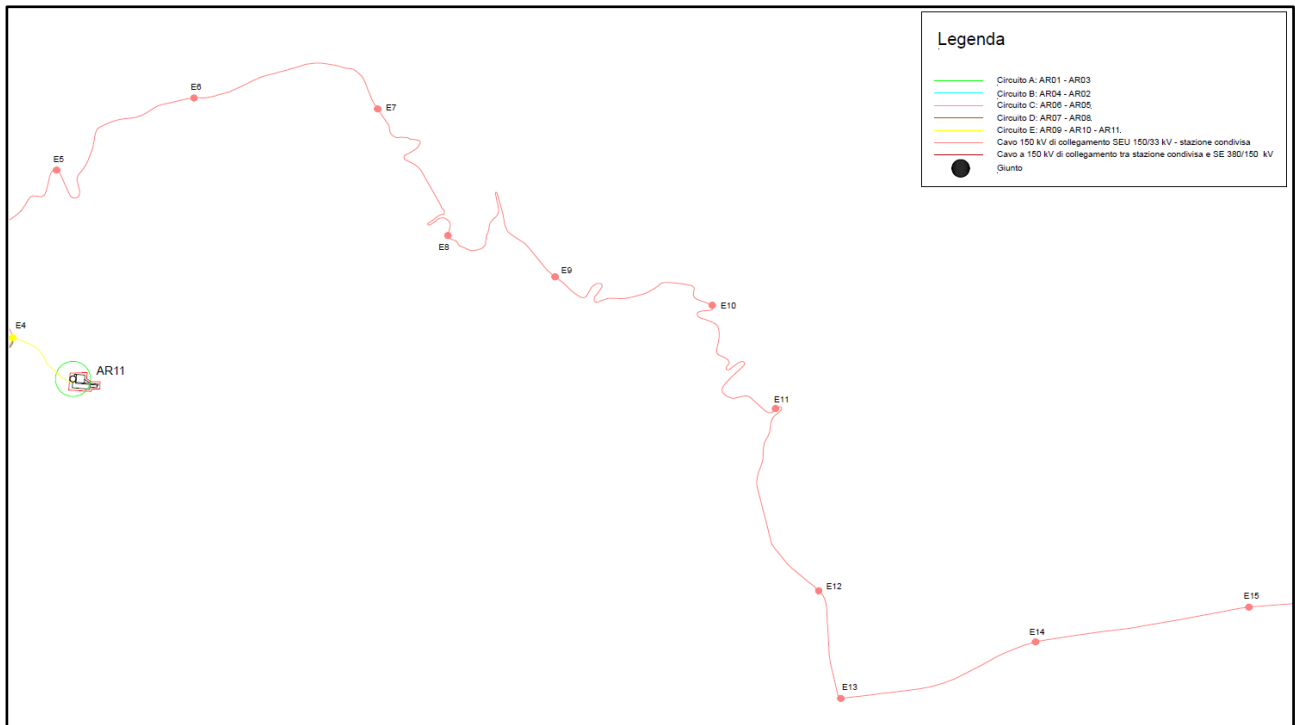


Figura 4.5: Dettaglio 3 - planimetria di distribuzione linea a 150 kV di collegamento tra la SEU 150/33 kV e la stazione condivisa

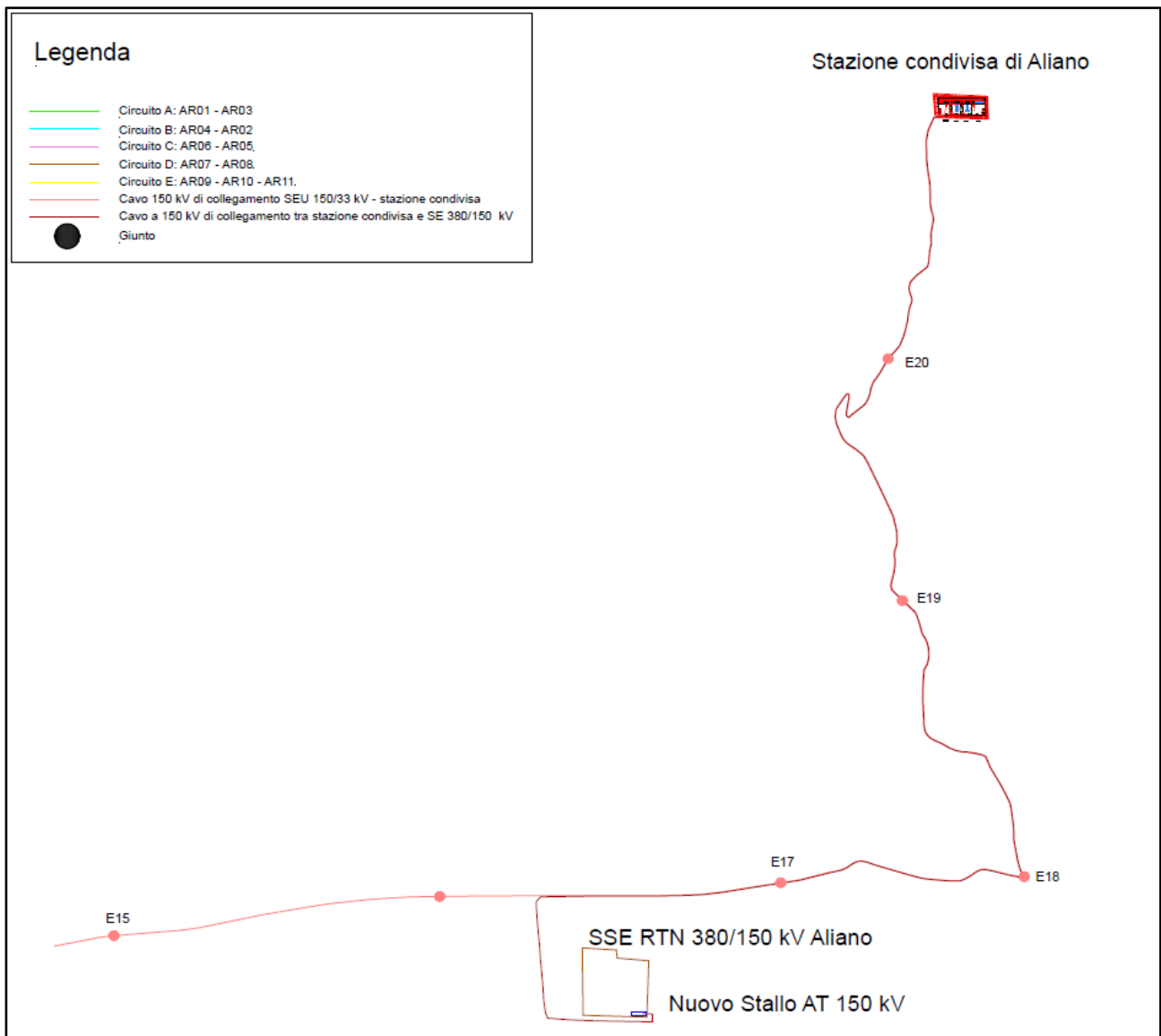


Figura 4.6: Dettaglio 4 - planimetria di distribuzione linee a 150 kV di collegamento tra la SEU 150/33 kV e la stazione condivisa e tra la stazione condivisa e la SE RTN 380/150 kV

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;
- ΔV rappresenta la massima caduta di tensione per la linea di cavo ed è valutata in accordo con le modalità di posa dello stesso;
- ΔP 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 del cavo a 33 kV utilizzato

Il cavo impiegato per il collegamento di tutte le tratte in Media Tensione è il tipo ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAGTM (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 monitore 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 nel documento di progetto "VAOE073 Distribuzione MT - sezioni tipiche delle trincee di cavidotto", nel quale le misure sono espresse in mm.

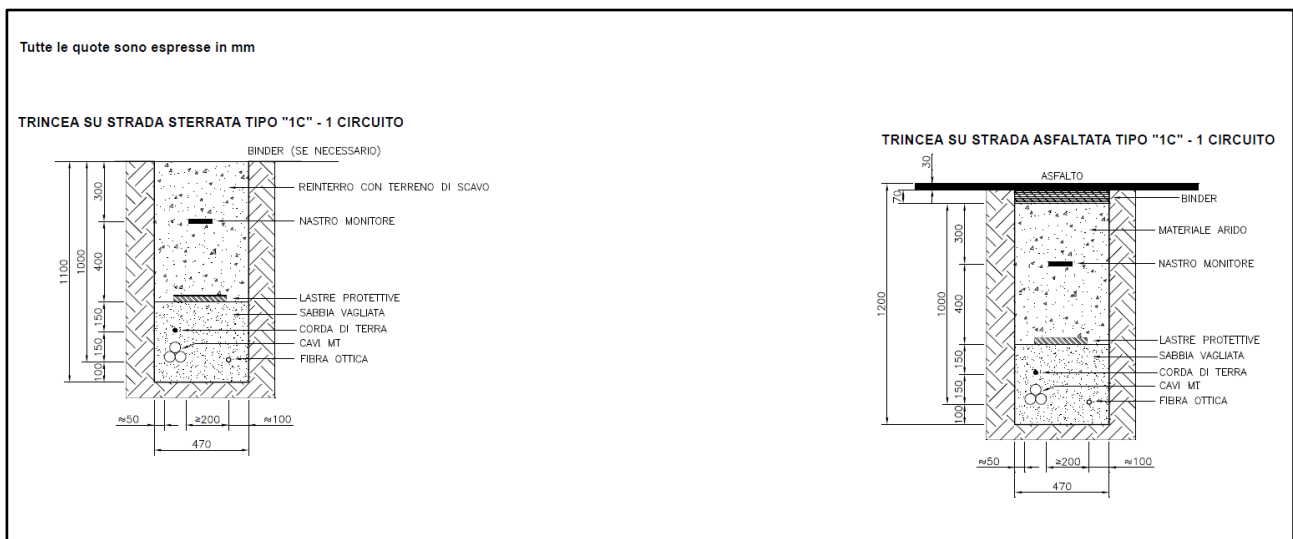


Figura 5.2.1: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per una terna di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata

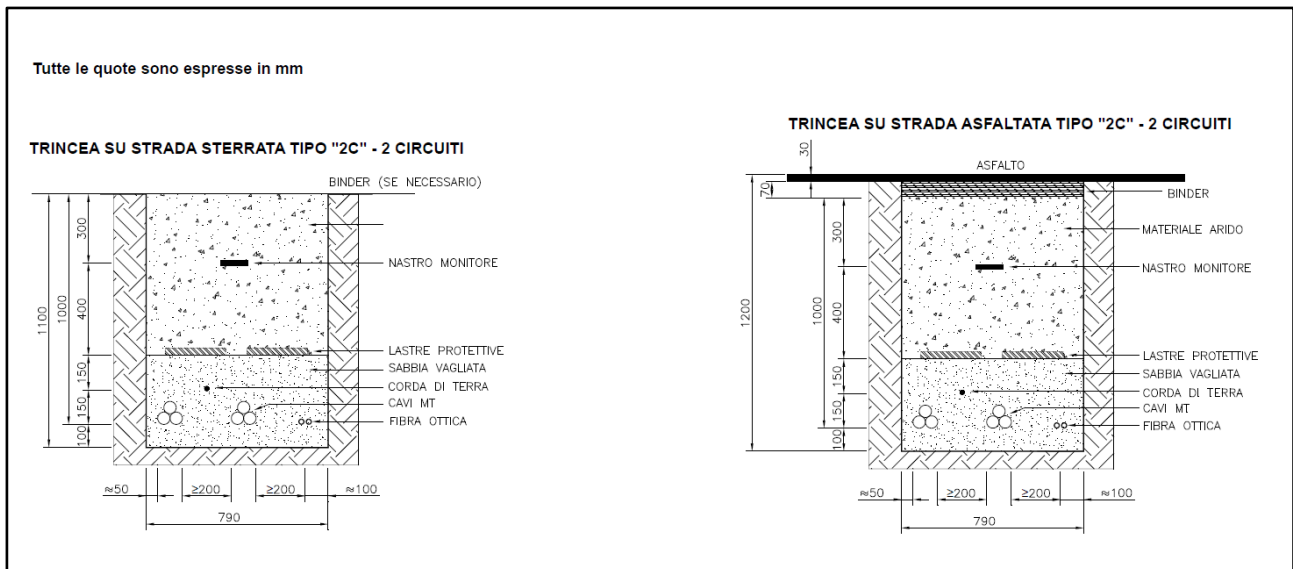


Figura 5.2.2: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per due terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata

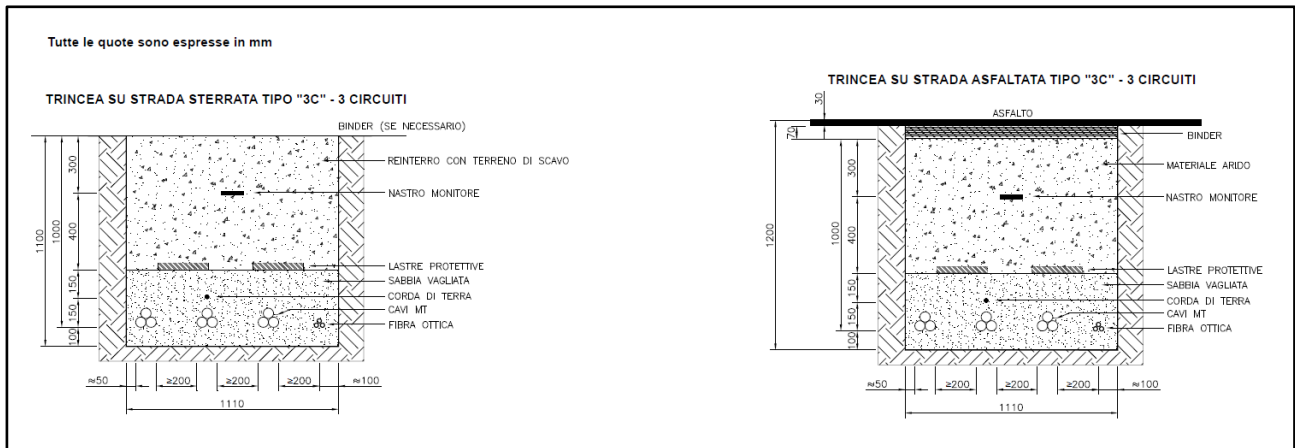


Figura 5.2.3: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per tre terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata

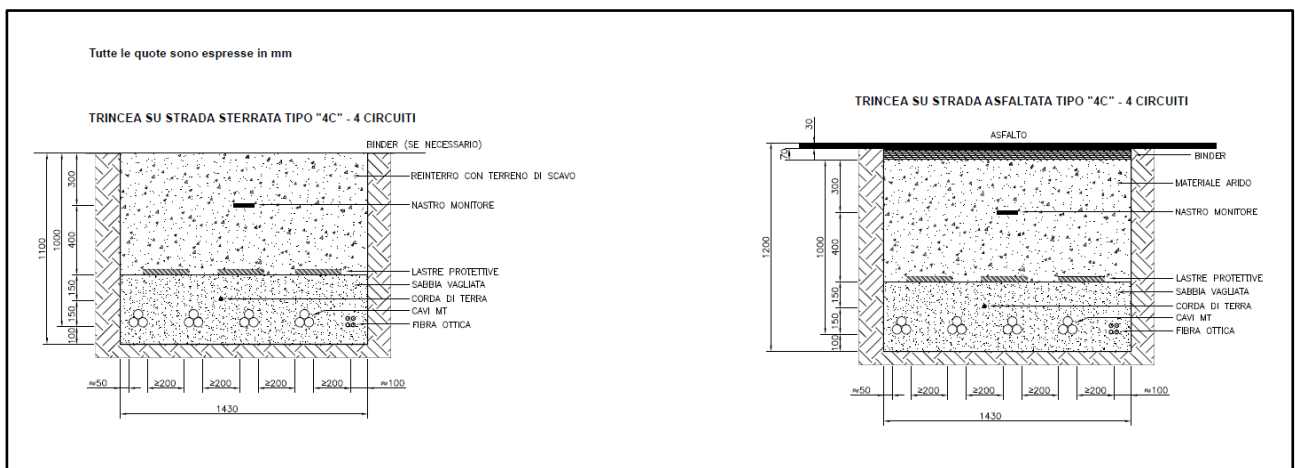


Figura 5.2.4: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per quattro terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata

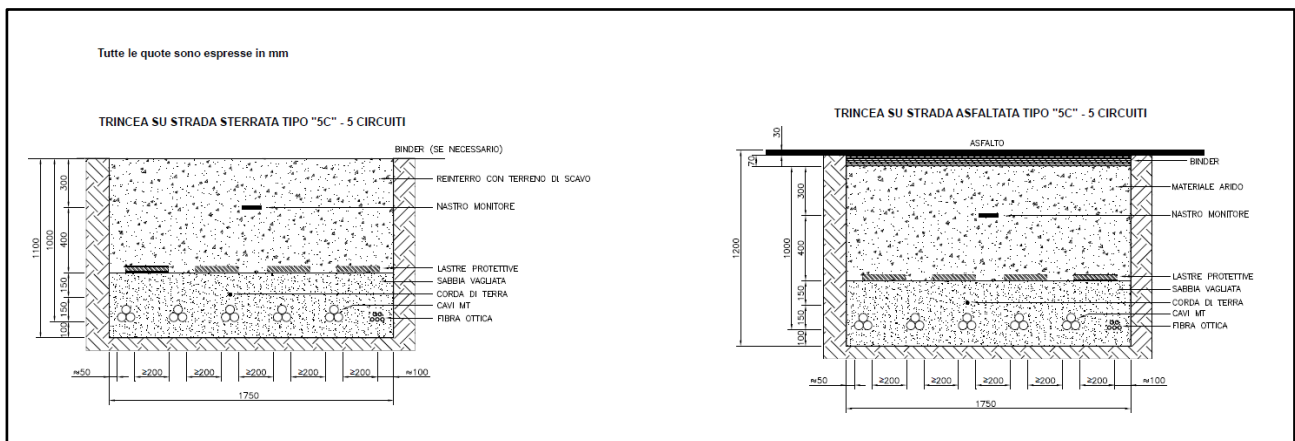


Figura 5.2.5: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per cinque terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata

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.

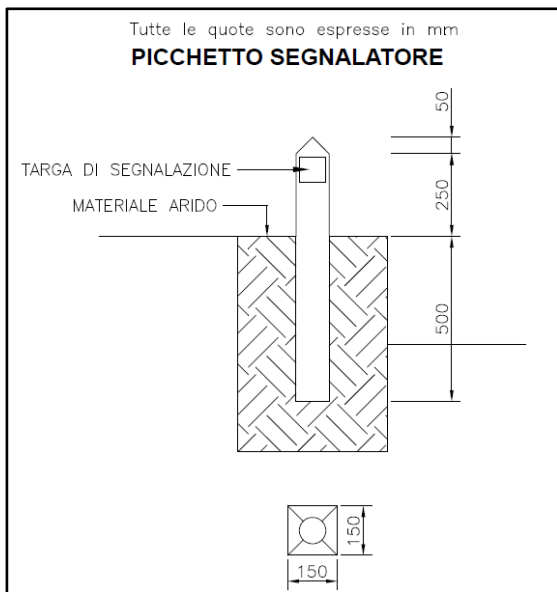


Figura 5.2.6: Sezione tipica del picchetto segnalatore

Considerando che le sezioni del cavo utilizzato sono di 185 mm², 500 mm² e 630 mm², le specifiche tecniche del cavo in questione sono riassunte nella tabella seguente:

Sezione [mm ²]	Resistenza apparente di fase a 90°C e 50 Hz [Ω/Km]	Reattanza di fase a 50 Hz [Ω/Km]	Portata nominale del cavo [A] (*)
185	0,164	0,12	368
500	0,0605	0,103	636
630	0,0469	0,102	725

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

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

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. 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° 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 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 Val D'Agri può essere adoperato il fattore di correzione $k_1 = 1$, in quanto si può ritenere la temperatura del terreno pari a 20° 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 5.3.1: 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 mm² o le sezioni di 500 mm² e 630 mm².

Per quanto riguarda il fattore di correzione per resistività termica del suolo diversa da 1,5 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 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 cavi a 33 kV esistenti in parallelo sullo stesso piano orizzontale può essere desunto dagli elaborati grafici “VAOE070 Distribuzione MT - cavidotto su CTR (per circuiti)”, “VAOE072 Distribuzione MT - cavidotto su ortofoto (per circuiti)”, nonché dalle **Figure 4.2 ÷ 4.6** e dalla **Tabella 5.3.2** sotto riportata, i valori di k_4 si ottengono dai valori della Tabella B.19 della Norma IEC

60502-2 e considerando la distanza di separazione delle terne adiacenti in parallelo sullo stesso piano orizzontale pari a 0,20 m.

TRATTA			CIRCUITO A		CIRCUITO B		CIRCUITO C		CIRCUITO D		CIRCUITO E	
DA	A	LUNGHEZZA [m]	N. CAVI	FORMAZIONE CAVO	N. CAVI	FORMAZIONE CAVO	N. CAVI	FORMAZIONE CAVO	N. CAVI	FORMAZIONE CAVO	N. CAVI	FORMAZIONE CAVO
AR01	A1	1196	1	3x(1x185)								
A1	A2	1136	1	3x(1x185)								
A2	A3	909	1	3x(1x185)								
AR03	A3	46	2	3x(1x185) + 3x(1x630)								
A3	B1	613	1	3x(1x630)								
AR04	B1	889			1	3x(1x185)						
B1	B2	846	1	3x(1x630)	1	3x(1x185)						
AR02	B2	827			2	3x(1x185) + 3x(1x630)						
B2	B3	1156	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)						
B3	B4	1149	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)						
B4	C5	1166	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)						
AR06	C1	1123					1	3x(1x185)				
C1	C2	1122					1	3x(1x185)				
C2	C3	609					1	3x(1x185)				
C3	C4	647	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	2	3x(1x185) + 3x(1x500)				
C4	C5	646	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	2	3x(1x185) + 3x(1x500)				
AR05	C5	549					2	3x(1x185) + 3x(1x500)				
C3	C6	1168	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)				
C6	C7	1170	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)				
C7	C8	1116	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)				
C8	C9	1158	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)				
C9	C10	1133	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)				
C10	C11	1153	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)				
C11	C12	1180	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)				
C12	C13	1198	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)				
C13	C14	1118	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)				
C14	D2	660	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)				
AR07	D1	852							1	3x(1x185)		
D1	D2	1080							1	3x(1x185)		
D2	D3	1123	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)	1	3x(1x185)		
D3	D4	1112	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)	1	3x(1x185)		
D4	E1	351	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)	1	3x(1x185)		
AR08	D5	686							2	3x(1x185) + 3x(1x500)		
D5	E1	850							2	3x(1x185) + 3x(1x500)		
AR09	E1	600									1	3x(1x185)
E1	E2	803	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)	1	3x(1x500)	1	3x(1x185)
AR10	E2	743									2	3x(1x185) + 3x(1x500)
E2	E3	818	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)	1	3x(1x500)	1	3x(1x500)
E3	E4	304	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)	1	3x(1x500)	1	3x(1x500)
AR11	E4	453									2	3x(1x500) + 3x(1x630)
E4	SBU 150/53 kV	54	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x500)	1	3x(1x500)	1	3x(1x630)

Tabella 5.3.2: Singole tratte delle linee a 33 kV per i vari circuiti

Numero circuiti in parallelo	1	2	3	4	5
K_4	1	0,83	0,73	0,68	0,63

Tabella 5.3.3: Fattore di correzione k_4

Inoltre, per ciascuna tratta si considera quale valore k_4 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.

5.4. 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_b rappresenta la corrente transitante lungo il cavo;

- $\cos\varphi$ rappresenta il fattore di potenza (0,9);
- R_f rappresenta la resistenza di fase del cavo;
- X_f 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 $V = 33$ 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:

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

5.5. 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:

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

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 sul dimensionamento a 33 kV.

LINEA	DA	A	L [m]	SEZIONE [mm ²]	I _b [A]	I _z [A]	$\Delta V_r, \%$	$\Delta P_r, \%$
CIRCUITO A	AR01	AR03	3.287	185	120,5	299,3	0,416	
	AR03	SEU 150/33 KV	22.373	630	241,0	443,0	2,45	
							SOMMA	SOMMA
							2,87	1,66
CIRCUITO B	AR04	AR02	2.562	185	120,5	299,3	0,324	
	AR02	SEU 150/33 KV	21.695	630	241,0	443,0	2,38	
							SOMMA	SOMMA
							2,70	1,58
CIRCUITO C	AR06	AR05	4.696	185	120,5	245,2	0,594	
	AR05	SEU 150/33 KV	17.946	500	241,0	388,6	2,25	
							SOMMA	SOMMA
							2,84	1,80
CIRCUITO D	AR07	AR08	6.054	185	120,5	245,2	0,765	
	AR08	SEU 150/33 KV	4.000	500	241,0	388,6	0,503	
							SOMMA	SOMMA
							1,27	0,690
CIRCUITO E	AR09	AR10	2.146	185	120,5	227,2	0,271	
	AR10	AR11	2.318	500	241,0	388,6	0,291	
	AR11	SEU 150/33 KV	507	630	361,6	443,0	0,0834	
							SOMMA	SOMMA
							0,645	0,264

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

7. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO CAVI AT

Il collegamento tra la Stazione Elettrica di trasformazione Utente 150/33 kV, nel Comune di Armento, e la stazione condivisa, nel Comune di Aliano, è realizzato tramite una linea interrata a 150 kV di lunghezza di circa 18,485 km ed è composta da una terna di cavi unipolari ARE4H5E (o similari) del costruttore Prysmian, di sezione di 400 mm², in accordo con lo standard IEC 60840, con conduttore in alluminio, schermo semiconduttivo del conduttore, isolamento in polietilene reticolato XLPE, U₀/U_n (U_{max}) 87/150 (170) kV, portata nominale di 450 A, schermo semiconduttivo dell'isolamento, schermo metallico e guaina di protezione esterna in alluminio saldata longitudinalmente.

Il collegamento tra la stazione condivisa e il nuovo stallo del futuro ampliamento della Stazione Elettrica di trasformazione della RTN a 380/150 kV, denominata "Aliano", è realizzato tramite una linea interrata a 150 kV di lunghezza di circa 6 km ed è composta da una terna di cavi unipolari ARE4H5E (o similari) del costruttore Prysmian, di sezione di 1600 mm², in accordo con lo standard IEC 60840, con conduttore in alluminio, schermo semiconduttivo del conduttore, isolamento in polietilene reticolato XLPE, U₀/U_n (U_{max}) 87/150 (170) kV, portata nominale di 900 A, schermo semiconduttivo dell'isolamento, schermo metallico e guaina di protezione esterna in alluminio saldata longitudinalmente.

Entrambi i cavi a 150 kV sono installati secondo una posa a trifoglio a 1,60 m dal piano del suolo e su un letto di sabbia di 0,1 m, sono ricoperti da uno strato di sabbia di 0,4 m al di sopra del quale una lastra protettiva in cemento ne assicura la protezione meccanica.

A 0,7 m dal piano del suolo 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.

Ognuna delle terne 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 "VAOE092 Sezione tipica delle trincea di cavidotto AT".

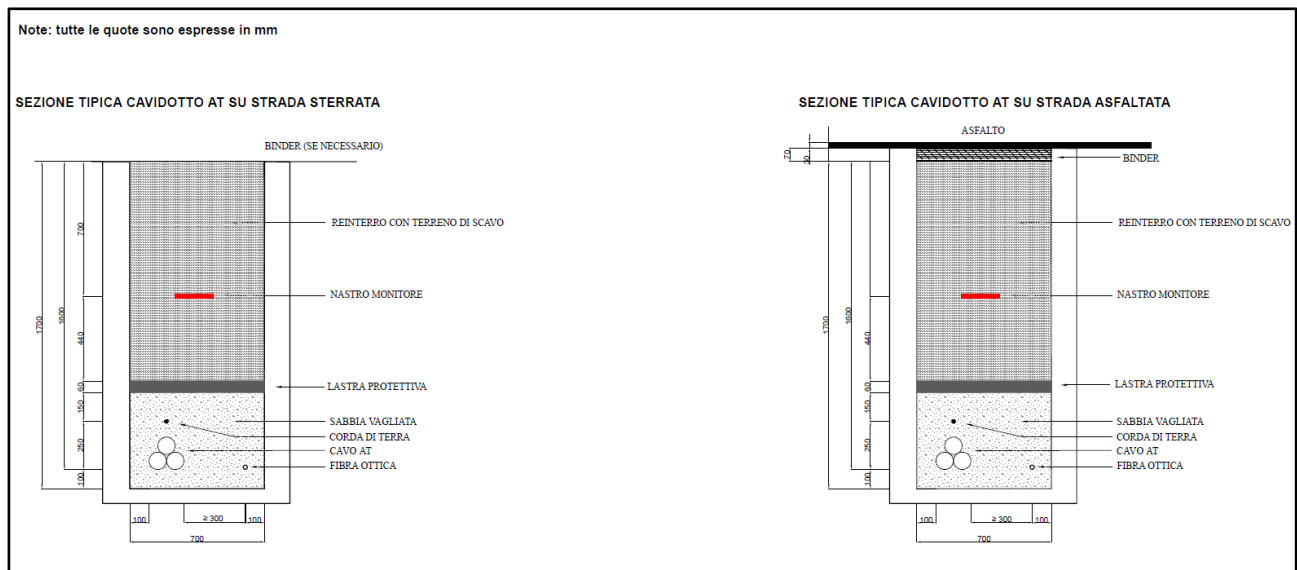


Figura 7.1: Sezione tipica del cavidotto AT di connessione tra la SEU 150/33 kV e la stazione condivisa e tra la stazione condivisa e il nuovo stallo della Stazione Elettrica di trasformazione 380/150 kV denominata “Aliano” su strada sterrata e asfaltata

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**, la corrente di progetto lungo ogni tratta di linea a 33 kV è inferiore a quella effettiva e le cadute di tensioni e le perdite di potenza lungo ogni circuito sono inferiori rispettivamente al 4% ed al 5%.

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

La scelta delle sezioni dei cavi di collegamento in Alta Tensione tra la SEU 150/33 kV di Armento e la stazione condivisa e tra la stazione condivisa di Aliano e il nuovo stallo della Stazione Elettrica 380/150 kV Terna risulta essere adeguata in quanto le correnti di progetto risultano inferiori alle portate effettive con una minima caduta di tensione relativa percentuale.