

Autorizzazione Unica Regionale - art. 12 del dlgs. 387/2003



Progetto Definitivo

Parco Eolico Anzi

Titolo elaborato:

Calcolo preliminare degli impianti elettrici

TL	CG	GD	EMISSIONE	09/08/24	0	0
REDATTO	CONTR.	APPROV.	DESCRIZIONE REVISIONE DOCUMENTO	DATA	REV	

PROPONENTE



ZERO EMISSIONI 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

Sommarario

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	4
3. DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO	6
4. SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DELLE LINEE ELETTRICHE	10
5. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DELLE LINEE A 36 KV	13
5.1. Criterio di dimensionamento	13
5.2. Posa e dati tecnici dei cavi a 36 kV utilizzato	14
5.3. Coesistenza tra i cavi elettrici di energia interrati e collegamenti interrati di altra natura	17
5.3.1. Coesistenza tra cavi di energia interrati e cavi di telecomunicazioni	17
5.3.2. Coesistenza tra cavi di energia interrati e tubazioni metalliche	17
5.3.3. Incroci di cavi	18
5.4. Calcolo delle portate	18
5.5. Calcolo della caduta di tensione	20
5.6. Calcolo della perdita di potenza	20
6. TABELLA DI CALCOLO	21
7. CONCLUSIONI	22

1. PREMESSA

La Zero Emissioni Prime s.r.l. è una società costituita per realizzare un impianto eolico in Basilicata, denominato “Parco Eolico Anzi”, nel territorio comunale di Anzi (PZ) e di Brindisi di Montagna (PZ), avente una potenza totale pari a 57,6 MW e punto di connessione nel Comune di Brindisi di Montagna (PZ) in corrispondenza della Stazione Elettrica della RTN Terna 150/36 kV di futura realizzazione.

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 Zero Emissioni 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).

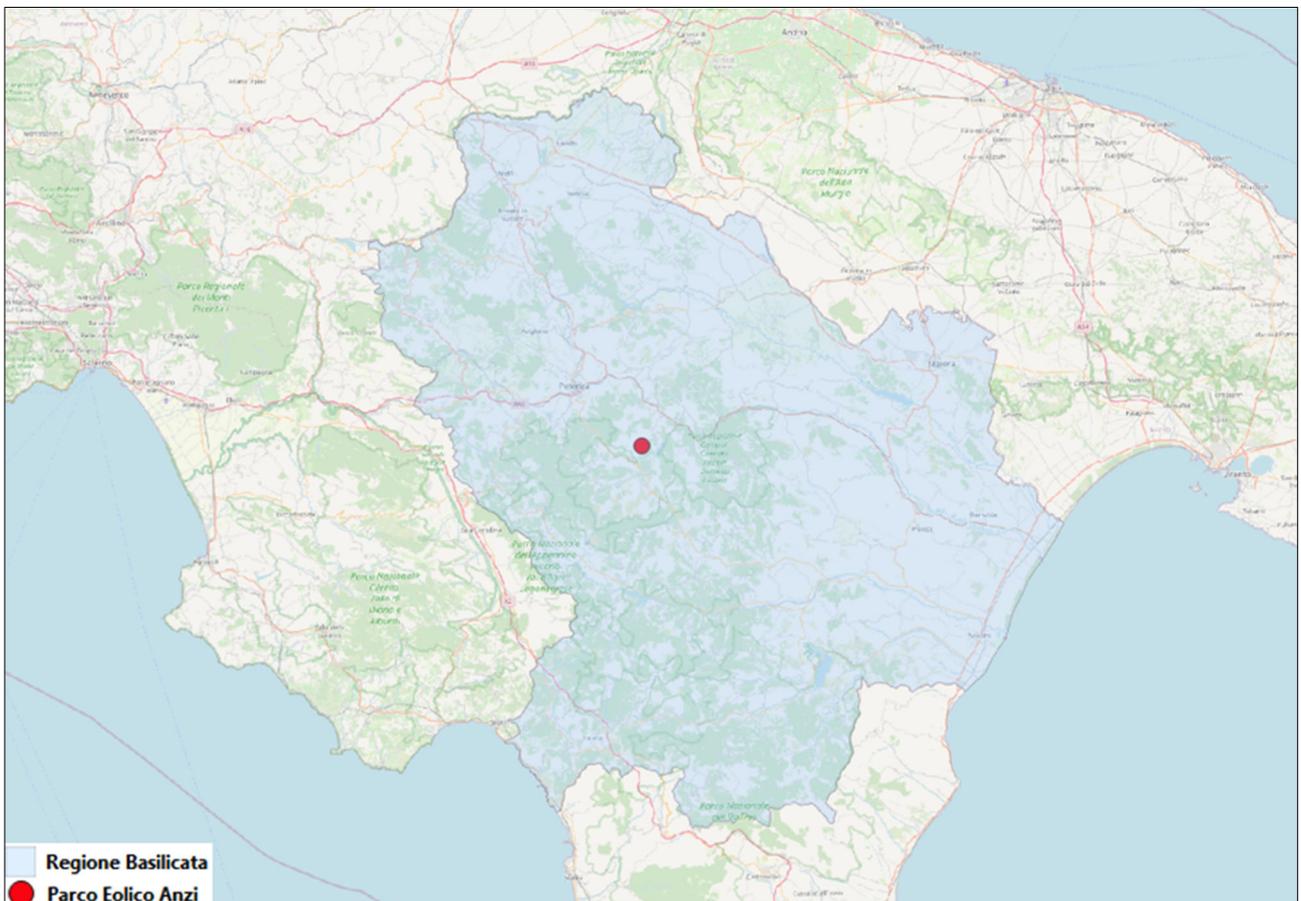


Figura 1.1: Localizzazione Parco Eolico Anzi

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 pari a 57,6 MW ed è costituito da 8 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 7,2 MW.

L'impianto interessa prevalentemente il Comune di Anzi, dove ricadono 7 aerogeneratori, e il Comune di Brindisi di Montagna, dove ricade 1 aerogeneratore e la Stazione Elettrica (SE) della RTN (Rete di Trasmissione Nazionale) Terna 150/36 kV.

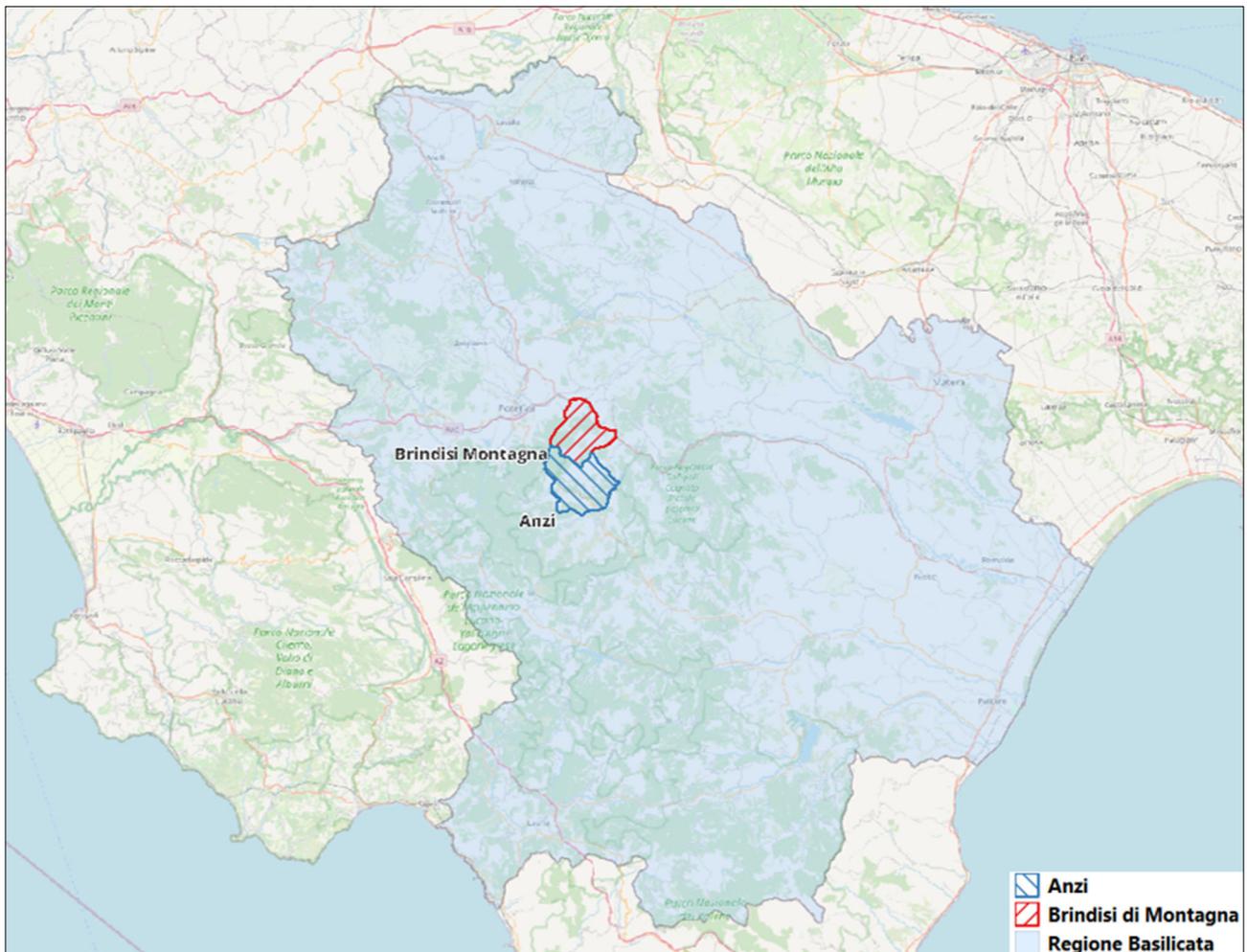


Figura 3.1: Inquadramento territoriale - Limiti amministrativi comuni interessati

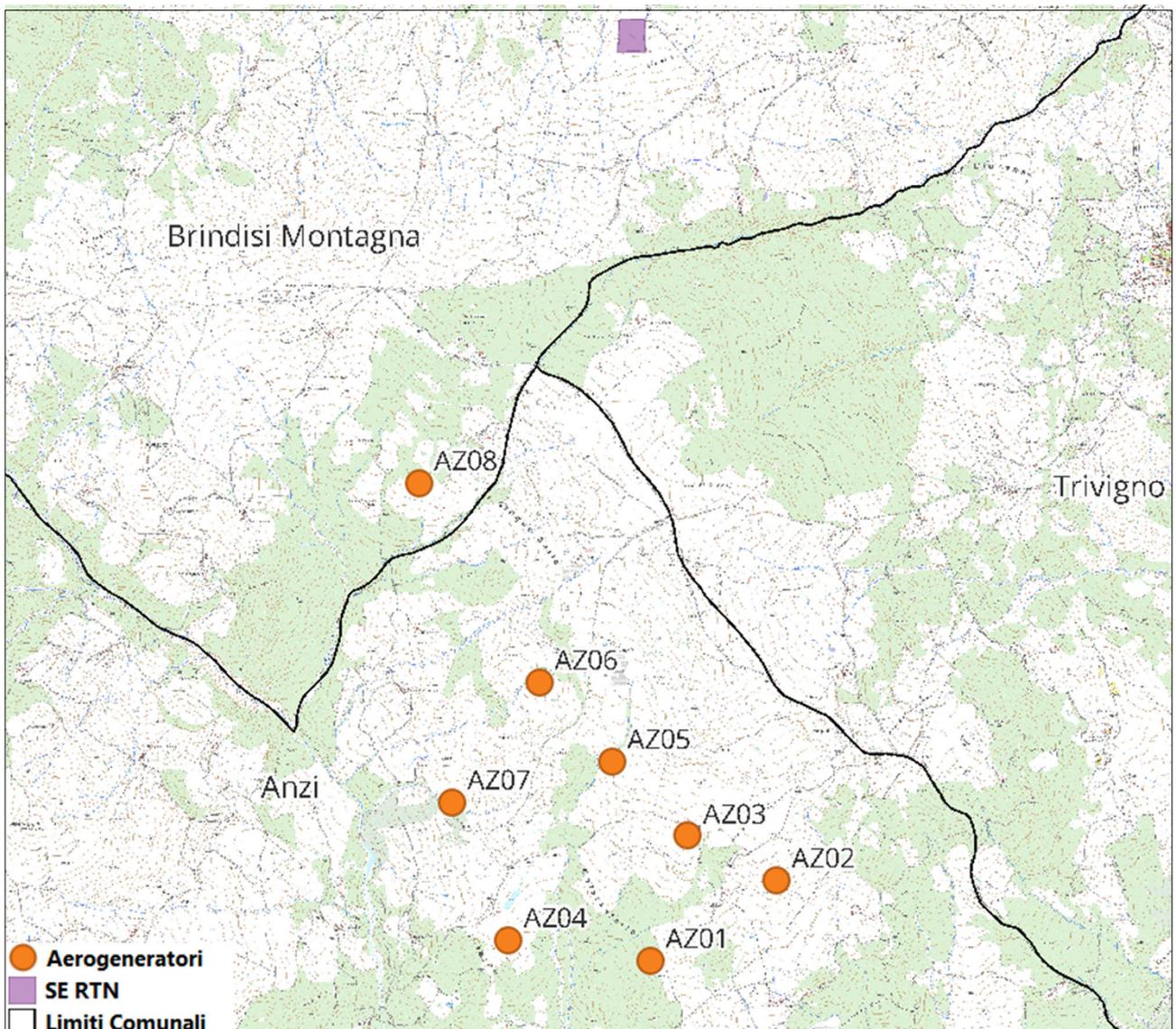


Figura 3.2: Layout d'impianto su CTR

Gli aerogeneratori sono collegati tra loro mediante cavi interrati alla tensione di 36 kV e alla Stazione Elettrica Terna (SE) 150/36 kV della RTN Terna di Brindisi Montagna attraverso 3 terne di cavi interrati a 36 kV.

Il sistema di linee elettriche interrate a 36 kV è allocato in corrispondenza del sistema di viabilità interna, necessario alla costruzione e alla gestione futura dell'impianto, realizzata adeguando il sistema viario esistente, ove possibile, e realizzando nuovi tratti di raccordo per consentire il transito dei mezzi eccezionali.

La società Zero Emissioni Prime s.r.l. è titolare della Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) avente Codice Pratica 202403457.

Lo schema di connessione dell'impianto eolico è caratterizzato da un collegamento in antenna a 36 kV su una nuova Stazione Elettrica di trasformazione 150/36 kV della RTN nel Comune di Brindisi di Montagna.

Il progetto prevede l'installazione di un aerogeneratore di modello Vestas V162, potenza nominale pari a 7,2 MW, altezza torre all'hub pari a 125 m e diametro del rotore pari a 162 m.

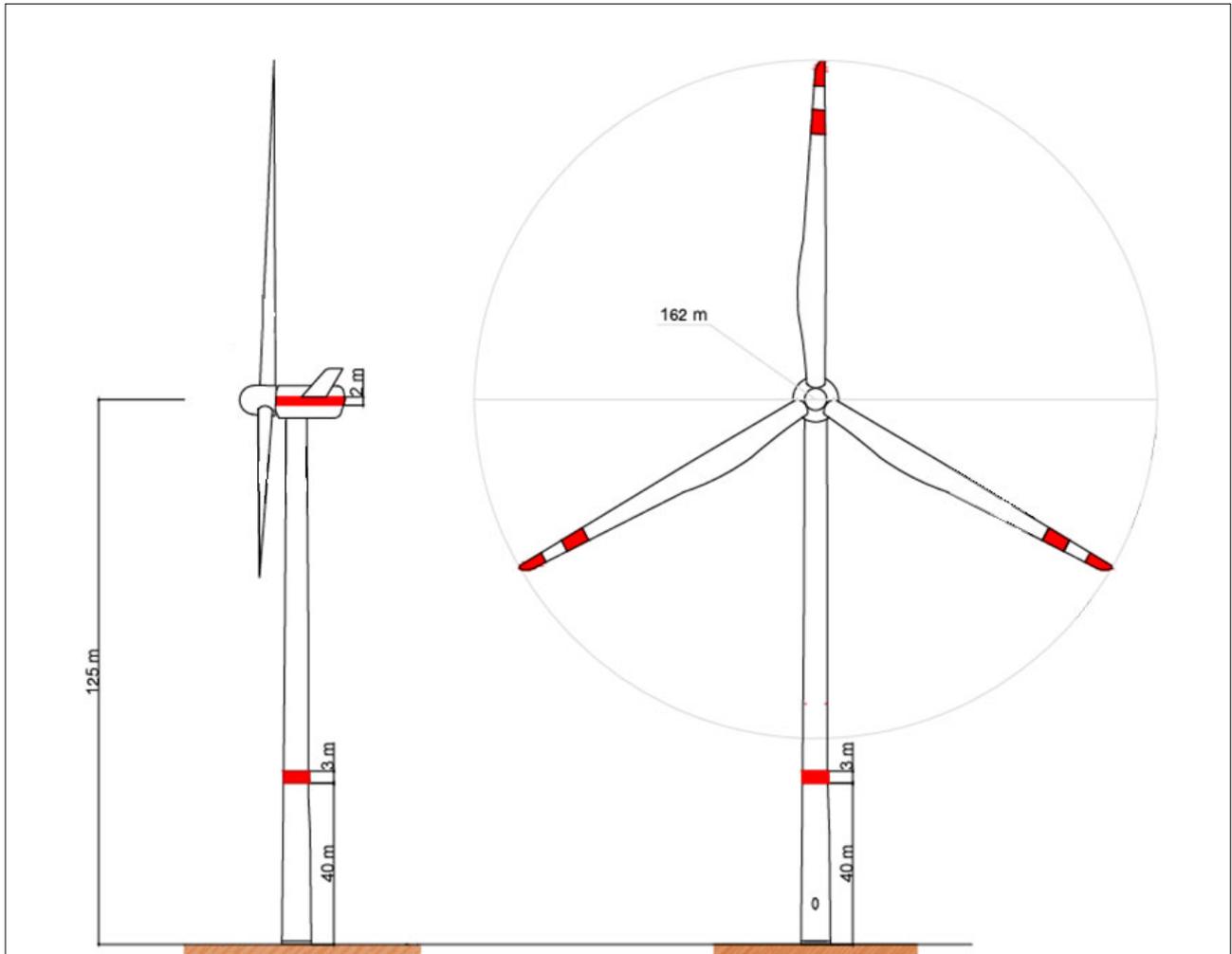


Figura 3.3: Profilo aerogeneratore V162 – 7,2 MW – HH = 125 m – D = 162

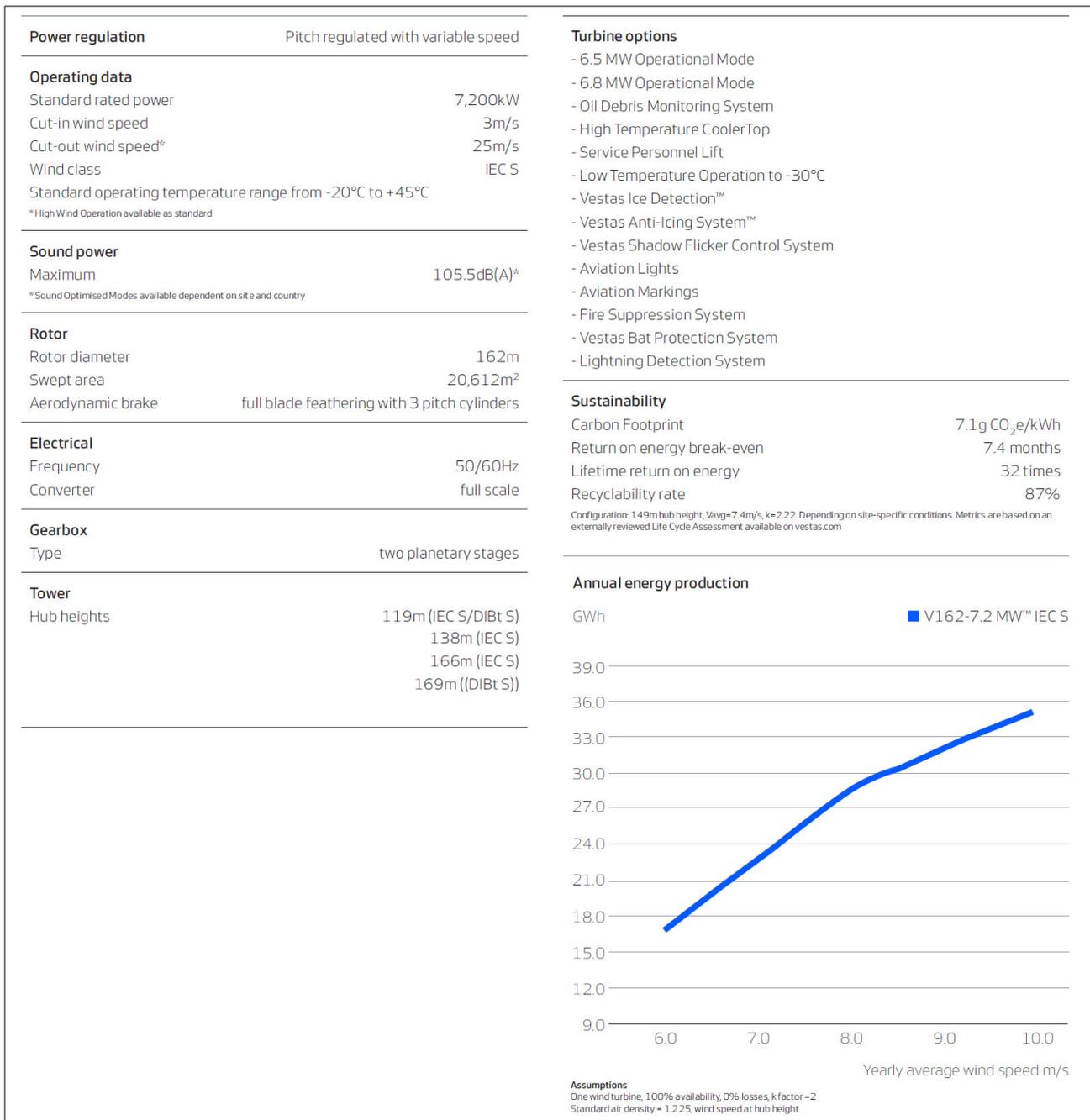


Tabella 3.1: Specifiche tecniche aerogeneratore di progetto

4. SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DELLE LINEE ELETTRICHE

Il Parco Eolico Anzi è caratterizzato da una potenza complessiva di 57,6 MW, ottenuta da 8 aerogeneratori di potenza pari a 7,2 MW ciascuno.

Gli aerogeneratori sono collegati elettricamente tra loro mediante terne di cavi interrati a 36 kV in modo formare 3 sottocampi o circuiti di 2 o 3 turbine eoliche, cui è associato un colore diverso per chiarezza di rappresentazione.

Sottocampo o Circuito	Aerogeneratori	Potenza totale [MW]
CIRCUITO A	AZ01-AZ02-AZ03	21,6
CIRCUITO B	AZ04-AZ07-AZ06	21,6
CIRCUITO C	AZ05-AZ08	14,4

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

Lo schema a blocchi di riferimento, nel quale sono indicate le sezioni e le lunghezze delle terne di cavi di ogni linea elettrica e nel quale gli aerogeneratori sono collegati tra loro secondo lo schema in fine linea e in entra – esci, è riportato nella **Figura 4.1** (maggiori dettagli sono riportati nell’elaborato di progetto “ANOE071 Schema a blocchi impianto”).

L’aerogeneratore capofila (fine linea) è collegato al resto del circuito, i restanti sono collegati tra loro in entra – esci ed ognuno dei 3 circuiti è collegato alla SE RTN 150/36 kV.

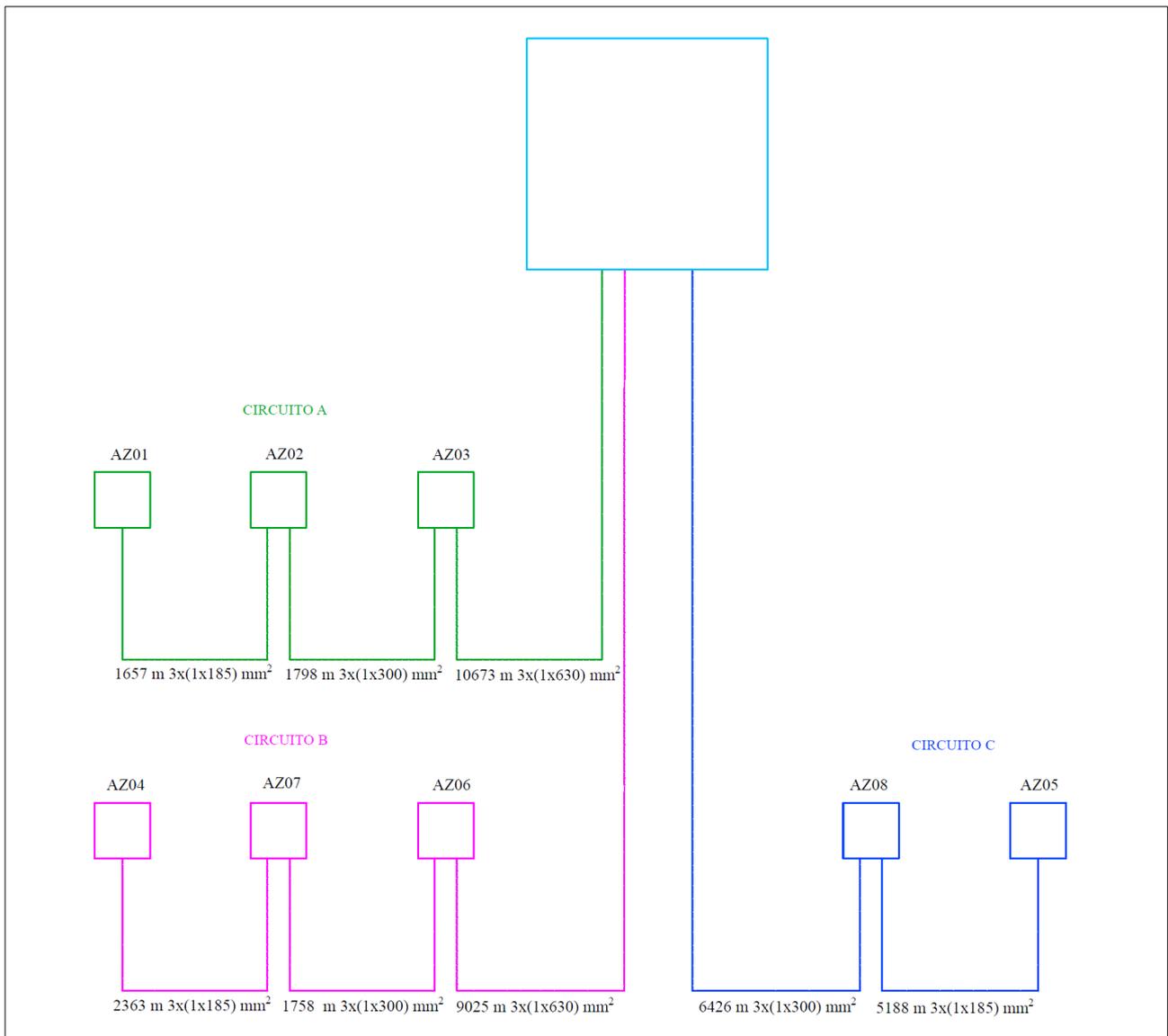


Figura 4.1: Schema a blocchi del Parco Eolico Anzi

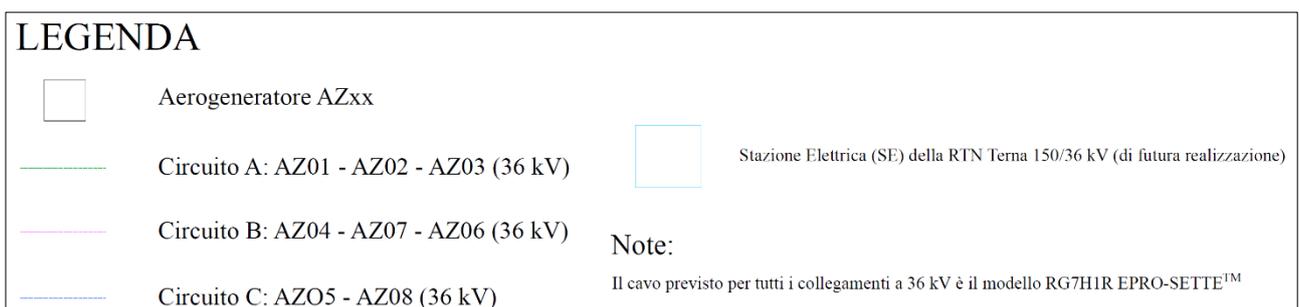


Figura 4.2: Legenda della **Figura 4.1**

Nel seguito è riportata la planimetria di distribuzione delle linee a 36 kV per i 3 circuiti, la lunghezza, la larghezza e la profondità di trincea per ogni sotto-tratta e il numero di terne di cavi di uno stesso circuito o di circuiti diversi presenti in ogni sotto-tratta.

Maggiori dettagli sono riportati negli elaborati di progetto “ANOE066 Planimetria sottocampi elettrici a 36 kV su CTR (generale)”, “ANOE067 Planimetria sottocampi elettrici a 36 kV su CTR (per circuiti)”,

“ANOE068 Planimetria sottocampi elettrici a 36 kV su ortofoto (generale)” e “ANOE069 Planimetria sottocampi elettrici a 36 kV su ortofoto (per circuiti)”.

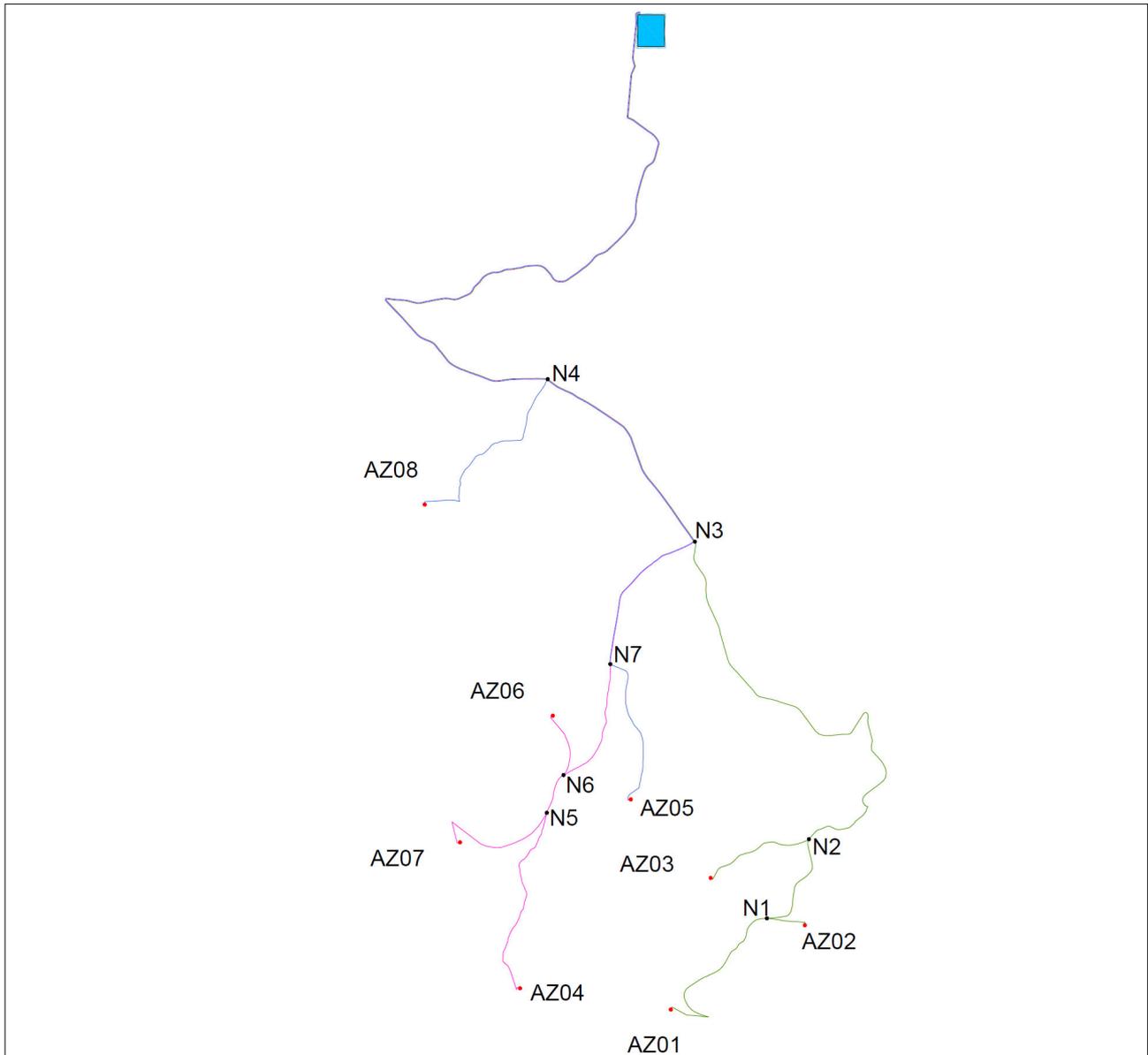


Figura 4.3: Planimetria generale di distribuzione della linea a 36 kV

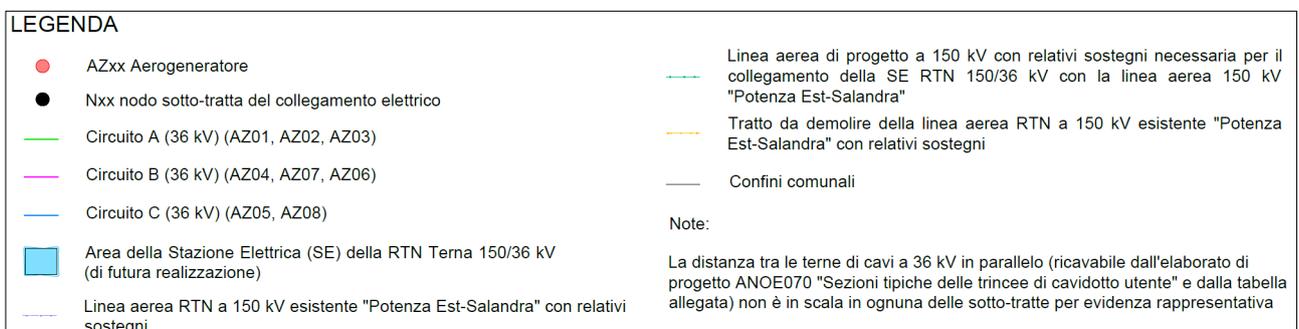


Figura 4.4: Legenda della **Figura 4.3**

La linea di connessione tra 2 aerogeneratori o tra un aerogeneratore e la SE RTN Terna 150/36 kV costituisce una tratta di collegamento, ottenuta dall'unione delle sotto – tratte intermedie presenti lungo

il tracciato e determinate da 2 nodi adiacenti, introdotti per definire univocamente il numero di terne di cavi in parallelo di uno stesso circuito o di circuiti diversi presenti nella sotto – tratta stessa.

SOTTO - TRATTA					
DA	A	LUNGHEZZA [m]	LARGHEZZA TRINCEA [m]	PROFONDITA' TRINCEA [m]	N. TOTALE TERNE
AZ01	N1	1357	0,7	1,7	1
AZ02	N1	300	1,188	1,7	2
N1	N2	729	0,7	1,7	1
AZ03	N2	769	1,188	1,7	2
N2	N3	3367	0,7	1,7	1
AZ04	N5	1388	0,7	1,7	1
AZ07	N5	975	1,188	1,7	2
N5	N6	298	0,7	1,7	1
AZ06	N6	485	1,188	1,7	2
N6	N7	894	0,7	1,7	1
AZ05	N7	1110	0,7	1,7	1
N7	N3	1109	1,188	1,7	2
N3	N4	1540	1,676	1,7	3
AZ08	N4	1429	1,188	1,7	2
N4	SE 150/36 kV	4997	1,676	1,7	3

Tabella 4.2: Lunghezza, larghezza e profondità di trincea delle sotto-tratte a 36 kV

SOTTO - TRATTA			CIRCUITO A		CIRCUITO B		CIRCUITO C	
DA	A	N. TOTALE TERNE	N. TERNE	FORMAZIONE TERNA DI CAVI	N. TERNE	FORMAZIONE TERNA DI CAVI	N. TERNE	FORMAZIONE TERNA DI CAVI
AZ01	N1	1	1	3x(1x185)				
AZ02	N1	2	2	3x(1x185) + 3x(1x300)				
N1	N2	1	1	3x(1x300)				
AZ03	N2	2	2	3x(1x300) + 3x(1x630)				
N2	N3	1	1	3x(1x630)				
AZ04	N5	1			1	3x(1x185)		
AZ07	N5	2			2	3x(1x185) + 3x(1x300)		
N5	N6	1			1	3x(1x300)		
AZ06	N6	2			2	3x(1x300) + 3x(1x630)		
N6	N7	1			1	3x(1x630)		
AZ05	N7	1					1	3x(1x185)
N7	N3	2			1	3x(1x630)	1	3x(1x185)
N3	N4	3	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x185)
AZ08	N4	2					2	3x(1x185) + 3x(1x300)
N4	SE 150/36 kV	3	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x300)

Tabella 4.3: Numero di terne di cavi di un circuito o di diversi circuiti presenti in ogni sotto - tratta

5. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DELLE LINEE A 36 KV

5.1. Criterio di dimensionamento

La sezione dei cavi elettrici a 36 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 dei cavi a 36 kV utilizzato

Il cavo impiegato per il collegamento di tutte le tratte a 36 kV è il tipo RG7H1R EPRO-*SETTE*TM unipolare 26/45 kV (o similari), a norma IEC 60840, del primario costruttore Prysmian.

L'anima del cavo è costituita da un conduttore a corda rotonda compatta di rame rosso, il semiconduttivo interno è costituito da materiale elastomerico estruso, l'isolante in mescola di gomma ad alto modulo G7, il semiconduttivo esterno da materiale elastomerico estruso pelabile a freddo.

La schermatura è realizzata mediante filo di rame rosso e la guaina è in PVC di colore rosso.

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 1,6 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 0,30 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 36 kV;
- frequenza pari a 50 Hz;
- profondità di posa di 1,60 m dal piano del suolo.

Nel seguito è rappresentato il dettaglio dei tipologici di posa, come anche riportato nell'elaborato di progetto "ANOE070 Sezioni tipiche delle trincee di cavidotto a 36 kV", nel quale le misure sono espresse in mm.

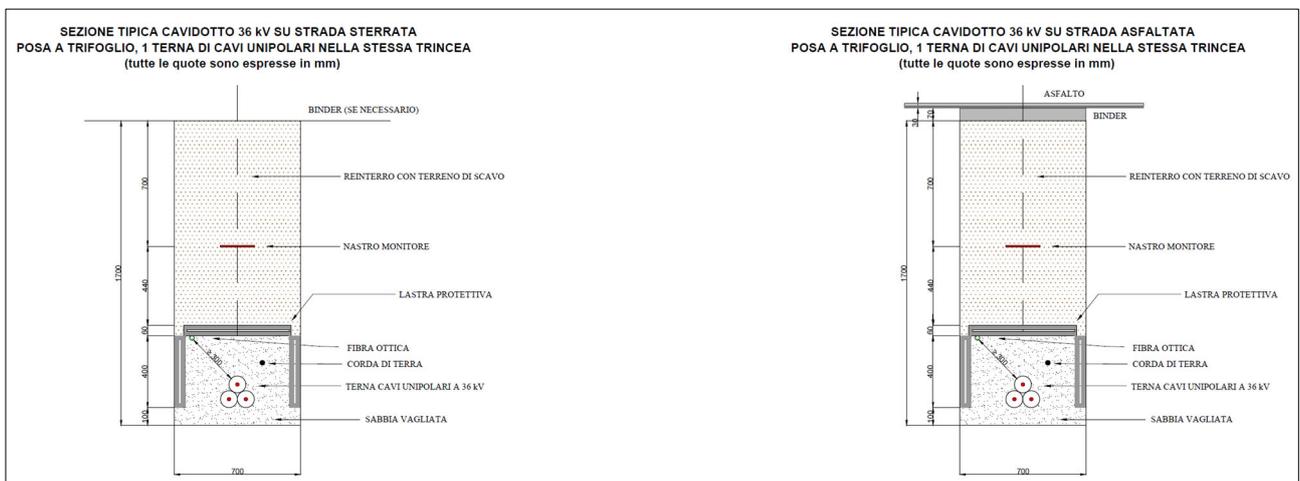


Figura 5.2.1: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per una terna di cavi su strada sterrata e asfaltata

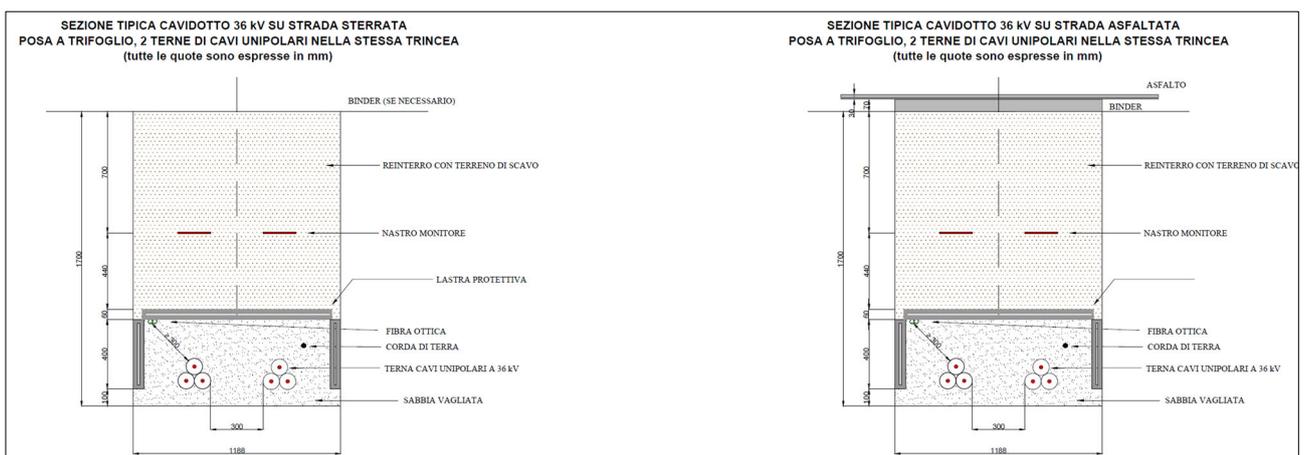


Figura 5.2.2: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per due terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata

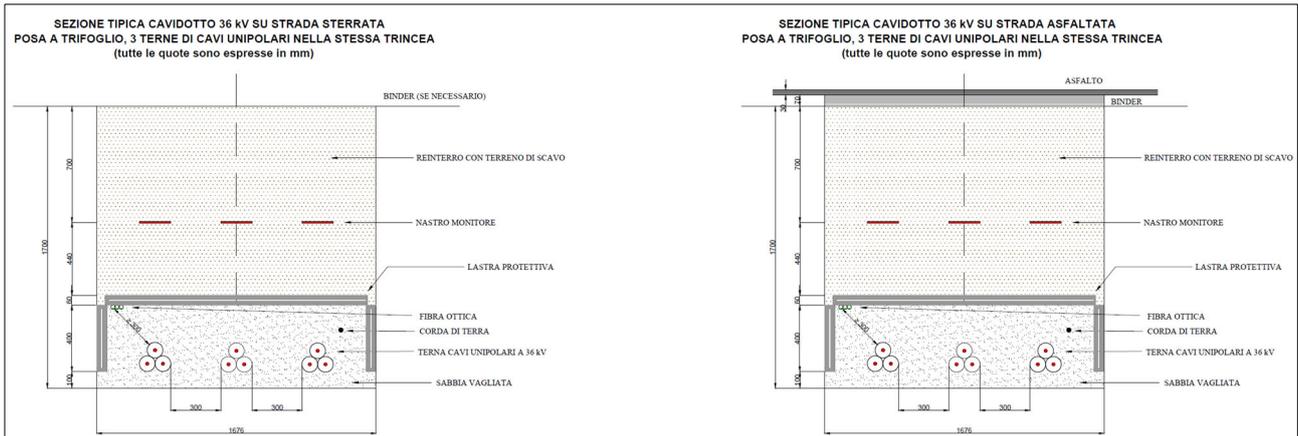


Figura 5.2.3: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per tre terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata

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.

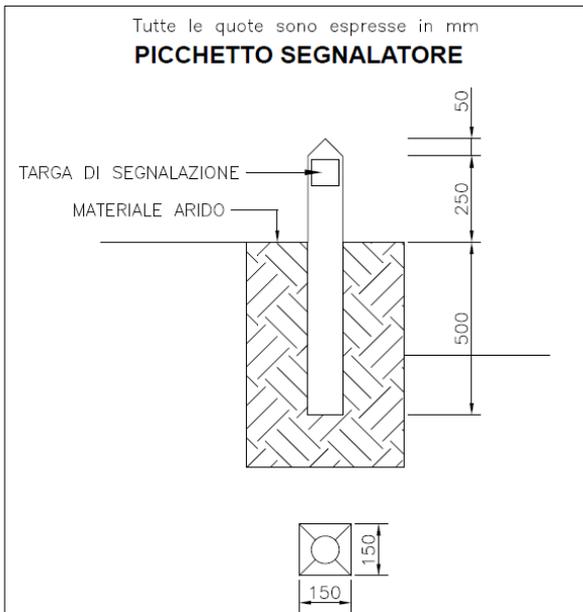


Figura 5.2.4: Sezione tipica del picchetto segnalatore

Considerando che le sezioni dei cavi a 36 kV utilizzati sono di 185 mm², 300 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	0,13	0,12	441
300	0,081	0,12	575
630	0,044	0,1	836

Tabella 5.2.1: Parametri elettrici del cavo RG7H1R EPRO - *SETTE*TM forniti dal costruttore Prysmian

(*) I valori della portata nominale sono forniti dal costruttore per posa a trifoglio, direttamente interrata, ρ = 1 °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 36 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 $1,5\text{ K m/W}$;
- 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°C alla profondità di posa dei cavi.

Per una valutazione preliminare del fattore di correzione k_2 , tenendo conto che è stata prevista la posa direttamente interrata dei cavi ad una profondità di 1,60 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 $> 185\text{ mm}^2$)
1,60	0,946	0,918

Tabella 5.4.1: Fattore di correzione k_2

In corrispondenza della profondità di posa di 1,60 m si ottiene $k_2 = 0,946$ oppure 0,918 a seconda che si consideri la sezione di 185 mm^2 oppure una delle sezioni di 300 mm^2 e 630 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 36 kV esistenti in parallelo sullo stesso piano orizzontale in ogni sotto - tratta può essere desunto dagli elaborati grafici "ANOE067 Planimetria sottocampi elettrici a 36 kV su CTR (per circuiti)" e "ANOE069 Planimetria sottocampi elettrici a 36 kV su ortofoto (per circuiti)", nonché dalla **Tabella 4.3**, 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 0,30 m.

Numero terne di cavi in parallelo	1	2	3
K_4	1	0,855	0,76

Tabella 5.4.2: 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 presenti nelle sotto – tratte intermedie, 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_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 $V = 36$ 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 stessa, 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:

- ρ rappresenta la resistività elettrica del conduttore [Ω mm² / m];
- L rappresenta la lunghezza della tratta di linea considerata [m];
- S rappresenta la sezione del cavo del tratto di linea [mm²];

- 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:

$$\Delta P = 3 R_f I_b^2$$

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 36 kV.

LINEA	DA	A	L [m]	SEZIONE [mm ²]	I_b [A]	$I'z$ [A]	$\Delta V_{r,\%}$	$\Delta P_{r,\%TOT}$
CIRCUITO A	AZ01	AZ02	1.657	185	128,3	356,7	0,17	
	AZ02	AZ03	1.798	300	256,6	451,3	0,28	
	AZ03	SE RTN 150/36 KV	10.673	630	384,9	583,3	1,64	
								SOMMA
							2,09	1,15

LINEA	DA	A	L [m]	SEZIONE [mm ²]	I _b [A]	I'z [A]	ΔV _r ,%	ΔP _r ,%TOT	
CIRCUITO B	AZ04	AZ07	2.363	185	128,3	356,7	0,25		
	AZ07	AZ06	1.758	300	256,6	451,3	0,27		
	AZ06	SE RTN 150/36 KV	9.025	630	384,9	583,3	1,39		
								SOMMA	SOMMA
							1,91	1,02	
CIRCUITO C	AZ05	AZ08	5.188	185	128,3	317,1	0,54		
	AZ08	SE RTN 150/36 KV	6.426	300	256,6	401,2	0,99		
								SOMMA	SOMMA
								1,53	0,94

Tabella 6.1: Calcolo del dimensionamento delle linee elettriche a 36 kV

La scelta dei particolari cavi a 36 kV e delle relative condizioni di posa potranno comunque subire modifiche, non sostanziali, in fase di progettazione esecutiva, a seconda delle condizioni operative riscontrate

7. CONCLUSIONI

Come si evince dalla **Tabella 6.1**, la corrente di progetto lungo ogni linea elettrica a 36 kV è inferiore a quella effettiva e le cadute di tensioni e le perdite di potenza percentuali relative 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 36 kV è adeguata al trasporto della potenza richiesta.

La tabella seguente riporta in maniera sintetica le lunghezze, le sezioni e il modello dei cavi che formano una terna presi in considerazione in questa fase progettuale per ognuno dei circuiti elettrici.

PARCO EOLICO ANZI				
CIRCUITO A	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm ²]	Modello cavo	Costruttore
AZ01-AZ02	1.657	185	RG7H1R EPRO-SETTE™	Prysmian
AZ02-AZ03	1.798	300	RG7H1R EPRO-SETTE™	Prysmian
AZ03 - SE 150/36 kV	10.673	630	RG7H1R EPRO-SETTE™	Prysmian
CIRCUITO B	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm ²]	Modello cavo	Costruttore
AZ04-AZ07	2.363	185	RG7H1R EPRO-SETTE™	Prysmian
AZ07-AZ06	1.758	300	RG7H1R EPRO-SETTE™	Prysmian
AZ06-SE 150/36 kV	9.025	630	RG7H1R EPRO-SETTE™	Prysmian
CIRCUITO C	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm ²]	Modello cavo	Costruttore
AZ05-AZ08	5.188	185	RG7H1R EPRO-SETTE™	Prysmian
AZ08-SE 150/36 kV	6.426	300	RG7H1R EPRO-SETTE™	Prysmian

Tabella 7.1: Lunghezze, sezioni e modello del cavo considerato