

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



## PROGETTO DEFINITIVO PARCO EOLICO LARINO

Titolo elaborato:

### CALCOLO PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI

LT	GD	WPD	EMISSIONE	04/07/22	0	0
REDATTO	CONTR.	APPROV.	DESCRIZIONE REVISIONE DOCUMENTO	DATA	REV	

#### PROPONENTE



**WPD FRENTANI S.R.L.**  
CORSO D'ITALIA N. 83  
00198 ROMA

#### CONSULENZA



**GE.CO.D'ORS.R.L.**  
VIA G. GARIBALDI N. 15  
74023 GROTTAGLIE (TA)

#### PROGETTISTA

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

Codice  
LAROE058

Formato  
A4

Scala  
/

Foglio  
1 di 18

## Sommarario

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	3
3. DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO	5
4. SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DELLE LINEE ELETTRICHE	8
5. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DELLE LINEE A 36 KV	10
5.1. Criterio di dimensionamento	10
5.2. Posa e dati tecnici del cavo a 36 kV utilizzato	11
5.3. Calcolo delle portate	14
5.4. Calcolo della caduta di tensione	15
5.5. Calcolo della perdita di potenza	16
6. TABELLA DI CALCOLO	17
7. CONCLUSIONI	18

## 1. PREMESSA

La Ge.co.D'Or. S.r.l., società italiana impegnata nel settore delle energie rinnovabili con particolare focus nel settore dell'eolico, ha ricevuto l'incarico dal Gruppo Wpd, operante da oltre 20 anni nel settore delle energie rinnovabili, principalmente da fonte eolica, per la progettazione di un impianto eolico in Molise, denominato "Parco Eolico Larino", nel territorio dei Comuni di Larino e San Martino in Pensilis (Provincia di Campobasso) con punto di connessione alla sezione 36 kV della stazione elettrica SE RTN Terna Larino 380/36 kV, costituito da 14 aerogeneratori, di potenza nominale pari a 6 MW, per una potenza totale di immissione pari ad 84 MW.

In particolare, la suddetta società si è occupata della progettazione definitiva per la richiesta di Autorizzazione Unica (AU) alla costruzione e l'esercizio dell'impianto eolico e della relativa Valutazione d'impatto Ambientale (VIA).

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 84 MWp ed è costituito da 14 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6 MWp, altezza torre pari a 165 m e rotore pari a 170 m.

Gli aerogeneratori sono collegati tra loro mediante cavi interrati a 36 kV che convogliano l'elettricità presso una Stazione Elettrica (SE) della RTN 380/36 kV di Larino, previo ampliamento della stessa.

L'impianto si colloca all'interno di un'area di circa 2.500 ettari e interessa prevalentemente il Comune di Larino, ove ricadono 12 aerogeneratori e le opere di connessione alla RTN, e il Comune di San Martino in Pensilis, ove ricadono 2 aerogeneratori, come illustrato nella **Figura 3.1**.

Le linee elettriche interrate a 36 kV, necessarie per il collegamento delle turbine eoliche alla Stazione Elettrica della RTN 380/36 kV di Larino, sono allocate prevalentemente in corrispondenza del sistema di viabilità interna necessario per la costruzione e la gestione futura dell'impianto. Il sistema di viabilità verrà 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 (Codice Pratica: **202101917**) prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 36 kV con una nuova sezione a 36 kV della stazione elettrica di trasformazione della RTN 380/36 kV di Larino, previa realizzazione degli interventi previsti nell'ambito del Piano di Sviluppo Terna.

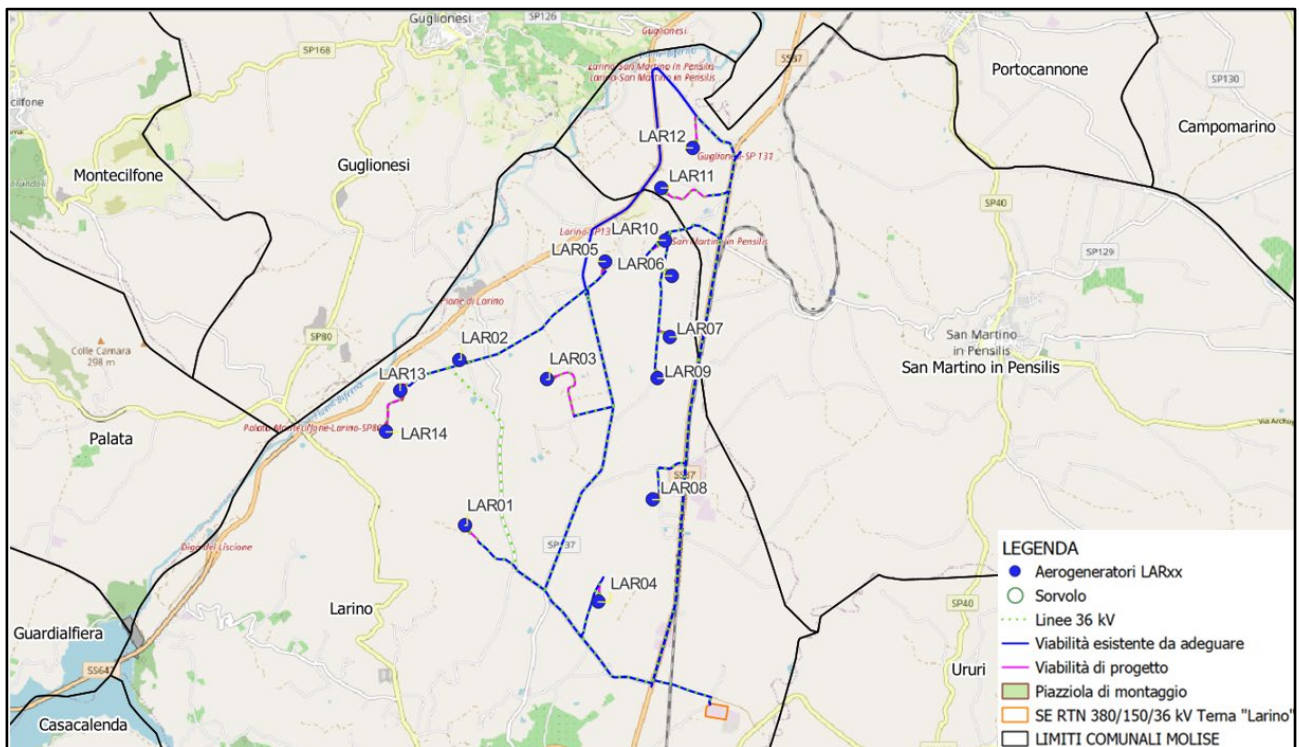


Figura 3.1: Inquadramento territoriale - Limiti amministrativi comuni interessati dall'impianto

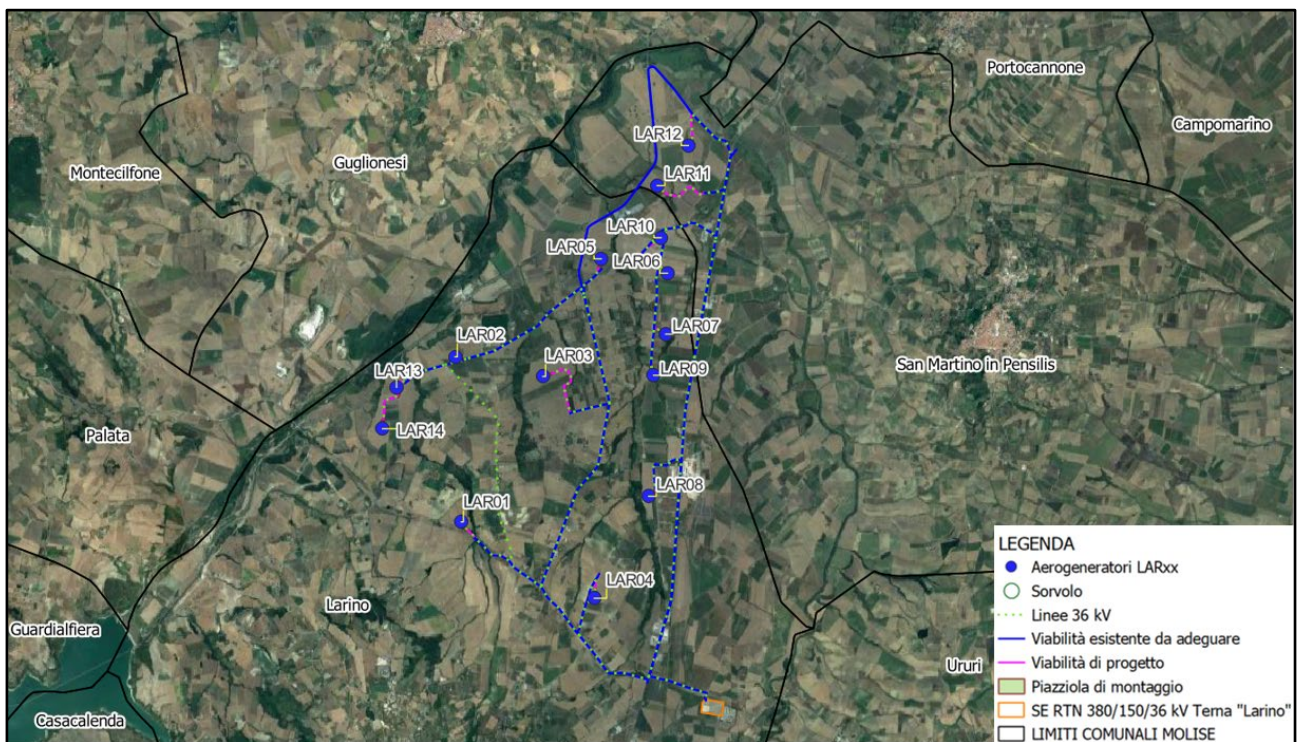
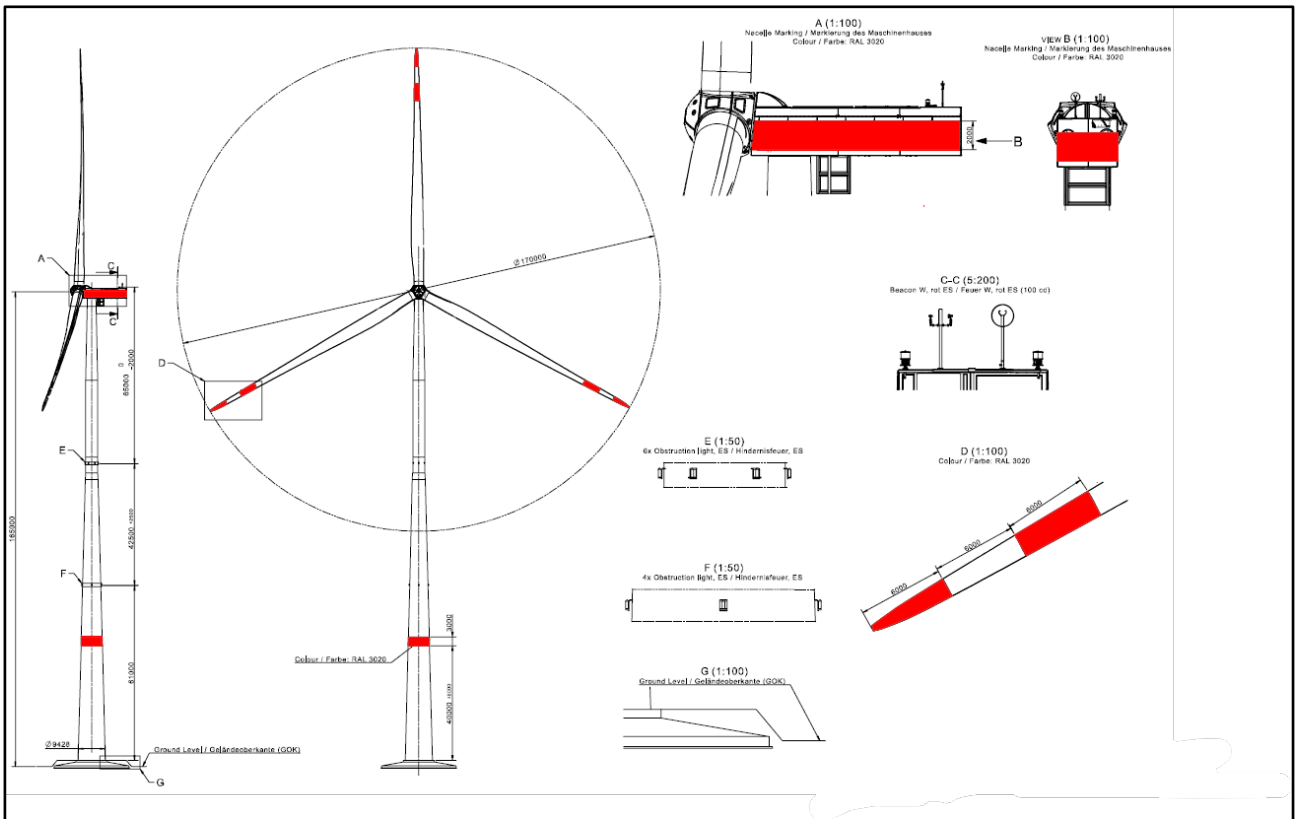


Figura 3.2: Layout d'impianto su immagine satellitare

Il progetto prevede che uno dei possibili aerogeneratori da installare è il modello Siemens Gamesa SG 170 HH 165 di potenza nominale pari a 6 MWp, altezza torre all'hub pari a 165 m e diametro del rotore pari a 170 m (Figura 3.3).



**Figura 3.3:** Aerogeneratore SG 170 HH 165 da 6 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'imbarcata, 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 3.1**.



Technical Specifications	
<b>Rotor</b>	
Type .....	3-bladed, horizontal axis
Position .....	Upwind
Diameter .....	170 m
Swept area .....	22,698 m <sup>2</sup>
Power regulation .....	Pitch & torque regulation with variable speed
Rotor tilt .....	6 degrees
<b>Blade</b>	
Type .....	Self-supporting
Blade length .....	83.5 m
Max chord .....	4.5 m
Aerodynamic profile .....	Siemens Gamesa proprietary airfoils
Material .....	G (Glassfiber) – CRP (Carbon Reinforced Plastic)
Surface gloss .....	Semi-gloss, < 30 / ISO2813
Surface color .....	Light grey, RAL 7035 or White, RAL 9018
<b>Aerodynamic Brake</b>	
Type .....	Full span pitching
Activation .....	Active, hydraulic
<b>Load-Supporting Parts</b>	
Hub .....	Nodular cast iron
Main shaft .....	Nodular cast iron
Nacelle bed frame .....	Nodular cast iron
<b>Mechanical Brake</b>	
Type .....	Hydraulic disc brake
Position .....	Gearbox rear end
<b>Nacelle Cover</b>	
Type .....	Totally enclosed
Surface gloss .....	Semi-gloss, <30 / ISO2813
Color .....	Light Grey, RAL 7035 or White, RAL 9018
<b>Generator</b>	
Type .....	Asynchronous, DFIG
<b>Grid Terminals (LV)</b>	
Baseline nominal power .....	6.0 MW / 6.2 MW
Voltage .....	690 V
Frequency .....	50 Hz or 60 Hz
<b>Yaw System</b>	
Type .....	Active
Yaw bearing .....	Externally geared
Yaw drive .....	Electric gear motors
Yaw brake .....	Active friction brake
<b>Controller</b>	
Type .....	Siemens Integrated Control System (SICS)
SCADA system .....	SGRE SCADA
<b>Tower</b>	
Type .....	Tubular steel / Hybrid
Hub height .....	100 m to 165 m and site-specific
Corrosion protection .....	Painted
Surface gloss .....	Semi-gloss, <30 / ISO-2813
Color .....	Light grey, RAL 7035 or White, RAL 9018
<b>Operational Data</b>	
Cut-in wind speed .....	3 m/s
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
<b>Weight</b>	
Modular approach .....	Different modules depending on restriction

**Tabella 3.1:** Specifiche tecniche dell'aerogeneratore Siemens Gamesa SG 170 HH 165

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 Larino" è caratterizzato da una potenza complessiva di 84 MWp, ottenuta da 14 aerogeneratori di potenza 6 MWp ciascuno.

Gli aerogeneratori sono collegati elettricamente tra loro mediante cavi a 36 kV in modo da formare 4 sottocampi (Circuiti A, B, C e D) di 3 o 4 WTG (Wind Turbine Generator); ognuno di tali circuiti, associato ad un colore diverso per maggiore chiarezza, è collegato mediante cavo interrato a 36 kV alla nuova sezione a 36 kV della SE RTN 380/36 kV di Larino, come esplicitato nella **Tabella 4.1**.



Sottocampo o Circuito	Aerogeneratori	Potenza totale [MWp]
CIRCUITO A	LAR 14 – LAR 13 – LAR 02 – LAR 01	24
CIRCUITO B	LAR 05 – LAR 03 – LAR 04	18
CIRCUITO C	LAR 12 – LAR 11 – LAR 10	18
CIRCUITO D	LAR 09 – LAR 07 – LAR 06 – LAR 08	24

Tabella 4.1: Distribuzione linee a 36 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 "LAROE064 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 e ognuno dei 4 circuiti è collegato alla nuova sezione a 36 kV della SE RTN 380/36 kV di Larino.

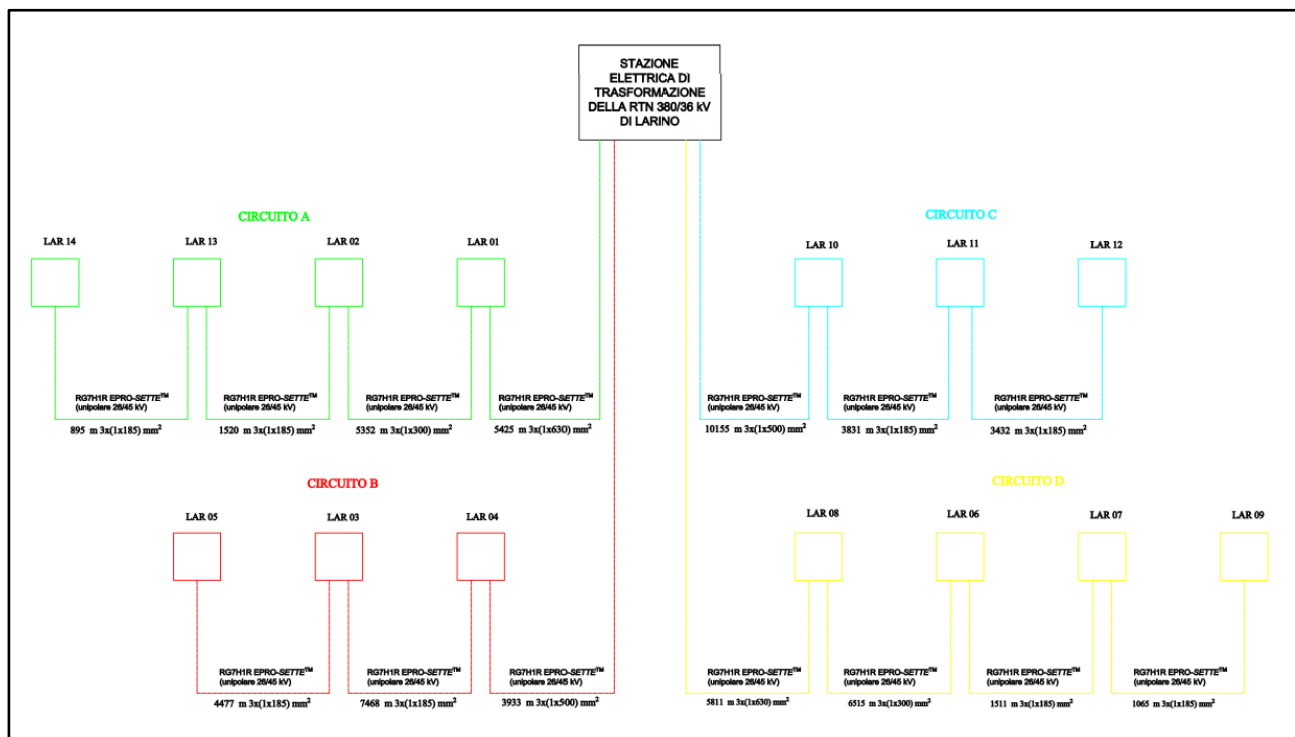


Figura 4.1: Schema a blocchi del Parco Eolico Larino

Nel seguito è riportata la planimetria di distribuzione delle linee a 36 kV per i vari circuiti.

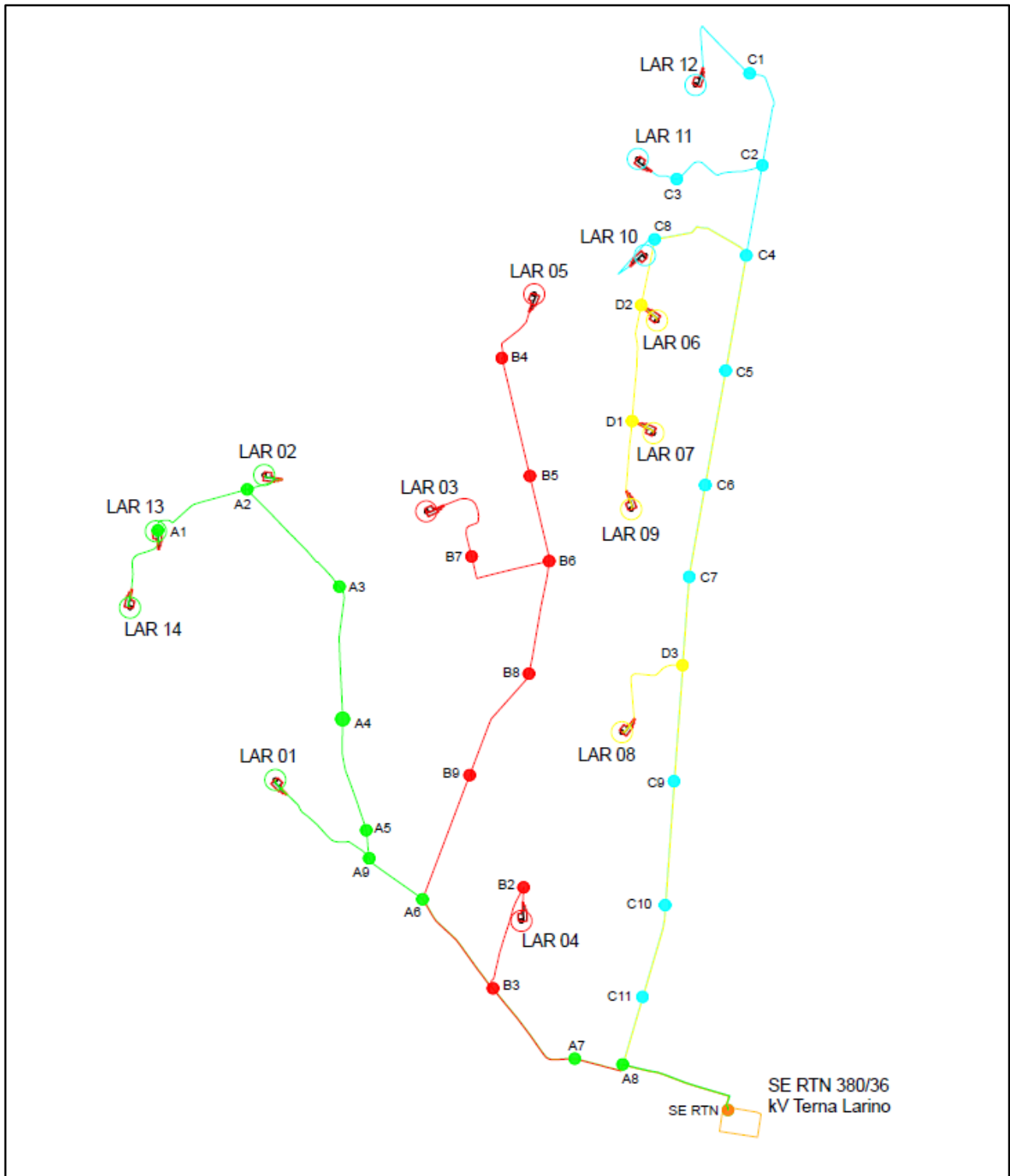


Figura 4.2: Planimetria di distribuzione linee a 36 kV dell'intero impianto

## 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:

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 del cavo a 36 kV utilizzato

Il cavo impiegato per il collegamento di tutte le tratte a 36 kV è il tipo RG7H1R EPRO-*SETTE*<sup>TM</sup> 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 1,50 m dal piano di calpestio 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 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 sarà 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 1,50 m dal piano di calpestio.

Nel seguito è rappresentato il dettaglio dei tipologici di posa, come anche riportato nel documento di progetto "LAROE063 Sezioni tipiche delle trincee di cavidotto utente", nel quale le misure sono espresse in mm.

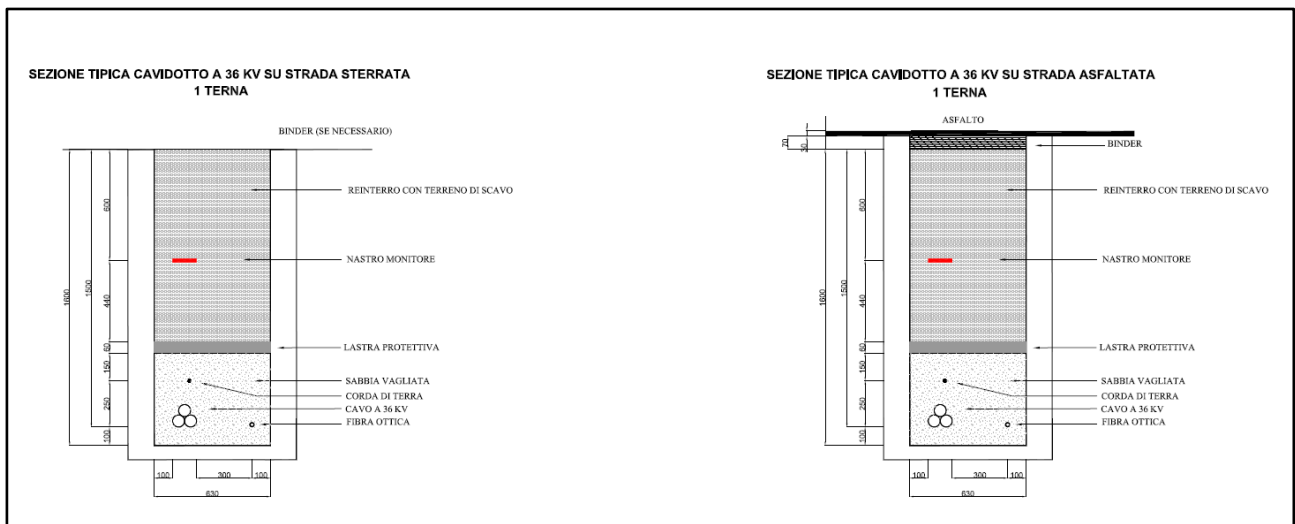


Figura 5.2.1: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto su strada sterrata e asfaltata – 1 terna di cavi

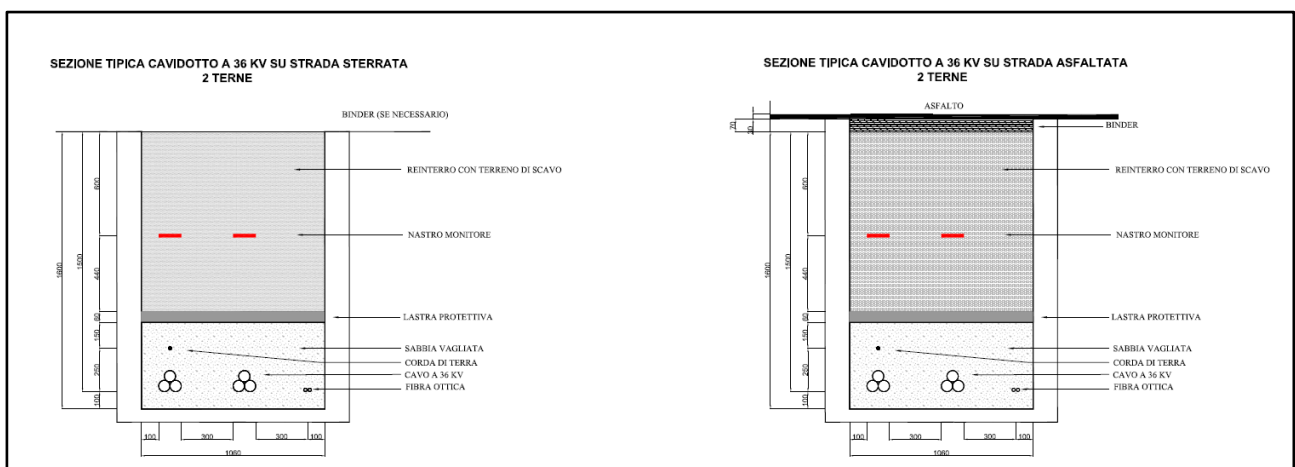


Figura 5.2.2: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto su strada sterrata e asfaltata – 2 terne di cavi

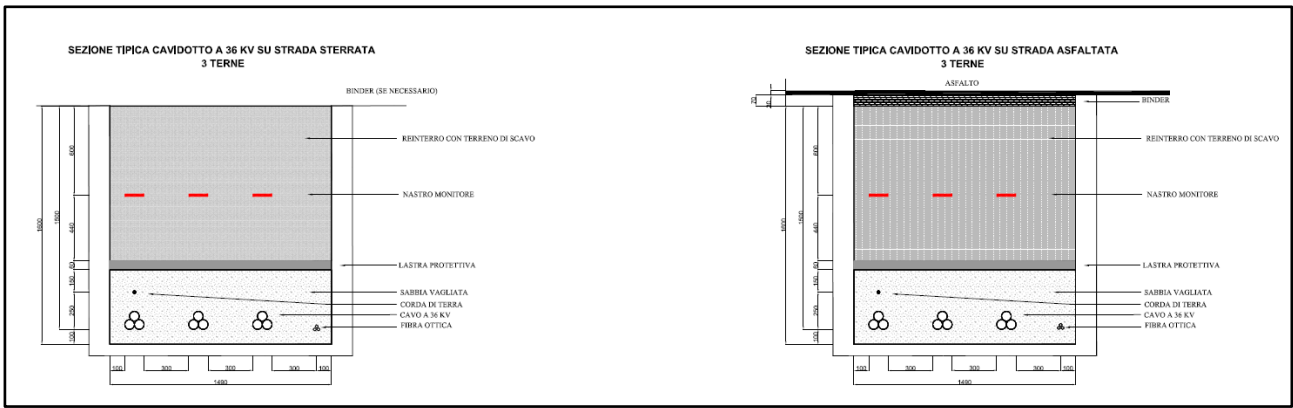


Figura 5.2.3: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto su strada sterrata e asfaltata – 3 terne di cavi

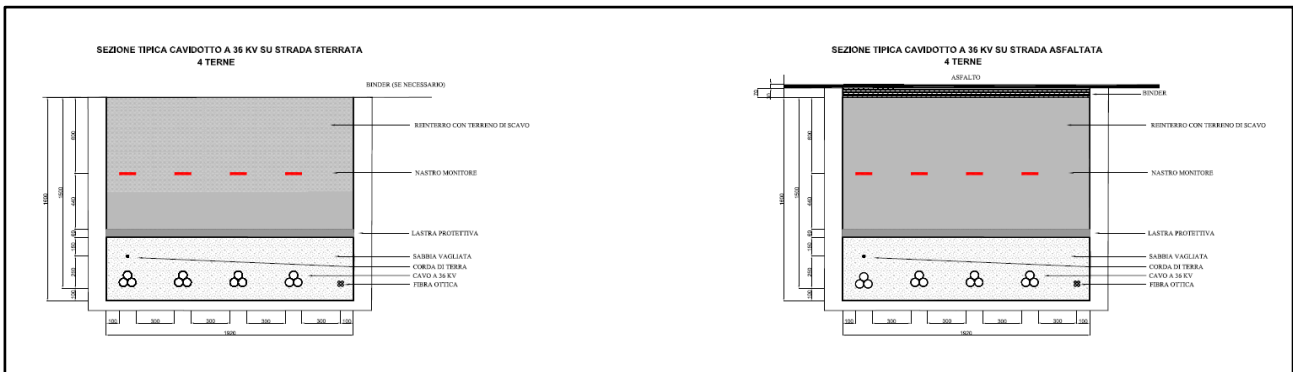


Figura 5.2.4: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto su strada sterrata e asfaltata – 4 terne di cavi

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.

Considerando che le sezioni del cavo utilizzato sono di 185 mm<sup>2</sup>, 300 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 [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
500	0,053	0,11	739
630	0,044	0,10	836

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

(\*) I valori della portata nominale sono forniti dal costruttore per posa a trifoglio, direttamente interrata, ρ = 1 °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 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 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 Larino 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 1,50 m dal piano di calpestio, sulla scorta della Tabella B.12 della Norma IEC 60502-2, si considerano i valori della tabella seguente:

Profondità di posa [m]	$K_2$ (sezione $\leq 185 \text{ mm}^2$ )	$K_2$ (sezione $> 185 \text{ mm}^2$ )
1,50	0,95	0,93

**Tabella 5.3.1:** Fattore di correzione  $k_2$

In corrispondenza della profondità di posa di 1,50 m si ottiene  $k_2 = 0,95$  oppure 0,93 a seconda che si consideri la sezione di 185 mm<sup>2</sup> o le sezioni 300, 500 e 630 mm<sup>2</sup>.



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 36 kV esistenti in parallelo sullo stesso piano orizzontale può essere desunto dagli elaborati grafici “LARO E60 Planimetria sottocampi elettrici 36 kV su CTR (per circuiti)” e “LARO E062 Planimetria sottocampi elettrici 36 kV su catastale (per circuiti)”, i valori di  $k_4$  si ottengono interpolando i valori della Tabella B.19 della Norma IEC 60502-2 e considerando la distanza di separazione delle terne adiacenti in parallelo sul piano orizzontale pari a 0,30 m.

Numero circuiti in parallelo	1	2	3	4
$K_4$	1	0,85	0,76	0,71

**Tabella 5.3.2:** Fattore di correzione  $k_4$

Inoltre, per maggiore cautela, per ciascuna tratta si considera quale valore  $k_4$  quello relativo al numero massimo di terne in parallelo sullo stesso piano orizzontale della medesima linea, in modo da ottenere, per maggiore sicurezza, un sovradimensionamento rispetto alle effettive condizioni di posa.

A scopo cautelativo la distanza per i 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 longitudinali del cavo.

Tenendo presente che la tensione di esercizio del cavo è  $V = 36 \text{ kV}$ , 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:

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

### 5.5. Calcolo della perdita di potenza

Il calcolo della perdita di potenza per effetto Joule lungo una tratta viene effettuato 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.

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 36 kV.

LINEA	DA	A	L [m]	SEZIONE [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>b</sub> [A]	I <sub>Z</sub> [A]	ΔV <sub>r,%</sub>	ΔP <sub>r,%TOT</sub>
CIRCUITO A	LAR 13	LAR 14	895	185	106,9	356,1	0,078	
	LAR 13	LAR 02	1520	185	213,8	356,1	0,265	
	LAR 02	LAR 01	5352	300	320,7	454,5	1,034	
	LAR 01	SE RTN 380/36 KV	5425	630	427,7	552,0	0,929	
	SOMMA							
							2,31	1,23
CIRCUITO B	LAR 05	LAR 03	4477	185	106,9	356,1	0,390	
	LAR 03	LAR 04	7468	185	213,8	356,1	1,301	
	LAR 04	SE RTN 380/36 KV	3933	500	320,7	488,0	0,580	
	SOMMA							
							2,27	1,21
CIRCUITO C	LAR 12	LAR 11	3432	185	106,9	356,1	0,299	
	LAR 11	LAR 10	3831	185	213,8	318,4	0,670	
	LAR 10	SE RTN 380/36 KV	10155	500	320,7	488,0	1,50	
	SOMMA							
							2,47	1,39
CIRCUITO D	LAR 09	LAR 07	1065	185	106,9	356,1	0,093	
	LAR 07	LAR 06	1511	185	213,8	356,1	0,263	
	LAR 06	LAR 08	6515	300	320,7	406,4	1,26	
	LAR 08	SE RTN 380/36 KV	5811	630	427,7	552,0	0,995	
	SOMMA							
							2,61	1,40

**Tabella 6.1:** Parametri elettrici di calcolo del dimensionamento dei circuiti elettrici

## 7. CONCLUSIONI

---

Come si evince dalla **Tabella 6.1**, la corrente di progetto lungo ogni tratta di linea a 36 kV è inferiore a quella effettiva e le cadute di tensioni e le perdite di potenza lungo ogni linea sono inferiori rispettivamente al 4% ed al 5%.

Alla luce di tale risultato la sezione di ognuno dei cavi di collegamento a 36 kV presi in considerazione è adeguata al trasporto della potenza richiesta.