

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



PROGETTO DEFINITIVO PARCO EOLICO GENZANO

Titolo elaborato:

CALCOLO PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI

TL	GD	GD	EMISSIONE	04/08/23	0	0
REDATTO	CONTR.	APPROV.	DESCRIZIONE REVISIONE DOCUMENTO	DATA	REV	

PROPONENTE



LUCANIA PRIME S.R.L.

VIA A. DE GASPERI N. 8
74023 GROTTAGLIE (TA)

CONSULENZA



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

VIA A. DE GASPERI N. 8
74023 GROTTAGLIE (TA)

PROGETTISTA

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

Codice
GEOE064

Formato
A4

Scala
/

Foglio
1 di 28

Sommarario

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	3
3. DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO	5
4. SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DELLE LINEE ELETTRICHE	9
5. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DELLE LINEE A 33 KV	15
5.1. Criterio di dimensionamento	15
5.2. Posa e dati tecnici del cavo a 33 kV utilizzato	16
5.3. Coesistenza tra i cavi elettrici di energia interrati e collegamenti interrati di altra natura	20
5.3.1. Coesistenza tra cavi di energia interrati e cavi di telecomunicazioni	20
5.3.2. Coesistenza tra cavi di energia interrati e tubazioni metalliche	20
5.3.3. Incroci di cavi	21
5.4. Calcolo delle portate	21
5.5. Calcolo della caduta di tensione	23
5.6. Calcolo della perdita di potenza	24
6. TABELLA DI CALCOLO	25
7. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO CAVI AT	26
8. CONCLUSIONI	27

1. PREMESSA

La **Lucania Prime s.r.l.** è una società costituita per realizzare un impianto eolico in Basilicata, denominato “**Parco Eolico Genzano**”, nel territorio del Comune di Genzano di Lucania (Provincia di Potenza) con punto di connessione a 150 kV in corrispondenza dell’ampliamento della Stazione Elettrica RTN Terna 380/150 kV di Genzano nel Comune di Genzano di Lucania.

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 Lucania Prime s.r.l., si è occupata della progettazione definitiva per la richiesta di Autorizzazione Unica (AU) alla costruzione e l’esercizio dell’impianto e della relativa Valutazione d’Impatto Ambientale (VIA).

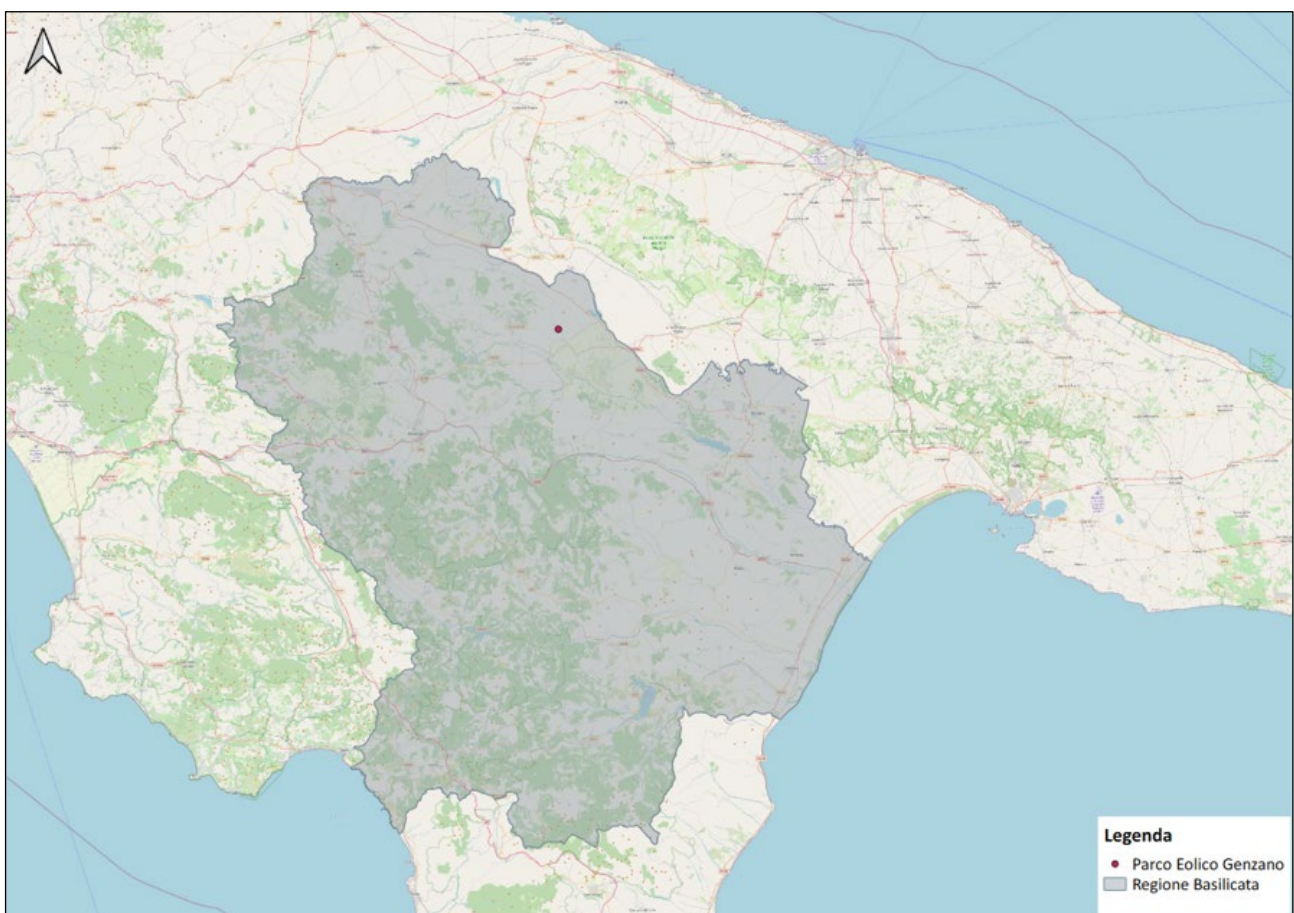


Figura 1.1: Localizzazione del Parco Eolico Genzano

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 nominale totale in immissione pari a 121,6 MWp ed è costituito da 18 aerogeneratori, ognuno di potenza nominale pari a 6,2 MWp, per una potenza complessiva di 111,6 MWp, e un sistema di accumulo di energia (BESS, Battery Energy Storage System) di potenza pari a 10,0 MWp.

L'impianto interessa esclusivamente il Comune di Genzano di Lucania, ove ricadono tutti gli aerogeneratori, il BESS, la Stazione Elettrica Utente (SEU) di trasformazione 150/33 kV, la Stazione Elettrica Condivisa (SEC) con altri produttori e il futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) RTN Terna 380/150 kV (Figura 3.1).

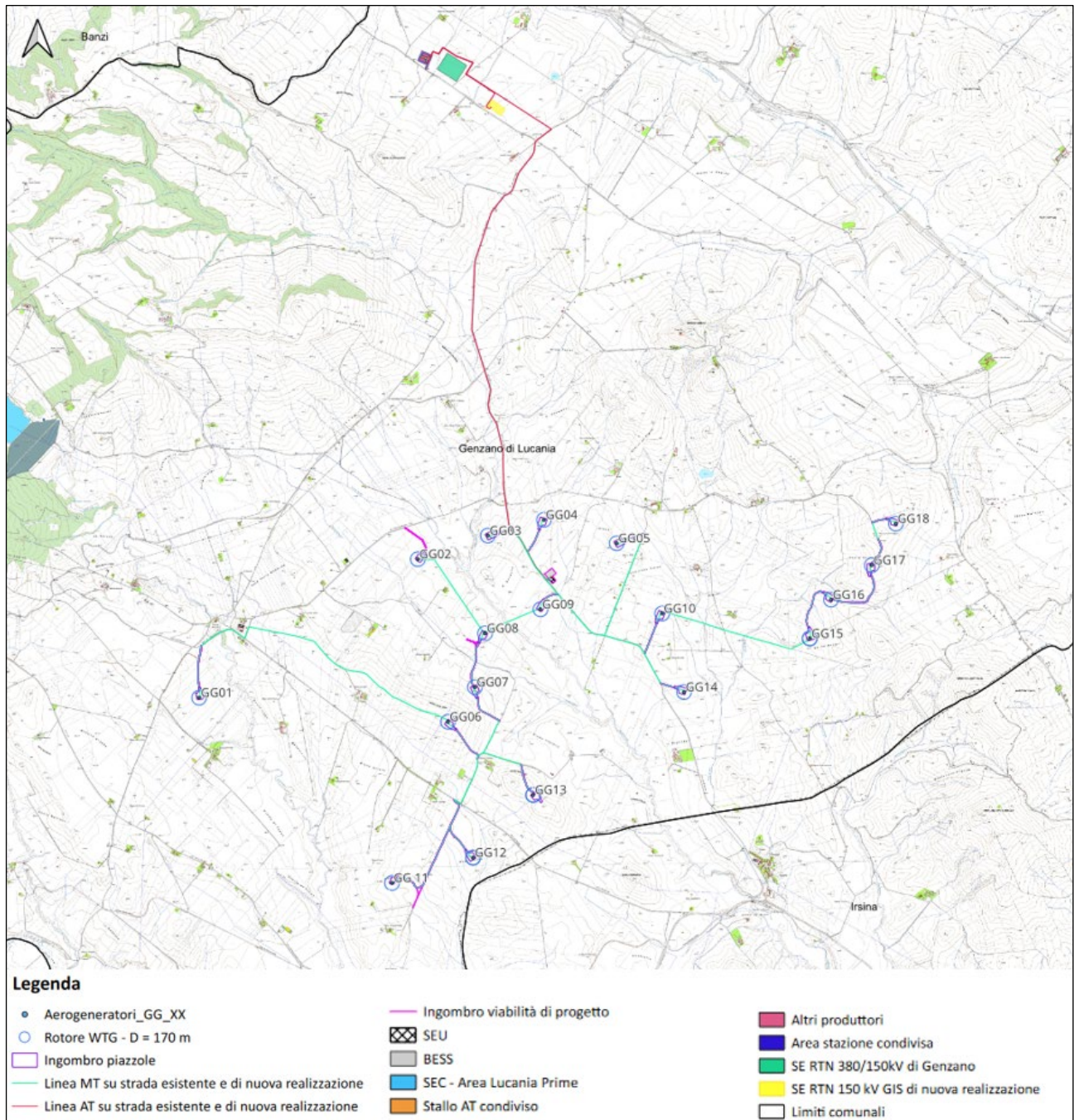


Figura 3.1: Inquadramento territoriale del Parco Eolico Genzano con i limiti amministrativi dei comuni interessati

Un sistema di linee elettriche interrato a 33 kV, allocate prevalentemente in corrispondenza del sistema di viabilità interna, necessario alla costruzione e alla gestione futura dell'impianto e realizzato prevalentemente adeguando il sistema viario esistente e realizzando nuovi tratti di raccordo per

consentire il transito dei mezzi eccezionali, è previsto per il collegamento tra gli aerogeneratori, tra gruppi di questi ultimi e la Stazione Elettrica Utente 150/33 kV e tra il BESS e la stessa SEU 150/33 kV.

La soluzione di connessione (soluzione tecnica minima generale STMG - Codice Pratica (CP) del preventivo di connessione 202102923) prevede che l'impianto eolico venga collegato in antenna a 150 kV su un futuro ampliamento della Stazione Elettrica della RTN 380/150 kV di Genzano.

Il Gestore ha inoltre prescritto che lo stallo che sarà occupato dall'impianto dovrà essere condiviso con altri produttori e, a tal fine, è prevista la realizzazione di una Stazione Elettrica Condivisa, a sua volta collegata all'ampliamento della SE RTN mediante la posa in opera, su strade da realizzarsi per lo scopo, di una linea Alta Tensione a 150 kV interrata di lunghezza pari a 1,602 km.

Il progetto prevede che la SEU 150/33 kV venga collegata alla SEC mediante la posa in opera, su strade esistenti o da realizzarsi per lo scopo, di una ulteriore linea Alta Tensione a 150 kV interrata di lunghezza complessiva di 8,774 km.

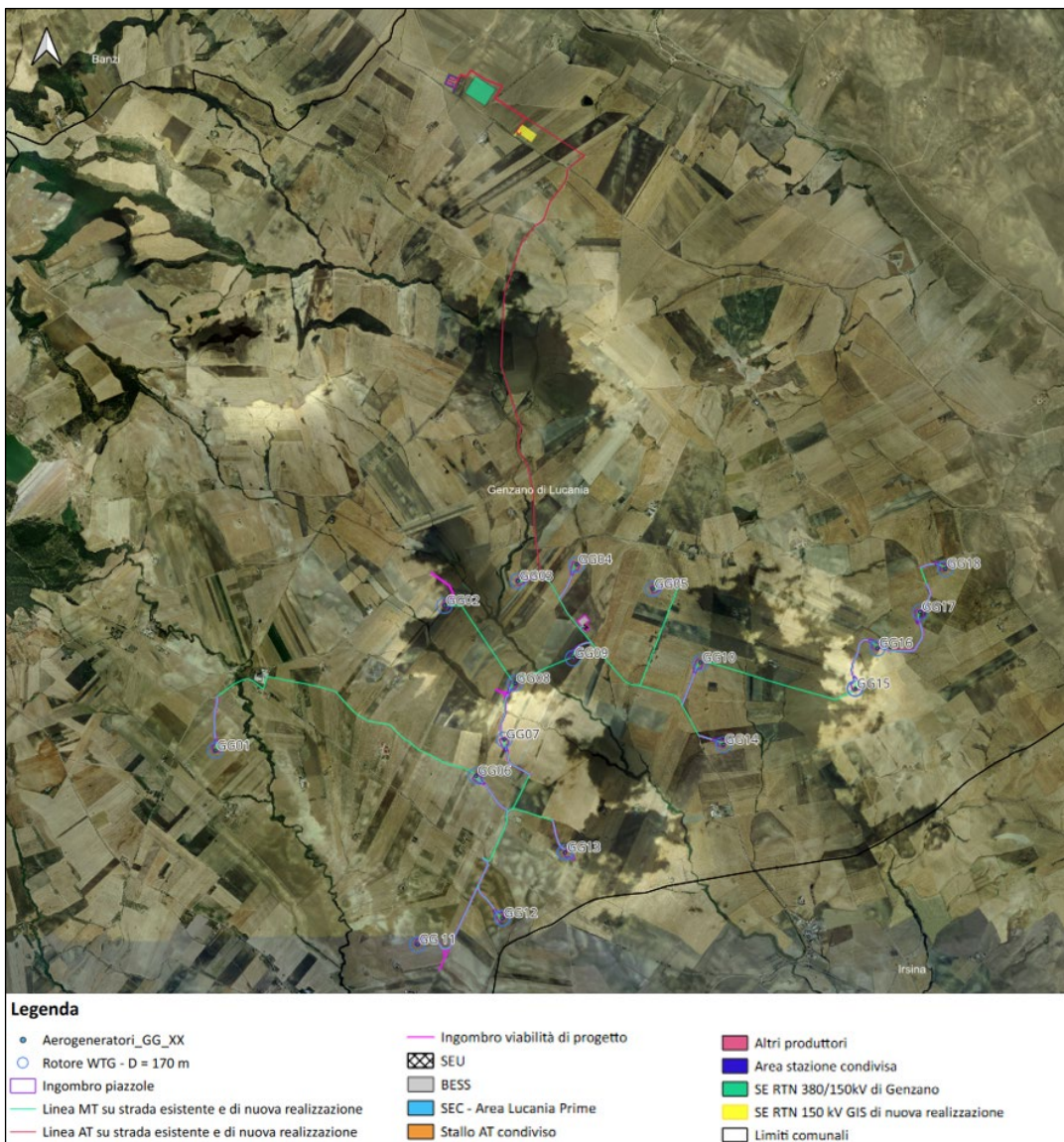


Figura 3.2: Layout d'impianto su ortofoto

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 135 m e diametro del rotore pari a 170 m.

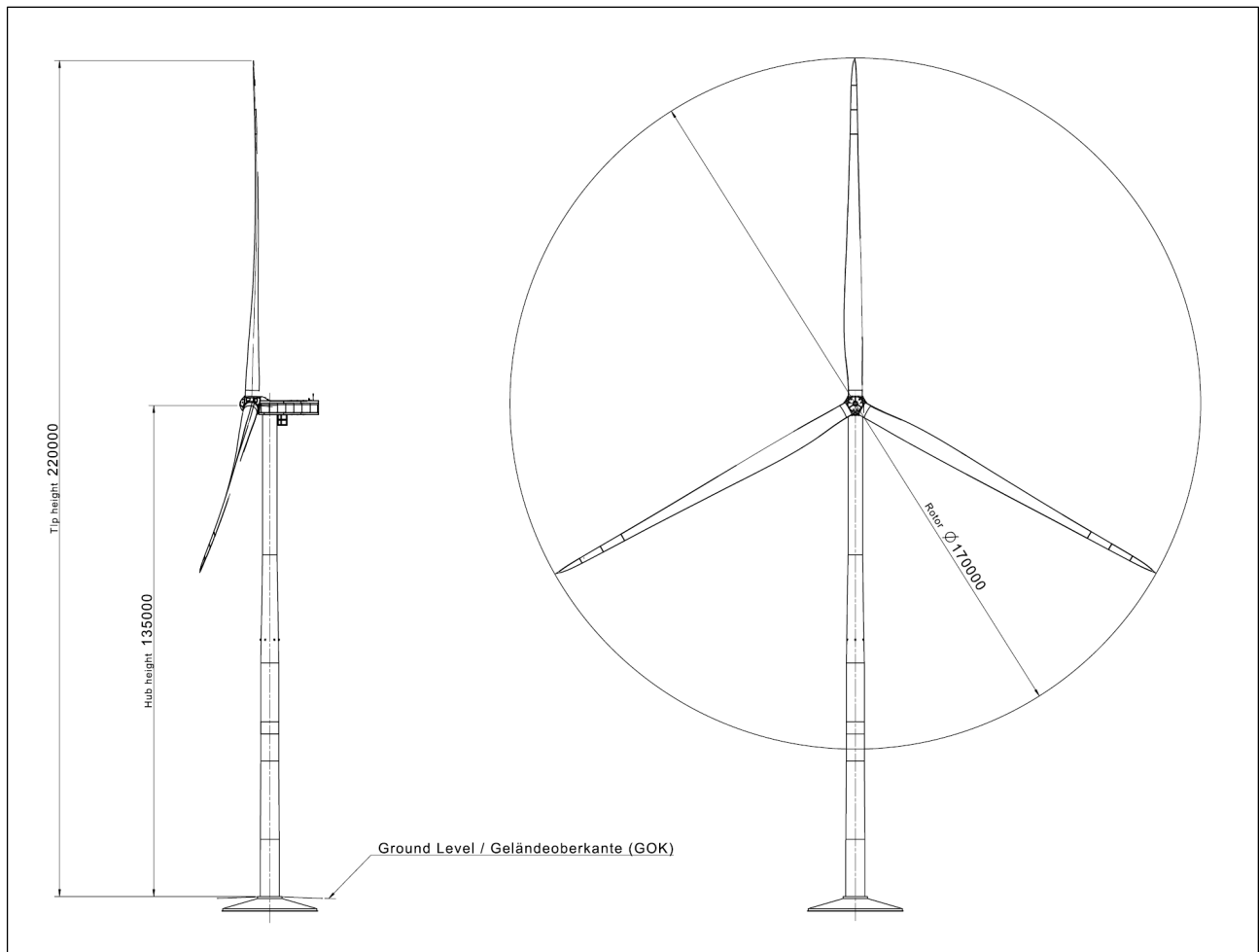


Figura 3.3: Profilo aerogeneratore SG170 – 6,2 MWp – HH= 135 m – D=170 m

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

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

Le caratteristiche dell'aerogeneratore considerato sono quelle ritenute idonee in base a quanto disponibile oggi sul mercato; nelle future fasi progettuali potrà essere possibile prendere in considerazione eventuali altri modelli 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 Genzano è caratterizzato da una potenza complessiva di 121,6 MWp, ottenuta da 18 aerogeneratori di potenza nominale 6,2 MWp ciascuno e dal BESS di potenza 10,0 MWp.

Gli aerogeneratori sono collegati elettricamente tra loro mediante cavi a 33 kV in modo da formare 6 sottocampi (Circuiti A, B, C, D, E ed F) di 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, come esplicitato nella **Tabella 4.1**.

Sottocampo o Circuito	Aerogeneratori	Potenza totale [MWp]
CIRCUITO A	GG 01 – GG 06 – GG 07	18,6
CIRCUITO B	GG 11 – GG 12 – GG 13	18,6
CIRCUITO C	GG 02 – GG 08 – GG 09	18,6
CIRCUITO D	GG 05 – GG 03 – GG 04	18,6
CIRCUITO E	GG 15 – GG 14 – GG 10	18,6
CIRCUITO F	GG 18 – GG 17 – GG 16	18,6

Tabella 4.1: Suddivisione degli aerogeneratori in circuiti elettrici

Gli aerogeneratori sono 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.

Il BESS, di potenza complessiva di 10,0 MWp, è collegato alla Stazione Elettrica Utente attraverso 1 linea elettrica interrata a 33 kV, come rappresentato nella **Tabella 4.2**.

Elemento	Potenza totale [MWp]
Linea BESS - SEU	10,0

Tabella 4.2: Linea elettrica di collegamento tra BESS e SEU 150/33 kV

Un'ulteriore linea elettrica interrata a 33 kV è necessaria per collegare l' Auxiliary Power Block, in grado di assicurare i servizi ausiliari del BESS, al quadro di Media Tensione della SEU (maggiori dettagli sono riportati negli elaborati di progetto "GEOE063 Relazione tecnica descrittiva delle opere elettriche", "GEOE065 Relazione descrittiva BESS" e "GEOE072 Schema elettrico unifilare impianto utente").

Lo schema a blocchi di riferimento, nel quale sono indicate le sezioni e le lunghezze dei cavi di ogni tratto di linea e nel quale gli aerogeneratori di ogni linea sono collegati tra loro secondo lo schema in entra – esci, in smistamento e in fine linea, è riportato nella **Figura 4.1** (maggiori dettagli sono riportati nell'elaborato di progetto "GEOE071 Schema a blocchi impianto").

L'aerogeneratore capofila (fine linea) è collegato al resto del circuito, i restanti sono collegati tra loro in Entra – Esci o in smistamento (GG 04 e GG 10) e ognuno dei 6 circuiti è collegato alla SEU 150/33 kV

(nello schema sono altresì riportati i collegamenti di Media Tensione tra il BESS e la SEU 150/33 kV e quelli di Alta Tensione successivamente trattati nel dettaglio).

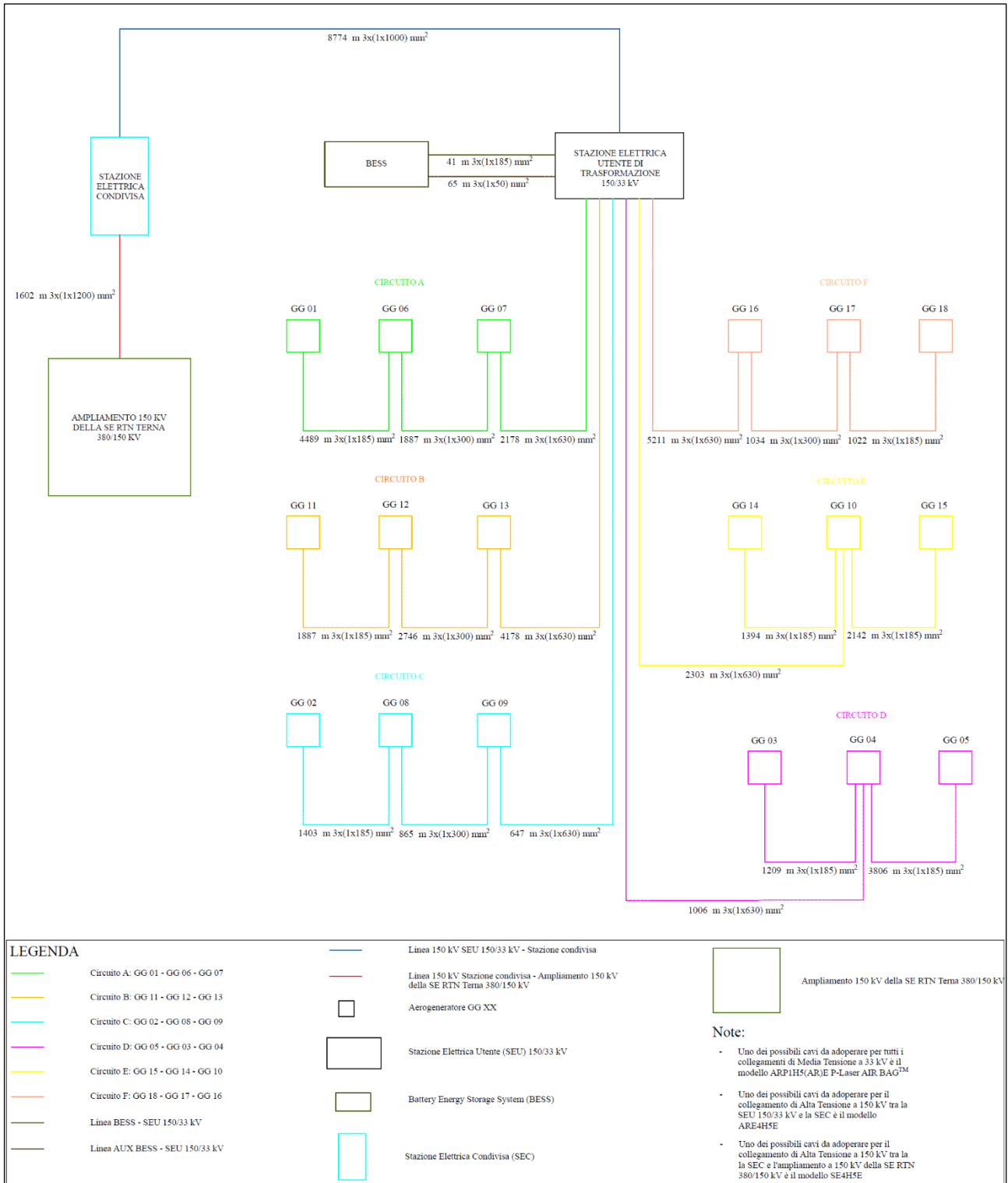


Figura 4.1: Schema a blocchi del Parco Eolico Genzano

Nel seguito sono riportate le planimetrie di distribuzione delle linee a 33 kV per i 6 circuiti, delle linee a 150 kV e i relativi dettagli.

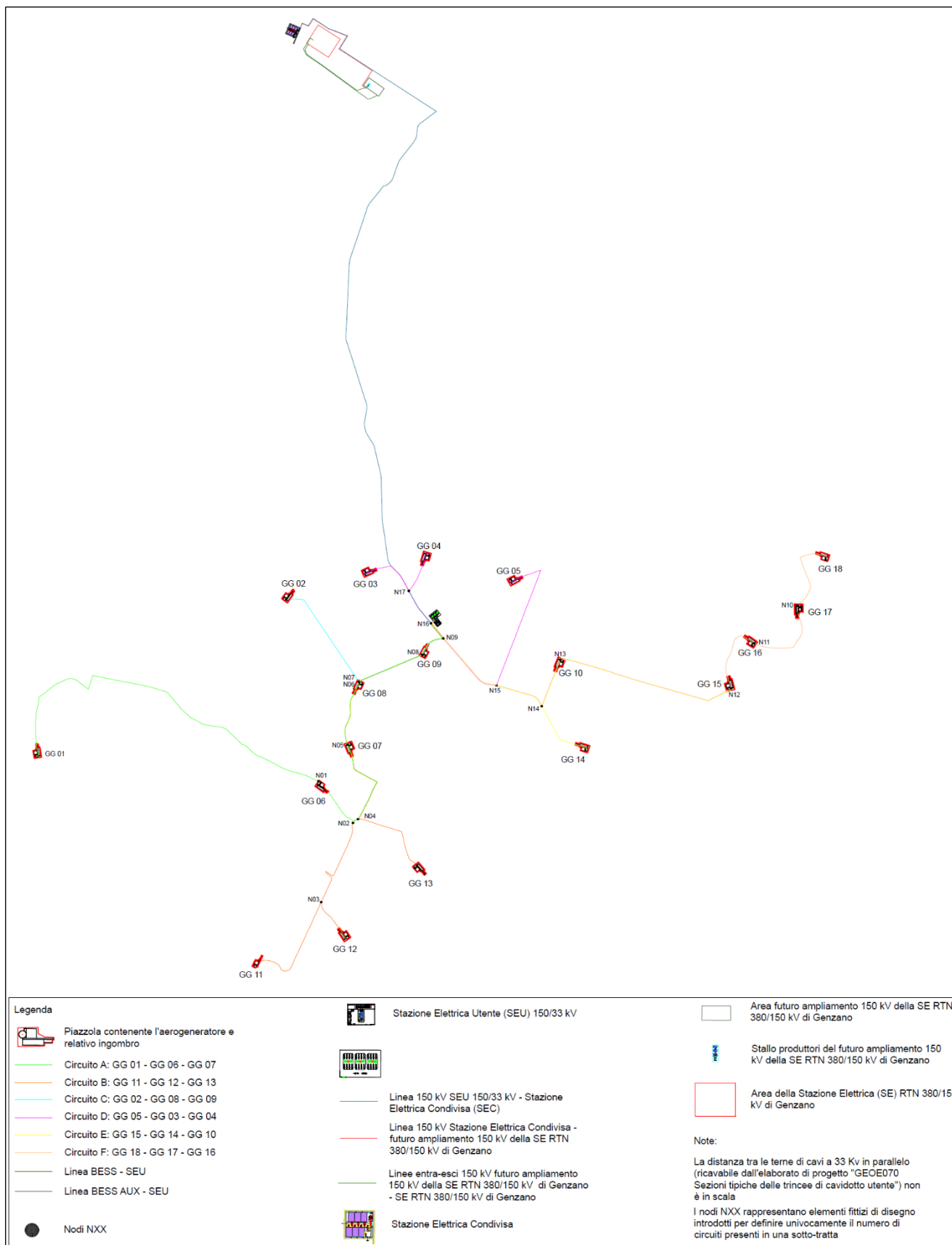


Figura 4.2: Planimetria generale di distribuzione delle linee di collegamento a 33 kV e a 150 kV, SEU 150/33 kV, BESS, SEC, ampliamento a 150 kV della SE RTN 380/150 kV e SE RTN 380/150 kV

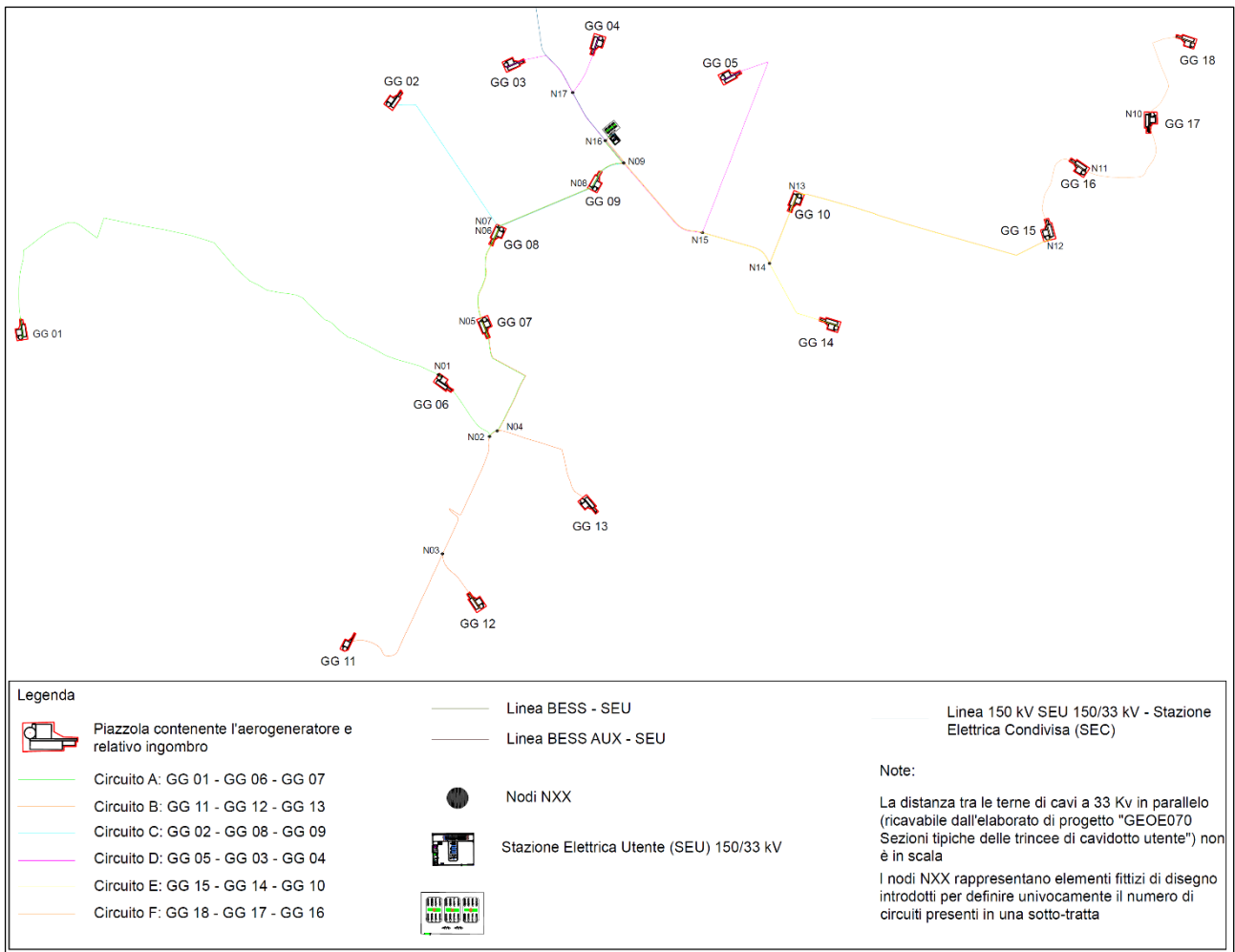


Figura 4.3: Dettaglio 1 - planimetria di distribuzione linee di collegamento a 33 kV

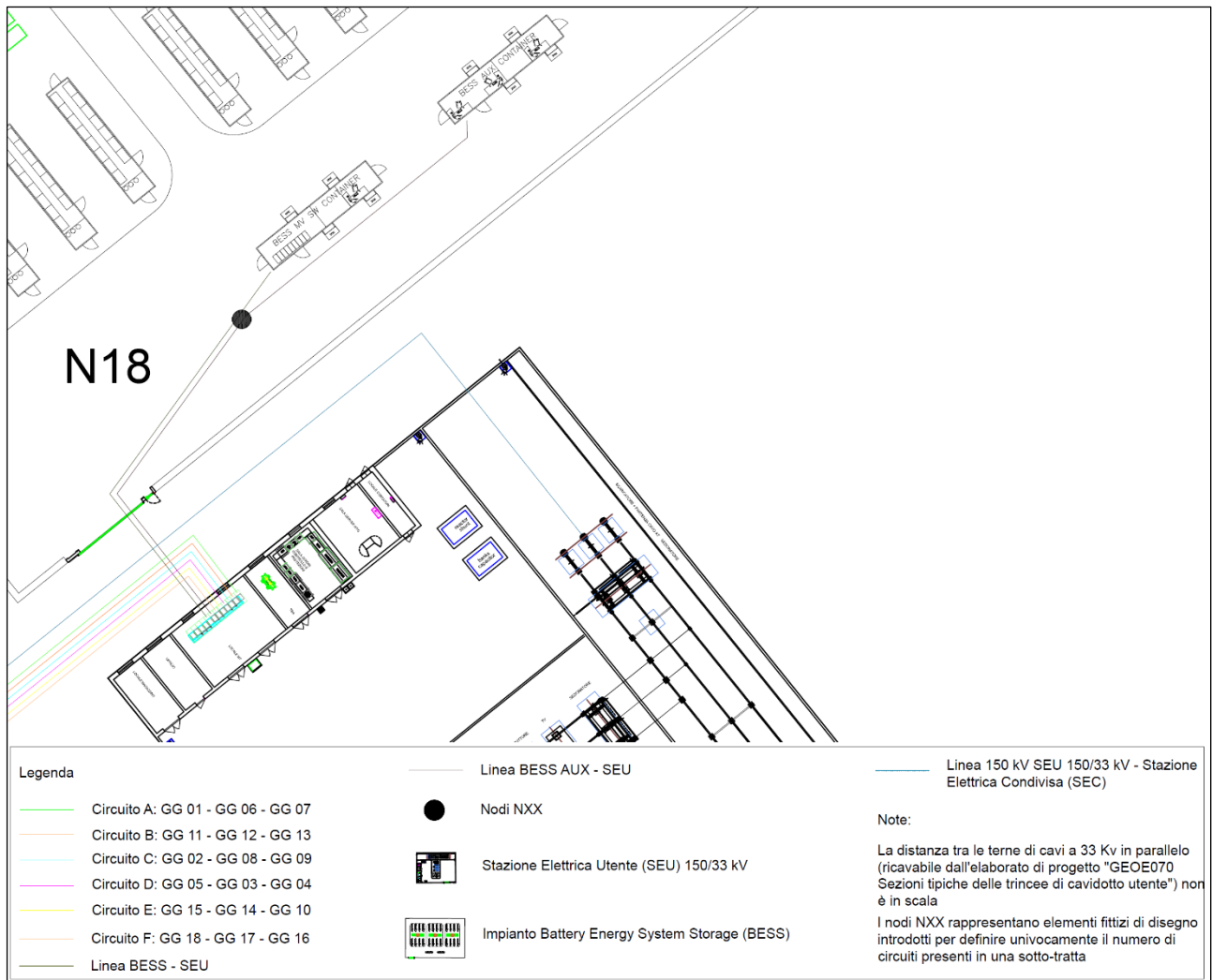


Figura 4.4: Dettaglio 2 - arrivo linee a 33 kV ai quadri di Media Tensione della SEU 150/33 kV e partenza linea a 150 kV verso la SEC

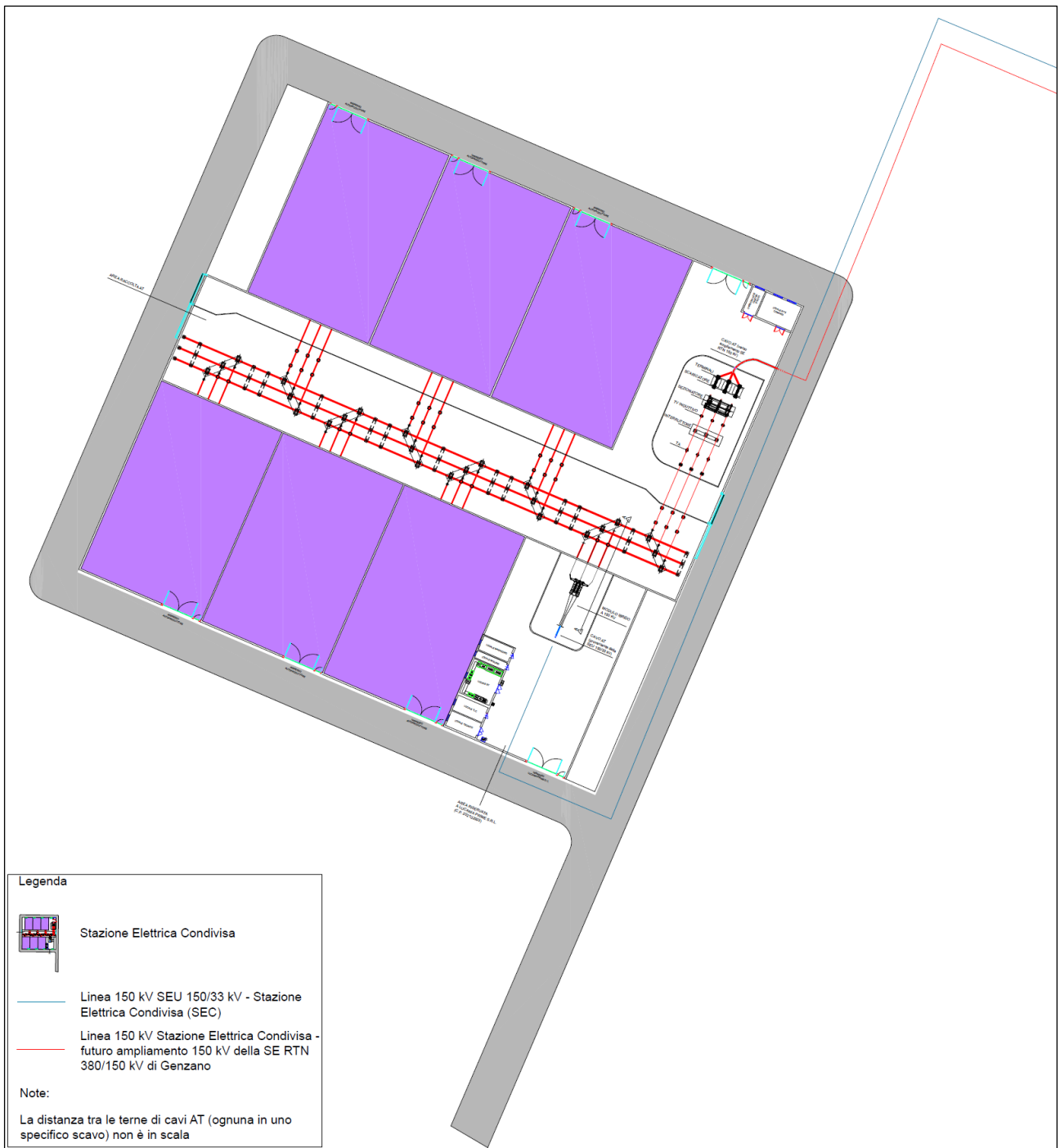


Figura 4.5: Dettaglio 3 – arrivo linea a 150 kV dalla SEU 150/33 kV alla SEC e partenza linea a 150 kV verso l’ampliamento a 150 kV della SE RTN 380/150 kV

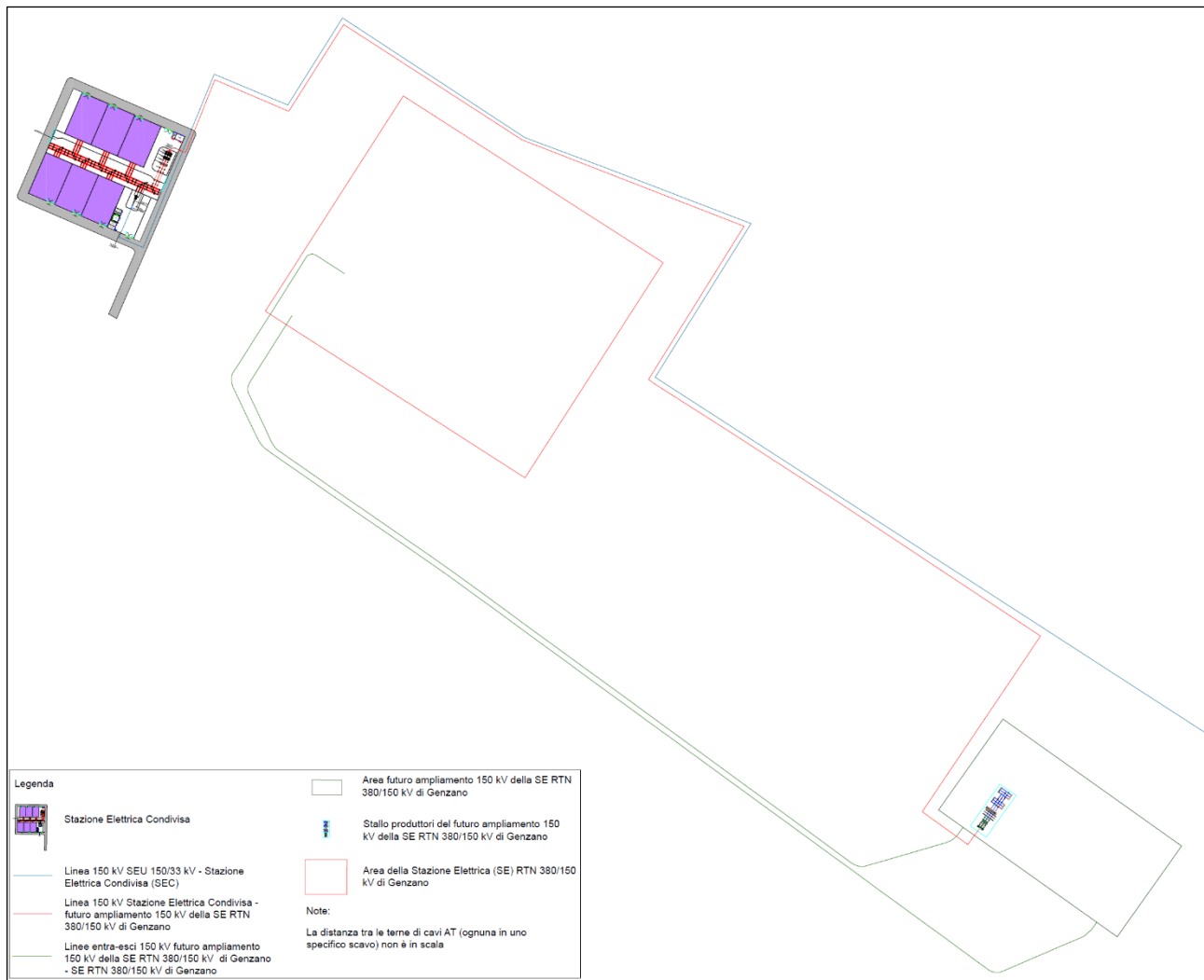


Figura 4.6: Dettaglio 4 – collegamento tra la SEC e l’ampliamento a 150 kV della SE RTN 380/150 kV e collegamento in entra-esce tra il medesimo ampliamento e la SE RTN 380/150 kV

5. DIMENSIONAMENTO ELETTTRICO 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

Uno dei possibili cavi da impiegare per il collegamento di tutte le tratte in Media Tensione è il tipo ARP1H5(AR)E P-Laser AIR 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, a trifoglio, essendo il cavo in questione idoneo alla stessa.

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

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

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

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

- temperatura massima del conduttore pari a 90 °C;
- temperatura aria ambiente di 30 °C;

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

Nel seguito è rappresentato il dettaglio dei tipologici di posa, come anche riportato nell'elaborato di progetto "GEOE070 Sezioni tipiche delle trincee di cavidotto utente", nel quale le misure sono espresse in mm.

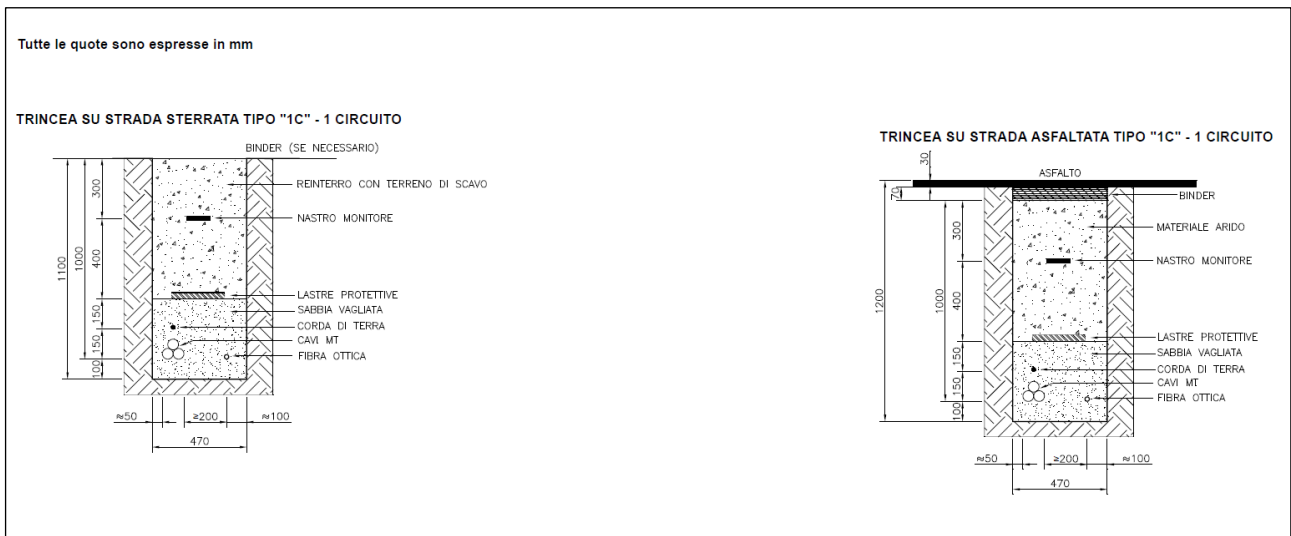


Figura 5.2.1: Sezioni tipiche delle trincee di cavidotto per una terna di cavi su strada sterrata e asfaltata

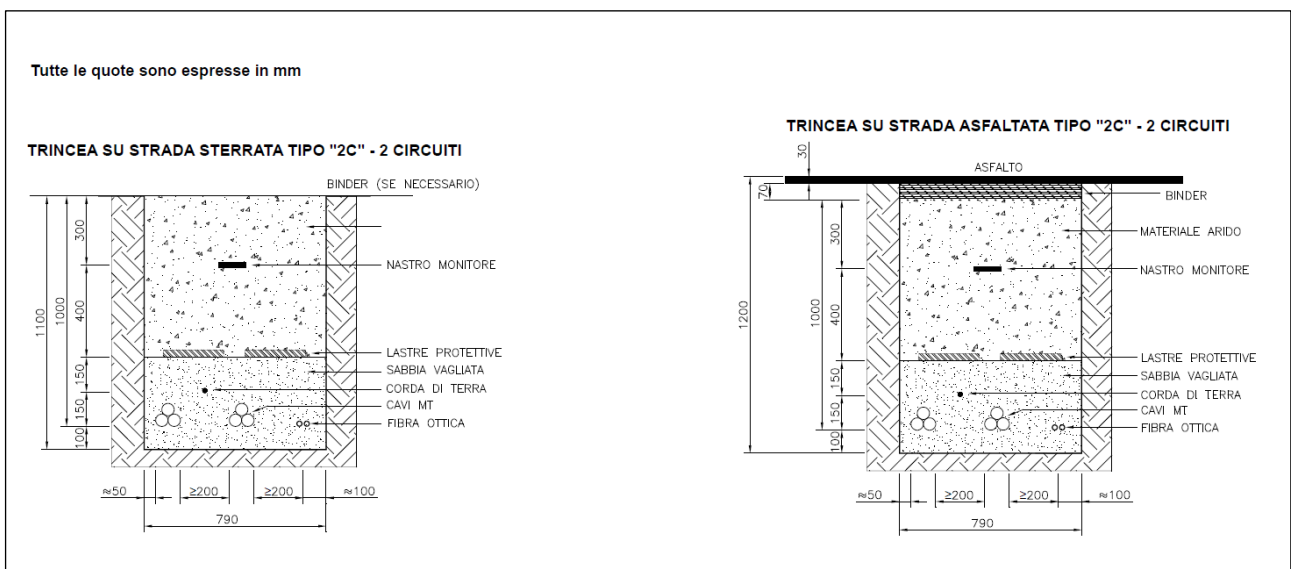


Figura 5.2.2: Sezioni tipiche delle trincee di cavidotto per due terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata

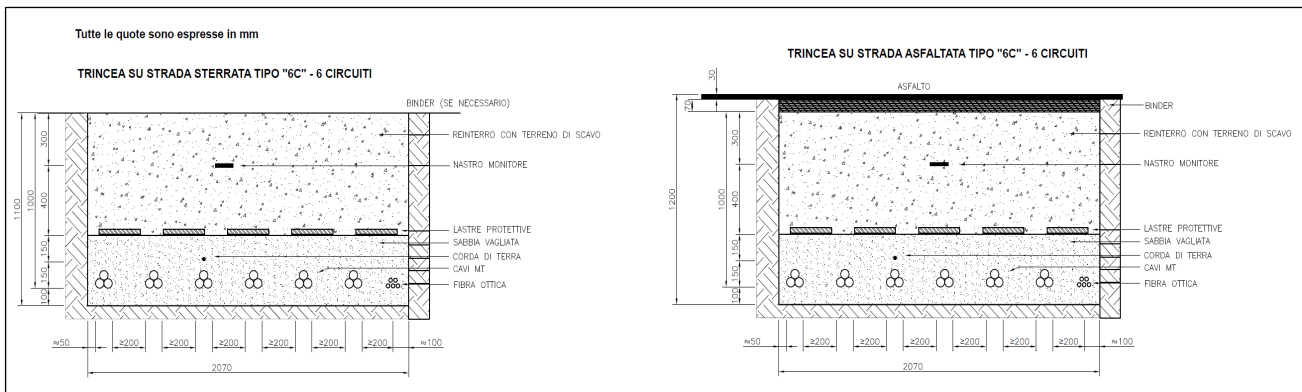


Figura 5.2.6: Sezioni tipiche delle trincee di cavidotto per sei terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata

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.

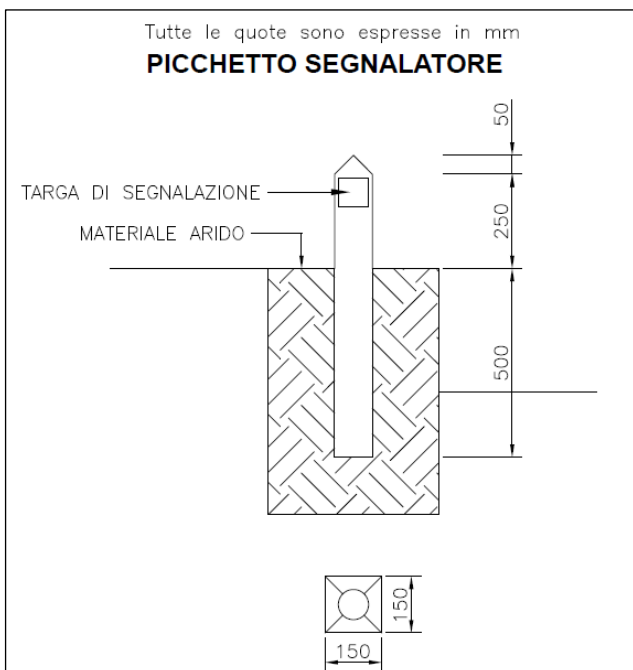


Figura 5.2.7: Sezione tipica del picchetto segnalatore

Considerando che le sezioni del cavo utilizzato sono di 50 mm², 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] (*)
50	0,832	0,150	173
185	0,218	0,120	368
300	0,1360	0,110	486
630	0,0739	0,099	725

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.3.2. Coesistenza tra cavi di energia interrati e tubazioni metalliche

Nel caso di tratti in cui si verifica il parallelismo dei cavi di energia interrati con tubazioni metalliche interrate, quali per esempio oleodotti e acquedotti, adoperate per il 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.

5.3.3. Incroci di cavi

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

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

5.4. Calcolo delle portate

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

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

dove:

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

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

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

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

dove:

- k_1 rappresenta il fattore di correzione per temperature del terreno diverse da 20° 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 dell'impianto 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 la valutazione del fattore di correzione k_2 , tenendo conto che è stata prevista la posa direttamente interrata dei cavi ad una profondità di 1,00 m dal piano del suolo, sulla scorta della Tabella B.12 della Norma IEC 60502-2, si considerano i valori di seguito riportati:

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

Tabella 5.4.1: Fattore di correzione k_2

In corrispondenza della profondità di posa di 1,00 m si ottiene $k_2 = 0,98$ oppure 0,97 a seconda che si consideri le sezioni di 50 mm^2 e 185 mm^2 o le 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 cavi a 33 kV esistenti in parallelo sullo stesso piano orizzontale può essere desunto dagli elaborati grafici "GEOE067 Planimetria sottocampi elettrici a 33 kV su CTR (per circuiti)", "GEOE069 Planimetria sottocampi elettrici a 33 kV su ortofoto (per circuiti)", nonché dalla **Figura 4.3** e dalle **Tabella 5.4.2** e **Tabella 5.4.3** sotto riportate, 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		CIRCUITO F	
DA	A	LUNGHEZZA [m]	LARGHEZZA [m]	PROFONDITA' SCAVO [m]	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO
GG 01	N01	444	0,47	1,1	1	3x(1x185)										
GG 06	N01	55	0,79	1,1	2	3x(1x185) + 3x(1x300)										
	N02	656	0,47	1,1	1	3x(1x300)										
GG 11	N03	1341	0,47	1,1			1	3x(1x185)								
GG 12	N03	546	0,79	1,1			2	3x(1x185) + 3x(1x300)								
	N02	1144	0,47	1,1			1	3x(1x300)								
GG 13	N04	980	0,79	1,1			2	3x(1x300) + 3x(1x630)								
	N02	76	0,79	1,1	1	3x(1x300)	1	3x(1x300)								
	N04	1060	0,79	1,1	1	3x(1x300)	1	3x(1x300)								
GG 07	N05	40	0,79	1,1	2	3x(1x300) + 3x(1x630)										
	N05	743	0,79	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)								
GG 02	N07	1355	0,47	1,1					1	3x(1x185)						
GG 08	N06	39	0,79	1,1					2	3x(1x185) + 3x(1x300)						
	N07	9	1,43	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	2	3x(1x185) + 3x(1x300)						
	N07	778	1,11	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x300)						
GG 09	N08	39	0,79	1,1					2	3x(1x300) + 3x(1x630)						
	N08	326	1,11	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x300)						
GG 18	N10	983	0,47	1,1											1	3x(1x185)
GG 17	N10	39	0,79	1,1											2	3x(1x185) + 3x(1x300)
	N10	955	0,47	1,1											1	3x(1x300)
GG 16	N11	40	0,79	1,1											2	3x(1x300) + 3x(1x630)
	N12	843	0,47	1,1											1	3x(1x630)
GG 15	N12	39	0,47	1,1								1	3x(1x185)			
	N12	2064	0,79	1,1								1	3x(1x185)	1	3x(1x630)	
GG 14	N14	788	0,47	1,1								1	3x(1x185)			
GG 10	N13	39	1,11	1,1								3	2x3x(1x185) + 3x(1x630)			
	N13	567	1,11	1,1								2	3x(1x185) + 3x(1x630)	1	3x(1x630)	
	N14	590	0,79	1,1								1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	
GG 05	N15	1805	0,47	1,1							1	3x(1x185)				
	N15	825	1,11	1,1							1	3x(1x185)	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)
	N09	226	2,07	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x185)	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)
GG 03	N17	702	0,47	1,1							1	3x(1x185)				
GG 04	N17	507	1,11	1,1							3	2x3x(1x185) + 3x(1x630)				
	N17	443	0,79	1,1							2	3x(1x185) + 3x(1x630)				
	N16	56	2,07	1,1	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)	1	3x(1x630)

Tabella 5.4.2: Singole sotto-tratte delle linee a 33 kV per i vari circuiti (i nodi NXX rappresentano elementi fittizi necessari per identificare univocamente il numero di terne in parallelo presenti in ogni sotto-tratta)

TRATTA					LINEA BESS		LINEA BESS AUX	
DA	A	LUNGHEZZA [m]	LARGHEZZA [m]	PROFONDITA' SCAVO [m]	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO
BESS MV CONTAINER	N18	5	0,47	1,1	1	3x(1x185)		
BESS AUX CONTAINER	N18	29	0,47	1,1			1	3x(1x50)
N18	SEU 150/33 KV	36	0,79	1,1	1	3x(1x185)	1	3x(1x50)

Tabella 5.4.3: Singole sotto-tratte delle linee a 33 kV di collegamento tra BESS e SEU 150/33 kV

Numero circuiti in parallelo	1	2	3	4	5	6
K₄	1	0,83	0,73	0,68	0,63	0,61

Tabella 5.4.4: Fattore di correzione k₄

Inoltre, per ciascuna tratta si considera quale valore k₄ quello relativo al numero massimo di terne in parallelo e sullo stesso piano orizzontale della medesima tratta, in modo da ottenere, per maggiore cautela, un sovradimensionamento rispetto alle effettive condizioni di posa.

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

5.5. Calcolo della caduta di tensione

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

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

dove:

- I_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:

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

5.6. 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 [$\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$];
- 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, la corrente di carico, la portata effettiva, la caduta di tensione e la perdita di potenza.

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

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

LINEA	DA	A	L [m]	SEZIONE [mm ²]	I _b [A]	I _z [A]	ΔV _r %	ΔP _r %TOT
CIRCUITO A	GG 01	GG 06	4.489	185	120,5	299,3	0,705	
	GG 06	GG 07	1.887	300	241,0	391,3	0,407	
	GG 07	SEU 150/33 KV	2.178	630	361,6	429,0	0,453	
							SOMMA	
						1,567	0,809	
CIRCUITO B	GG 11	GG 12	1.887	185	120,5	299,3	0,297	
	GG 12	GG 13	2.746	300	241,0	391,3	0,592	
	GG 13	SEU 150/33 KV	4.178	630	361,6	429,0	0,869	
							SOMMA	
						1,76	1,10	
CIRCUITO C	GG 02	GG 08	1.403	185	120,5	245,2	0,220	
	GG 08	GG 09	865	300	241,0	320,6	0,186	
	GG 09	SEU 150/33 KV	647	630	361,6	429,0	0,135	
							SOMMA	
						0,541	0,283	
CIRCUITO D	GG 05	GG 04	3.806	185	120,5	220,0	0,598	
	GG 03	GG 04	1.209	185	120,5	263,3	0,190	
	GG 04	SEU 150/33 KV	1.006	630	361,6	429,0	0,209	
							SOMMA	
						0,997	0,413	

LINEA	DA	A	L [m]	SEZIONE [mm ²]	I _b [A]	I _z [A]	$\Delta V_{r,\%}$	$\Delta P_{r,\%TOT}$
CIRCUITO E	GG 15	GG 10	2.142	185	120,5	263,3	0,337	
	GG 14	GG 10	1.394	185	120,5	263,3	0,219	
	GG 10	SEU 150/33 KV	2.303	630	361,6	429,0	0,479	
							SOMMA	
						1,03	0,539	
CIRCUITO F	GG 18	GG 17	1.022	185	120,5	299,3	0,161	
	GG 17	GG 16	1.034	300	241,0	391,3	0,223	
	GG 16	SEU 150/33 KV	5.211	630	361,6	429,0	1,08	
							SOMMA	
						1,46	0,996	

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

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

LINEA	DA	A	LUNGHEZZA [m]	SEZIONE [mm ²]	$\Delta V_{r,\%}$	$\Delta P_{r,\%TOT}$
BESS - SEU 1560/33 KV	BESS	SEU 150/33 KV	41	185	0,01	0,005
BESS AUX - SEU 150/33 KV	AUX BESS	SEU 150/33 KV	65	50	0,00378	0,00214

Tabella 6.2: Calcolo del dimensionamento delle linee elettriche a 33 kV di collegamento tra BESS e SEU 150/33 kV

7. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO CAVI AT

Il collegamento tra la Stazione Elettrica Utente di trasformazione 150/33 kV e la Stazione Elettrica Condivisa è realizzato tramite una linea interrata a 150 kV di lunghezza di 8.874 m ed è composta da una terna di cavi unipolari ARE4H5E (o similari) del costruttore Prysmian, di sezione di 1000 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 750 A, schermo semiconduttivo dell'isolamento, schermo metallico e guaina di protezione esterna in alluminio saldata longitudinalmente.

Il collegamento tra la Stazione Elettrica Condivisa e il nuovo stallo del futuro ampliamento della Stazione Elettrica di trasformazione della RTN a 380/150 kV, nel Comune di Genzano di Lucania, è realizzato tramite una linea interrata a 150 kV di lunghezza di 1.602 m ed è composta da una terna di cavi unipolari SE4H5E (o similari) del costruttore Prysmian, di sezione di 1200 mm², in accordo con lo standard IEC 60840, con conduttore in rame, semiconduttore polimerico, isolamento in XLPE, U₀/U_n (U_{max}) 87/150 (170) kV e portata nominale di 1100 A.

Le 2 terne di cavi a 150 kV sono installate in 2 distinte trincee 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 e 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 "GEOE092 Sezione tipica delle trincee di cavidotto AT".

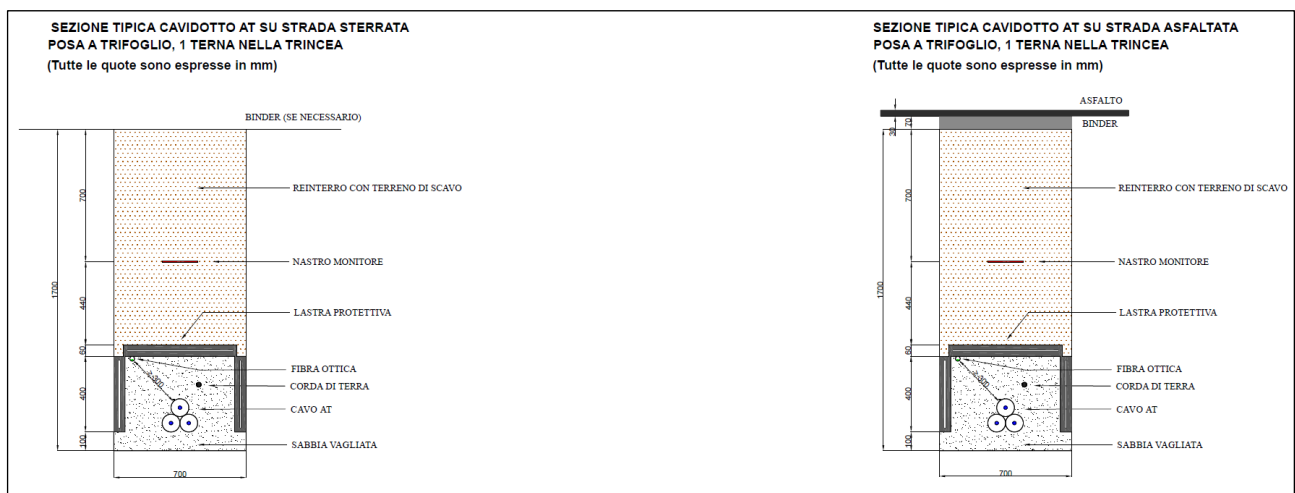


Figura 7.1: Sezione tipica dei cavidotti AT su strada sterrata e asfaltata

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 della sezione dei cavi di collegamento in Alta Tensione tra la SEU 150/33 kV e la SEC e tra quest'ultima e l'ampliamento a 150 kV della SE RTN 380/150 kV risulta essere adeguata in quanto le

correnti di progetto risultano inferiori alle portate effettive con una minima caduta di tensione e perdita di potenza relativa percentuale.