

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



Progetto Definitivo

## Parco Eolico Melfi

Titolo elaborato:

# Calcolo preliminare degli impianti elettrici

EP	TL	GD	EMISSIONE	15/04/24	0	0
REDATTO	CONTR.	APPROV.	DESCRIZIONE REVISIONE DOCUMENTO	DATA	REV	

### PROPONENTE



#### LIBECCIO PRIME SRL

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

### CONSULENZA



#### GECODOR SRL

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

#### PROGETTISTA

Ing. Gaetano D'Oronzio

Codice  
**MLOE064**

Formato A4

Scala

Foglio 1 di 24

## Sommarario

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	4
3. DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO	5
4. SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DELLE LINEE ELETTRICHE	9
5. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DELLE LINEE A 33 KV	12
5.1. Criterio di dimensionamento	12
5.2. Posa e dati tecnici dei cavi a 33 kV utilizzato	13
5.3. Coesistenza tra i cavi elettrici di energia interrati e collegamenti interrati di altra natura	16
5.3.1. Coesistenza tra cavi di energia interrati e cavi di telecomunicazioni	16
5.3.2. Coesistenza tra cavi di energia interrati e tubazioni metalliche	16
5.3.3. Incroci di cavi	17
5.4. Calcolo delle portate	17
5.5. Calcolo della caduta di tensione	19
5.6. Calcolo della perdita di potenza	20
6. TABELLA DI CALCOLO	21
7. COLLEGAMENTO ELETTRICO A 150 KV	21
8. CONCLUSIONI	23

## 1. PREMESSA

La **Libeccio Prime s.r.l.** è una società costituita per realizzare un impianto eolico in Basilicata, denominato “**Parco Eolico Melfi**”, nel territorio del Comune di Melfi (PZ), di potenza totale pari a 42 MW e punto di connessione in corrispondenza del futuro ampliamento della Stazione Elettrica a 380/150 kV della RTN denominata “Melfi”.

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 Libeccio 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 Melfi

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;

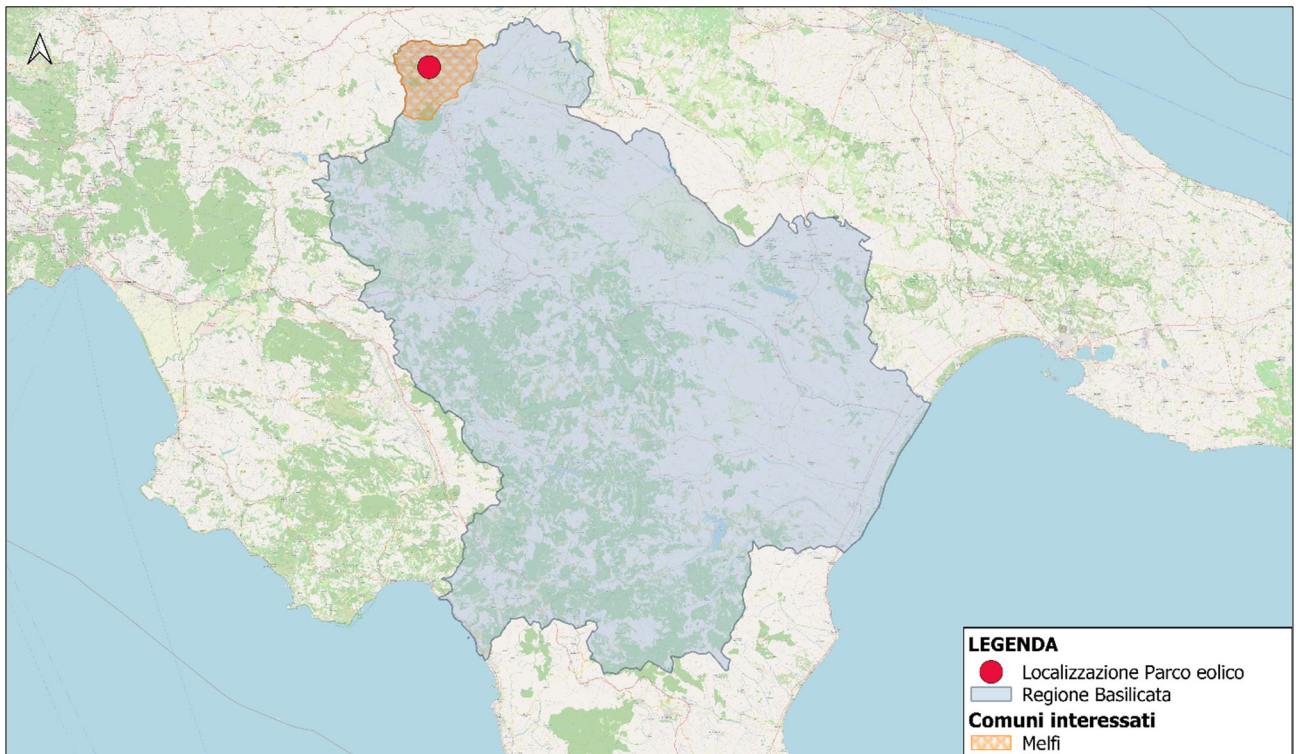
- ✓ Norma CEI 20-56: Cavi da distribuzione con isolamento estruso per tensioni nominali da 3,6/6 (7,2) kV a 20,8/36 (42) kV inclusi;
- ✓ Norma CEI EN 50522 (CEI 99-3) – “Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.”;
- ✓ Norma CEI EN 61936-1 (CEI 99-2): Impianti elettrici 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**

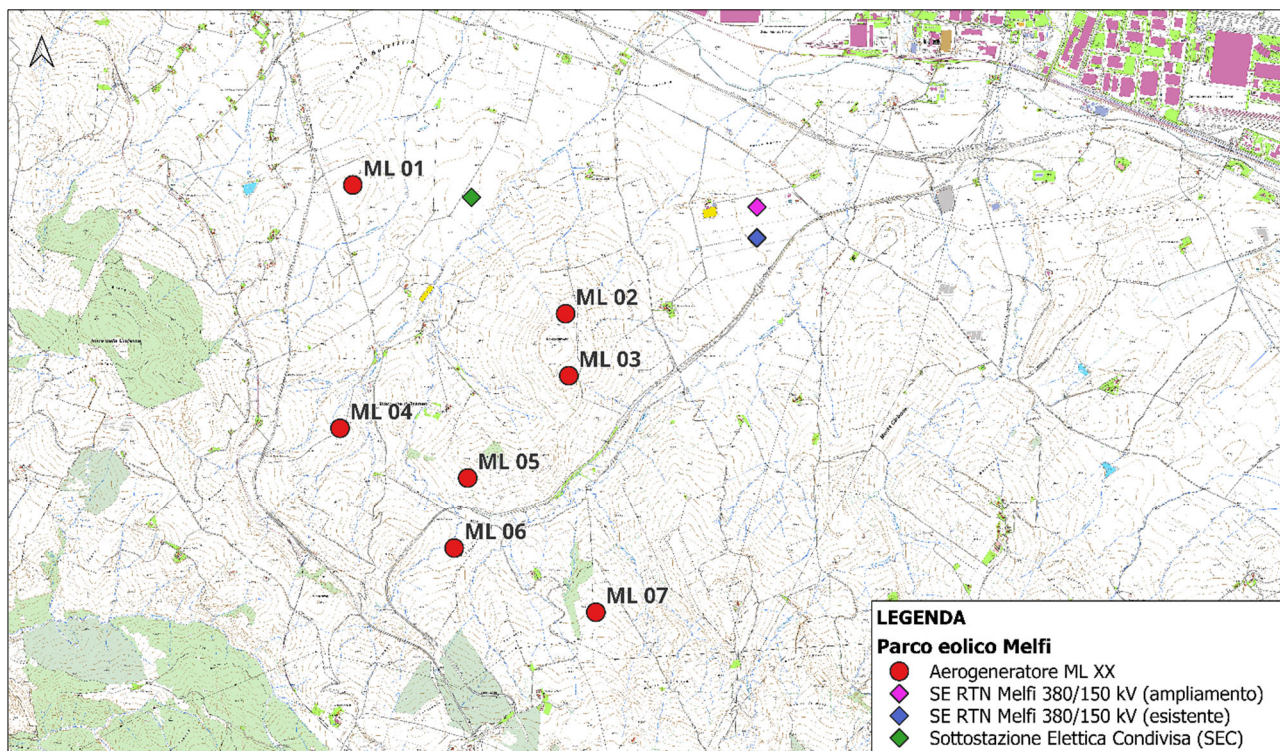
L’impianto eolico presenta una potenza totale pari a 42 MW ed è costituito da 7 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6 MW, altezza della torre pari a 135 m e rotore pari a 170 m.

Gli aerogeneratori sono collegati tra loro mediante cavi interrati a Media Tensione a 33 kV che convogliano l'elettricità presso una Stazione Elettrica Utente (SEU) di trasformazione 150/33 kV, contenuta in una Stazione Elettrica Condivisa (SEC) con altri produttori, la quale è collegata al futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) 380/150 kV della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) Terna di Melfi mediante una terna di cavi interrati in Alta Tensione a 150 kV.

L'impianto ricade integralmente nel territorio del comune di Melfi (PZ), come si evince dalle figure seguenti.



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



**Figura 3.2:** Layout d’impianto su CTR

L’ambito territoriale considerato si trova nel Comune di Melfi (PZ), nella zona nord-orientale della Regione Basilicata, al confine con la Regione Puglia, ed è localizzato a circa 2 km dall’area industriale di San Nicola di Melfi.

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

La SEU 150/33 kV, contenuta in una SEC con altri produttori, è posizionata a Nord rispetto agli aerogeneratori ed è a sua volta collegata mediante una linea interrata a 150 kV al futuro ampliamento della SE 380/150 kV della RTN di Melfi.

La Soluzione Tecnica Minima Generale elaborata da Terna (CP 202201077) prevede che l’impianto eolico in progetto venga collegato in antenna a 150 kV sul futuro ampliamento della Stazione Elettrica a 380/150 kV della RTN denominata “Melfi”.

Il progetto prevede l’installazione dell’aerogeneratore di modello Siemens Gamesa SG170, di potenza nominale pari a 6,0 MW, altezza torre all’hub pari a 135 m e diametro rotorico pari a 170 m (**Figura 3.4**).

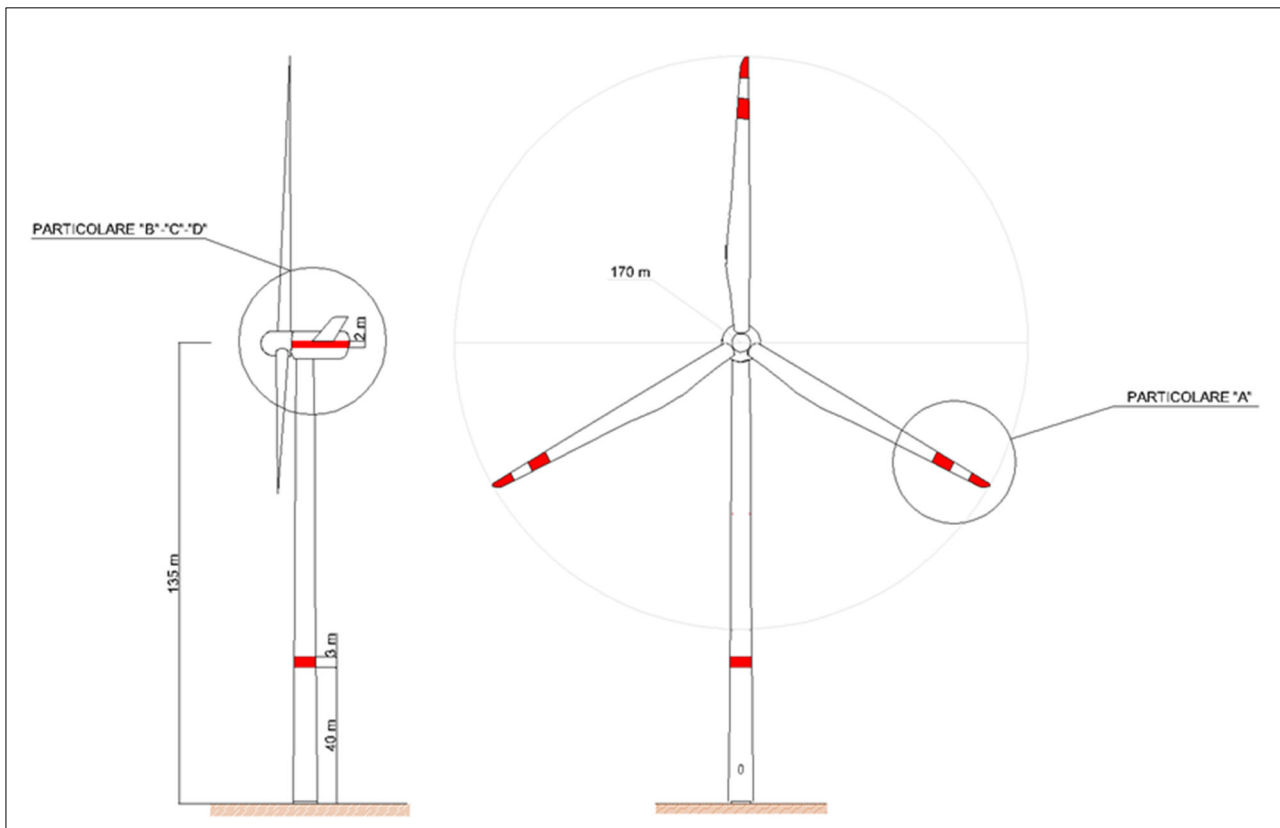


Figura 3.4: Profilo aerogeneratore SG170 di potenza 6,0 MW, HH = 135 m e D = 170 m

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

Figura 3.5: Specifiche tecniche aerogeneratore di progetto



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

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

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

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

Il Parco Eolico Melfi è caratterizzato da una potenza complessiva di 42 MW, ottenuta da 7 aerogeneratori di potenza pari a 6 MW ciascuno.

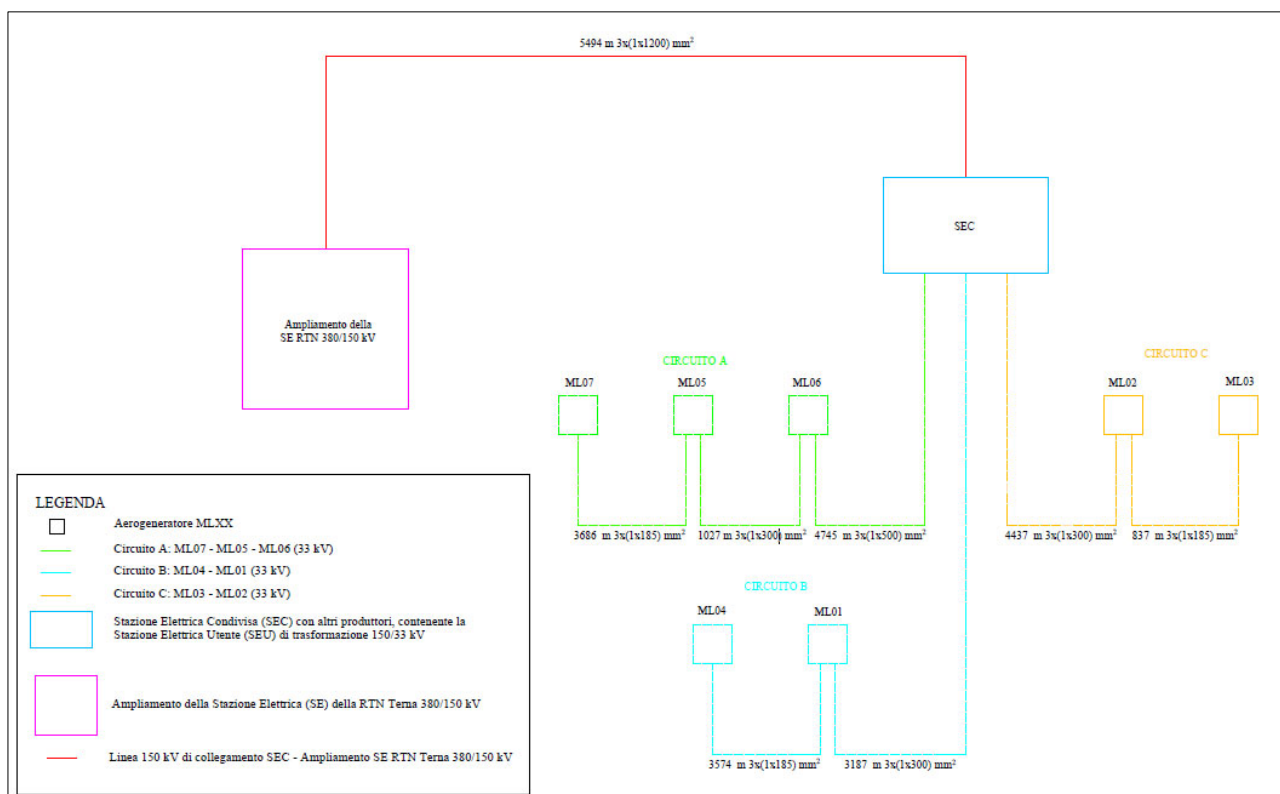
Gli aerogeneratori sono collegati elettricamente tra loro mediante terne di cavi a 33 kV in modo da formare 3 sottocampi (Circuiti A, B e C) di 2 e 3 WTG, a ciascuno dei quali è associato ad un colore diverso per chiarezza di rappresentazione.

Sottocampo o Circuito	Aerogeneratori	Potenza totale [MW]
<b>CIRCUITO A</b>	ML 07 – ML 05 – ML06	18,0
<b>CIRCUITO B</b>	ML 04 – ML 01	12,0
<b>CIRCUITO C</b>	ML 03 – ML 02	12,0

**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 "MLOE071 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 SEU 150/33 kV.



**Figura 4.1:** Schema a blocchi del Parco Eolico Melfi

Nel seguito è riportata uno stralcio della planimetria di distribuzione delle linee a 33 kV per i 3 circuiti e della linea a 150 kV, la lunghezza, la larghezza e la profondità di trincea per ogni sotto-tratta (il numero di terne di cavi di uno stesso circuito o il numero di circuiti presenti in ogni sotto-tratta è riportato nel seguito della trattazione) e il dettaglio relativo all'arrivo cavi all'edificio quadri della SEU 150/33 kV e alla partenza dei cavi a 150 kV verso l'ampliamento della SE della RTN Terna 380/150 kV.

Maggiori dettagli sono riportati negli elaborati di progetto "MLOE066 Planimetria sottocampi elettrici a 33 kV e linea a 150 kV su CTR (generale)", "MLOE067 Planimetria sottocampi elettrici a 33 kV e linea a 150 kV su CTR (per circuiti)", "MLOE068 Planimetria sottocampi elettrici a 33 kV e linea a 150 kV su ortofoto (generale)" e "MLOE069 Planimetria sottocampi elettrici a 33 kV e linea a 150 kV su ortofoto (per circuiti)".

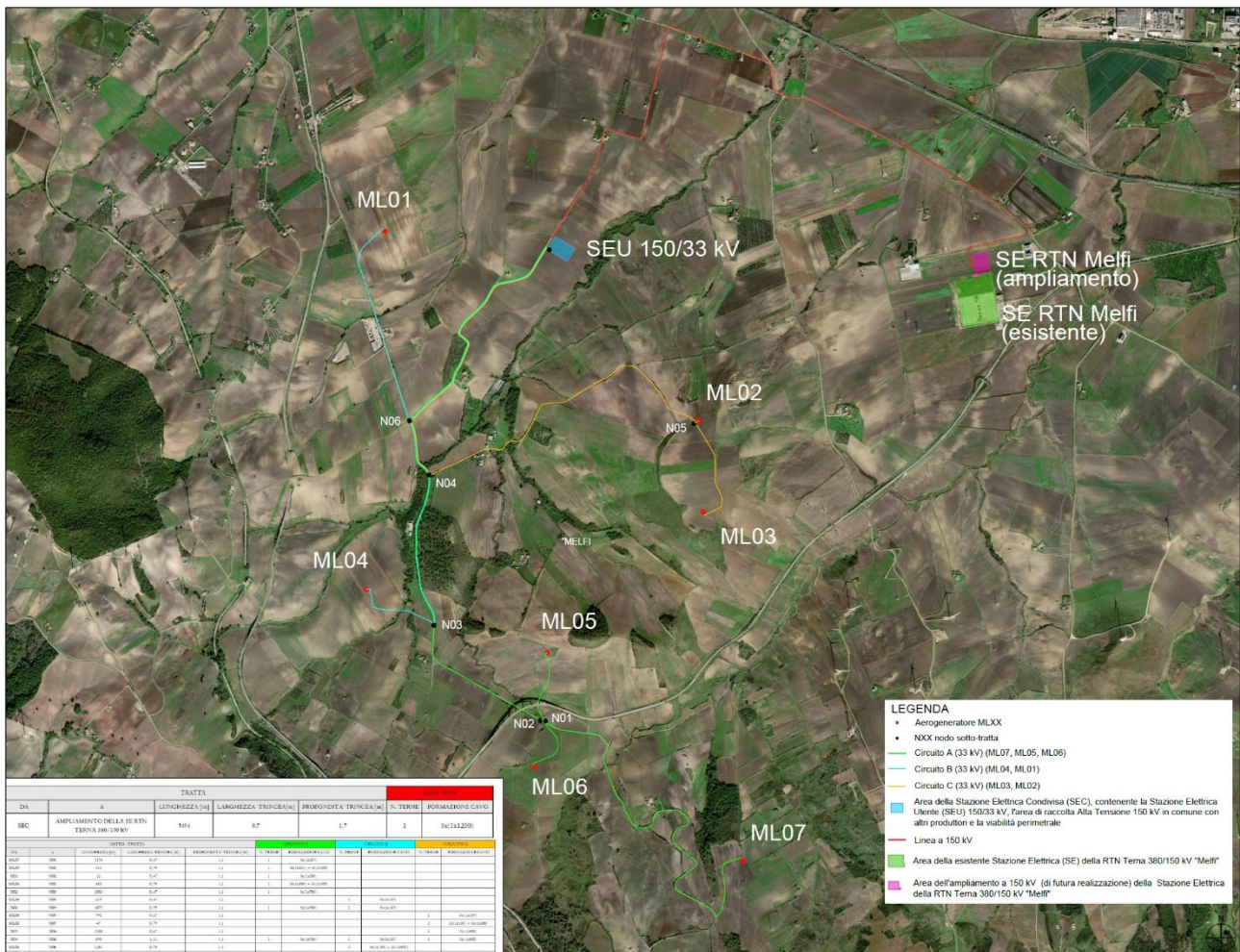
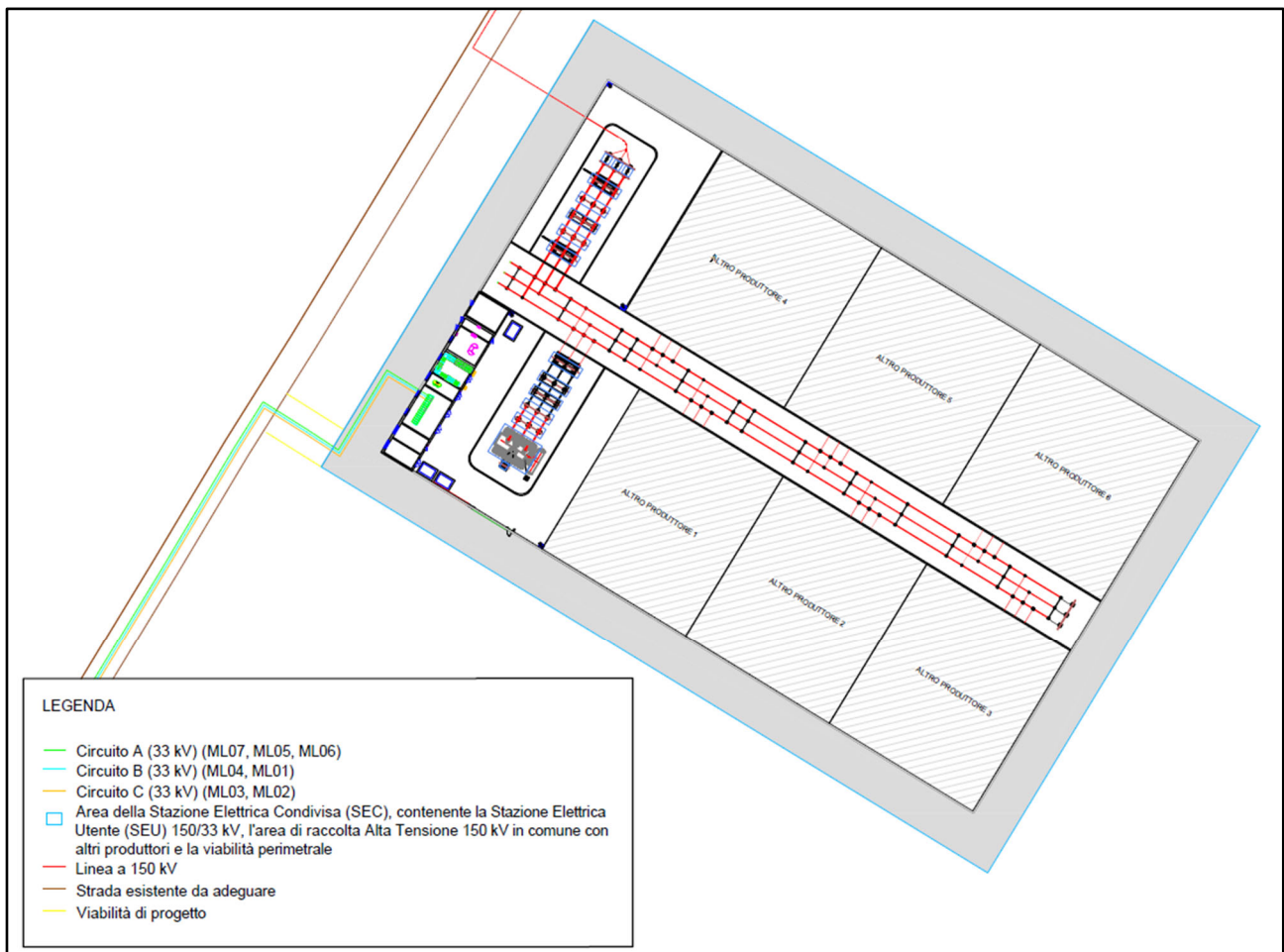


Figura 4.2: Planimetria generale di distribuzione delle linee a 33 kV e a 150 kV, SEU 150/33 kV, SE RTN Terna 380/150 kV e relativo ampliamento su ortofoto

SOTTO - TRATTA				
DA	A	LUNGHEZZA [m]	LARGHEZZA TRINCEA [m]	PROFONDITA' TRINCEA [m]
ML07	N01	3154	0,47	1,1
ML05	N01	532	0,79	1,1
N01	N02	12	0,47	1,1
ML06	N02	483	0,79	1,1
N02	N03	1083	0,47	1,1
ML04	N03	619	0,47	1,1
N03	N04	1075	0,79	1,1
ML03	N05	792	0,47	1,1
ML02	N05	45	0,79	1,1
N05	N04	2288	0,47	1,1
N04	N06	398	1,11	1,1
ML01	N06	1481	0,79	1,1
N06	SEU 150/33 kV	1705	1,11	1,1

Tabella 4.2: Lunghezza, larghezza e profondità di trincea delle sotto-tratte a 33 kV



**Figura 4.3:** Arrivo linee a 33 kV ai quadri a 33 kV della SEU 150/33 kV e partenza linee a 150 kV verso l'ampliamento della SE della RTN 380/150 kV (la distanza tra le terne di cavi in parallelo non è in scala)

## 5. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DELLE LINEE A 33 KV

### 5.1. Criterio di dimensionamento

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

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

dove:

- $I_b$  rappresenta la corrente di carico, ovvero l'intensità di corrente massima che scorre all'interno della linea di cavo;
- $I'_z$  rappresenta la portata di corrente effettiva del cavo e dipende dalla portata nominale del cavo stesso e dalle relative condizioni di posa lungo tutto il percorso;

- $\Delta V$  rappresenta la massima caduta di tensione per la linea di cavo ed è valutata in accordo con le modalità di posa dello stesso;
- $\Delta P$  rappresenta la perdita di potenza per ognuno dei sottocampi.

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

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

Il cavo impiegato per il collegamento di tutte le tratte in Media Tensione è il tipo ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG<sup>TM</sup> (o similari), a norma IEC 60502-2 e HD 620, del primario costruttore Prysmian.

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

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

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

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

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

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

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

- temperatura massima del conduttore pari a 90°C;
- temperatura aria ambiente di 30 °C;
- temperatura del terreno di 20°C;
- resistività termica del terreno pari a 1,5 K m/W;
- tensione nominale pari a 33 kV;

- frequenza pari a 50 Hz;
- profondità di posa di 1,00 m dal piano del suolo.

Nel seguito è rappresentato il dettaglio dei tipologici di posa, come anche riportato nell'elaborato di progetto "MLOE070 Sezioni tipiche delle trincee di cavidotto utente", nel quale le misure sono espresse in mm.

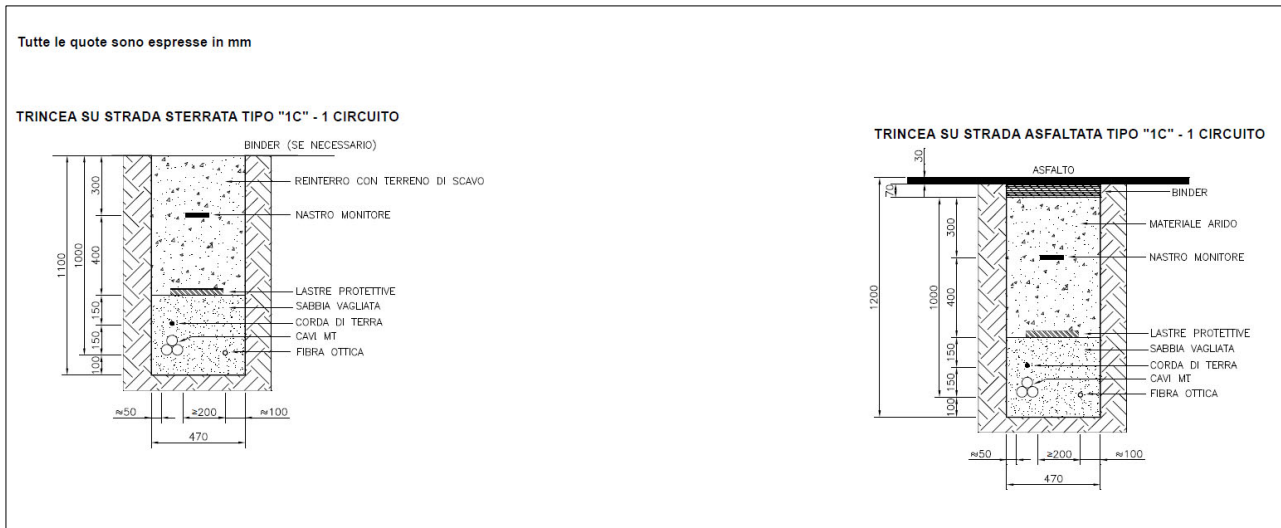


Figura 5.2.1: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per una terna di cavi su strada sterrata e asfaltata

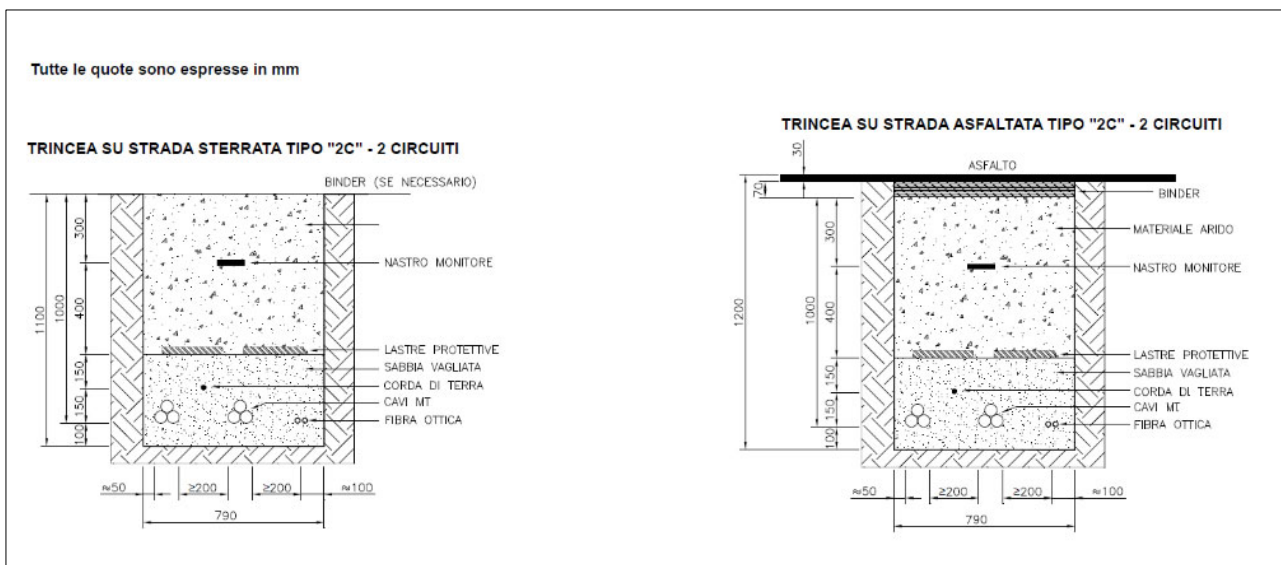
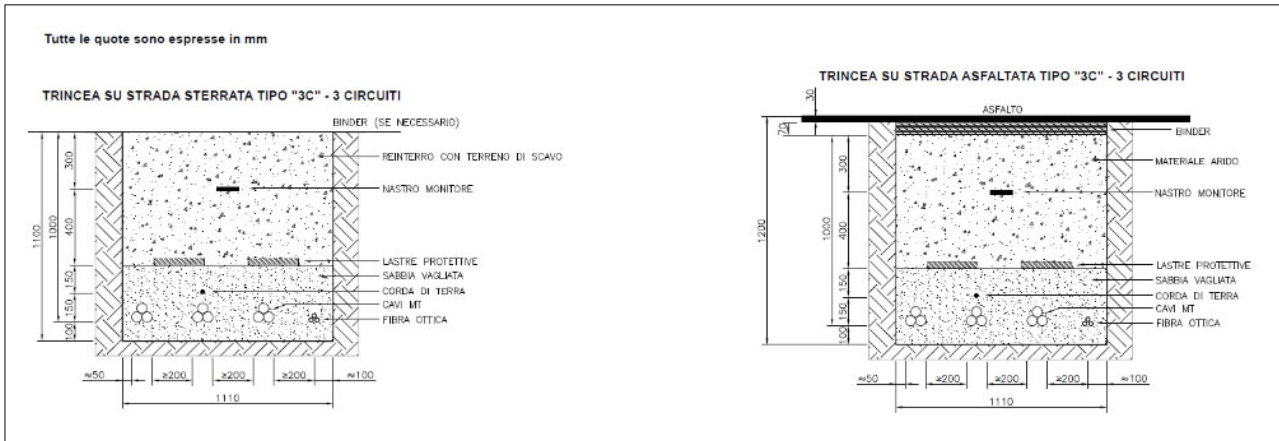
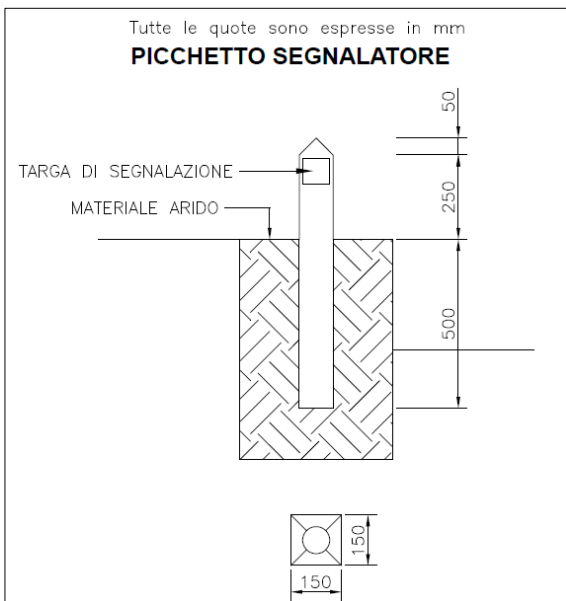


Figura 5.2.2: Sezioni tipiche delle trincee cavidotto per due terne di cavi in parallelo su strada sterrata e asfaltata



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

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 di Media Tensione utilizzati sono di 185 mm<sup>2</sup>, 300 mm<sup>2</sup> e 500 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	0,218	0,120	368
300	0,136	0,110	486
500	0,089	0,100	636

**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, 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 33 kV).
- $\cos \varphi$  rappresenta il fattore di potenza (nella presente relazione assunto pari a 0,9).

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

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

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

dove:

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

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

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

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

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

In corrispondenza della profondità di posa di 1,00 m si ottiene  $k_2 = 0,98$  oppure 0,97 a seconda che si consideri la sezione di  $185\text{ mm}^2$  oppure una delle sezioni di  $300\text{ mm}^2$  e  $500\text{ mm}^2$ .

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

Tenendo conto che il numero di terne di cavi a 33 kV esistenti in parallelo sullo stesso piano orizzontale può essere desunto dagli elaborati grafici “MLOE067 Planimetria sottocampi elettrici a 33 kV e linea a 150 kV su CTR (per circuiti)” e “MLOE069 Planimetria sottocampi elettrici a 33 kV e linea a 150 kV su ortofoto (per circuiti)”, nonché dalla **Tabella 5.4.2**, nel seguito riportata, i valori di  $k_4$  si ottengono dai valori della Tabella B.19 della Norma IEC 60502-2 e considerando una distanza di separazione delle terne adiacenti in parallelo sullo stesso piano orizzontale pari a 0,20 m.

SOTTO-TRATTA					CIRCUITO A		CIRCUITO B		CIRCUITO C	
DA	A	LUNGHEZZA [m]	LARGHEZZA TRINCEA [m]	PROFONDITA' TRINCEA [m]	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO	N. TERNE	FORMAZIONE CAVO
ML07	N01	3154	0,47	1,1	1	3x(1x185)				
ML05	N01	532	0,79	1,1	2	3x(1x185) + 3x(1x300)				
N01	N02	12	0,47	1,1	1	3x(1x300)				
ML06	N02	483	0,79	1,1	2	3x(1x300) + 3x(1x500)				
N02	N03	1083	0,47	1,1	1	3x(1x500)				
ML04	N03	619	0,47	1,1			1	3x(1x185)		
N03	N04	1075	0,79	1,1	1	3x(1x500)	1	3x(1x185)		
ML03	N05	792	0,47	1,1					1	3x(1x185)
ML02	N05	45	0,79	1,1					2	3x(1x185) + 3x(1x300)
N05	N04	2288	0,47	1,1					1	3x(1x300)
N04	N06	398	1,11	1,1	1	3x(1x500)	1	3x(1x185)	1	3x(1x300)
ML01	N06	1481	0,79	1,1			2	3x(1x185) + 3x(1x300)		
N06	SEU 150/33 kV	1705	1,11	1,1	1	3x(1x500)	1	3x(1x300)	1	3x(1x300)

**Tabella 5.4.2:** Singole sotto-tratte delle linee elettriche a 33 kV per i vari circuiti, numero di terne di cavi di uno stesso circuito o di circuiti diversi presenti in ognuna di esse

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

**Tabella 5.4.3:** Fattore di correzione  $k_4$

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

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

### 5.5. 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 longitudinali 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  $L$  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:

- $\rho$  rappresenta la resistività elettrica del conduttore [ $\Omega$  mm<sup>2</sup> / m];
- $L$  rappresenta la lunghezza della tratta di linea considerata [m];
- $S$  rappresenta la sezione del cavo del tratto di linea [mm<sup>2</sup>];
- $I_b$  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 33 kV.

LINEA	DA	A	L [m]	SEZIONE [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>b</sub> [A]	I <sub>z</sub> [A]	$\Delta V_r, \%$	$\Delta P_r, \%$
CIRCUITO A	ML 07	ML 05	3.686	185	116,6	299,3	0,56	
	ML 05	ML 06	1.027	300	233,3	391,3	0,21	
	ML 06	SEU 150/33 kV	4.745	500	349,9	450,3	1,08	
								SOMMA
							1,85	1,17
CIRCUITO B	ML 04	ML 01	3.574	185	116,6	263,3	0,54	
	ML 01	SEU 150/33 kV	3.187	300	233,3	344,1	0,67	
								SOMMA
							1,21	0,85
CIRCUITO C	ML 03	ML 02	837	185	116,6	299,3	0,13	
	ML 02	SEU 150/33 kV	4.437	300	233,3	344,1	0,93	
								SOMMA
							1,06	0,88

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

La scelta dei particolari cavi a 33 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. COLLEGAMENTO ELETTRICO A 150 KV

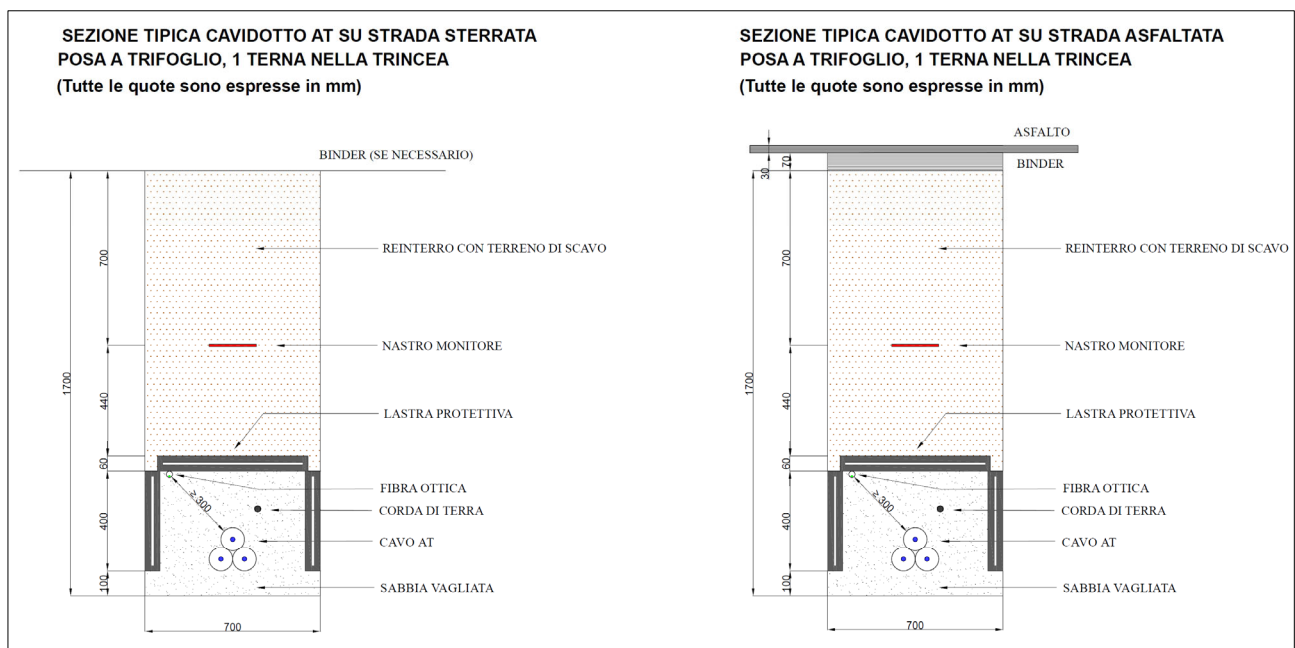
Il collegamento tra la Stazione Elettrica Condivisa e l'ampliamento della nuova Stazione Elettrica (SE) 380/150 kV della RTN, nel Comune di Melfi, è realizzato tramite una linea interrata a 150 kV di

lunghezza pari a 5.494 m ed è composta da una terna di cavi unipolari di sezione di 1200 mm<sup>2</sup>, con conduttore a corda rigida rotonda, compatta e tamponata di rame ricotto non stagnato, isolante costituito da uno strato di polietilene reticolato estruso insieme ai 2 strati semiconduttivi (tripla estrusione), schermo a fili di rame con sovrapposizione di una guaina in alluminio saldata longitudinalmente, una guaina esterna in PE qualità ST7 con rivestimento in grafite,  $U_0/U_n$  ( $U_{max}$ ) 87/150 (170) kV e portata nominale di 1200 A.

La terna di cavi a 150 kV è installata secondo una posa a trifoglio a 1,60 m dal piano del suolo e su un letto di sabbia di 0,1 m, è ricoperta da uno strato di sabbia di 0,4 m, mentre 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 a scavi da parte di terzi.

La terna di cavi in AT è distante sul piano orizzontale almeno 0,3 m dal cavo in fibra ottica, mentre nel letto di sabbia è previsto anche un cavo unipolare di protezione, così come rappresentato nel dettaglio dell'elaborato di progetto "MLOE092 Sezione tipica delle trincee di cavidotto AT" nella figura seguente.



**Figura 7.1:** Sezione tipica della terna di cavi AT su strada sterrata e asfaltata

Il dimensionamento dei cavi è stato effettuato in modo che la corrente di impiego  $I_b$  risulti inferiore alla portata effettiva del cavo stesso  $I_z$ , ottenuta a partire dalla portata nominale del cavo  $I_n$  e tenendo presente le condizioni di posa adottate, e considerando una potenza totale ipotetica di 250 MW (nel calcolo è stata assunta una temperatura del terreno di 20 °C, una profondità di posa dei cavi di 1,6 m, un valore di resistività termica del terreno di 1,5 K m/W e, per maggiore cautela, un fattore di potenza di 0,90).

LINEA	DA	A	L [m]	SEZIONE [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>b</sub> [A]	I' <sub>Z</sub> [A]	$\Delta V_{r,\%}$	$\Delta P_{r,\%TOT}$
Linea a 150 kV	SEC	Ampliamento della SE RTN Terna 380/150 kV	5.494	1200	1069,2	1164,0	0,387	0,057

**Tabella 7.1:** Calcolo del dimensionamento della linea elettrica a 150 kV

La scelta della sezione, della tipologia e delle condizioni di posa dei cavi presi in considerazione potrà eventualmente subire modifiche in fase di progettazione esecutiva, a seconda delle condizioni operative riscontrate (un valore di resistività termica del terreno lungo il tracciato previsto, ottenuto in seguito ad una misurazione, potrà eventualmente rendere il calcolo più accurato).

## 8. CONCLUSIONI

Come si evince dalla **Tabella 6.1**, la corrente di progetto lungo ogni linea elettrica a 33 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 33 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 MELFI					
CIRCUITO A	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tipologia cavo	Modello cavo	Costruttore
ML07 - ML05	3686	185	AL 3x(1x185)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG <sup>TM</sup>	Prysmian
ML05 - ML06	1027	300	AL 3x(1x300)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG <sup>TM</sup>	Prysmian
ML06 - SEU 150/33 kV	4745	500	AL 3x(1x500)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG <sup>TM</sup>	Prysmian
CIRCUITO B	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tipologia cavo	Modello cavo	Costruttore
ML04 - ML01	3574	185	AL 3x(1x185)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG <sup>TM</sup>	Prysmian
ML01 - SEU 150/33 kV	3187	300	AL 3x(1x300)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG <sup>TM</sup>	Prysmian
CIRCUITO C	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tipologia cavo	Modello cavo	Costruttore
ML03 - ML02	837	185	AL 3x(1x185)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG <sup>TM</sup>	Prysmian
ML02 - SEU 150/33 kV	4437	300	AL 3x(1x300)	ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG <sup>TM</sup>	Prysmian

**Tabella 8.1:** Lunghezze, sezioni e modello delle terne di cavi a 33 kV

La scelta della sezione dei cavi di collegamento a 150 kV tra la SEC e l'ampliamento della SE della RTN 380/150 kV risulta essere adeguata al trasporto della potenza richiesta in quanto le correnti di progetto risultano inferiori alle portate effettive con una contenuta caduta di tensione e perdita di potenza relativa percentuale.

La tabella seguente riporta in maniera sintetica la lunghezza, la sezione e il modello dei cavi che formano una terna preso in considerazione in questa fase progettuale per il collegamento a 150 kV.

PARCO BOLICO MELFI					
Linea 150 kV	Lunghezza tratta [m]	Sezione cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tipologia cavo	Modello cavo	Costruttore
SEC - ampliamento 150 kV della SE RTN 380/150 kV	5494	1200	Cu 3x(1x1200)	SE4H5E	Prysmian

**Tabella 8.2:** Lunghezze, sezioni e modello delle terne di cavi a 150 kV