

REGIONE MARCHE

Comune di Caldarola (MC)

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DELLA POTENZA DI 60,0 MW integrato con un sistema di accumulo della potenza di 20,0 MW e delle relative opere di connessione alla RTN sito nei comuni di Caldarola e Camerino (MC)

TITOLO

Relazione calcoli elettrici

| PROGETTAZIONE | PROPONENTE | |
|---|---|--|
|  SR International S.r.l. C.so Vittorio Emanuele II, 282-284 - 00186 Roma Tel. 06 8079555 - Fax 06 80693106 C.F e P.IVA 13457211004  |  Fred. Olsen Renewables Italy S.r.l. Viale Castro Pretorio, 122 - 00185 Roma C.F e P.IVA 15604711000 | |

| Revisione | Data | Elaborato | Verificato | Approvato | Descrizione |
|-----------|------------|-----------|------------|-----------------|---------------------------------|
| 01 | 15/12/2023 | Lauretti | Bartolazzi | F.O. Renewables | Emissione per integrazione MASE |
| 00 | 10/11/2022 | Lauretti | Bartolazzi | F.O. Renewables | |

N° DOCUMENTO

FLS-CLD-RCE

SCALA

FORMATO

A4

INDICE

| | |
|--|----|
| INDICE DELLE FIGURE..... | 2 |
| INDICE DELLE TABELLE | 2 |
| 1. PREMESSA | 3 |
| 2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO | 4 |
| 3. SCELTE PROGETTUALI | 5 |
| 4. DESCRIZIONE DEL PROGETTO..... | 6 |
| 5. CARATTERISTICHE DEI CAVIDOTTI INTERRATI IN MT | 9 |
| 5.1 GENERALITÀ | 9 |
| 5.2 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DEI CAVI..... | 12 |
| 6. MODALITA' DI POSA DEI CAVI..... | 20 |
| 7 STAZIONE UTENTE DI TRASFORMAZIONE MT/AT - 30/132 KV (SU) | 21 |
| 7 CAVIDOTTO IN AT | 22 |
| 7.1 CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CAVO IN AT | 22 |
| 7.2 DIMENSIONAMENTO DEL CAVO IN AT | 23 |
| 7.3 MODALITÀ DI POSA DEL CAVO IN AT | 25 |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|---|-----------|
| <i>Figura 1 - Schema circuitale di collegamento in MT del parco eolico.....</i> | <i>7</i> |
| <i>Figura 2 - Percorsi dei cavidotti tra i gruppi del parco con la cabina di raccolta.</i> | <i>7</i> |
| <i>Figura 3 - Sezione tipo del cavo in MT - 30kV - ARP1H5(AR)EX.....</i> | <i>10</i> |
| <i>Figura 4 - Sezione tipo del cavo in MT - 30kV - ARP1H5(AR)E.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Figura 5 - Sezione tipo del cavo in AT a 132 kV.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Figura 6 - Tipico di collegamento "cross bonding" per un cavo in AT</i> | <i>26</i> |
| <i>Figura 7 - Sezioni tipiche di scavo e di posa per il cavo in AT a 132 kV.....</i> | <i>27</i> |
| <i>Figura 8 - Distanze minime con altri cavi, tubazioni metalliche serbatoi e cisterne di carburante.....</i> | <i>28</i> |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|---|-----------|
| <i>Tabella 1 - Dimensione degli scavi in MT interni ed esterni al parco eolico</i> | <i>8</i> |
| <i>Tabella 2 - Risultati del dimensionamento dei cavi relativi al gruppo 1</i> | <i>15</i> |
| <i>Tabella 3 - Risultati del dimensionamento dei cavi relativi al gruppo 2</i> | <i>16</i> |
| <i>Tabella 4 - Risultati del dimensionamento dei cavi relativi al gruppo 3</i> | <i>17</i> |
| <i>Tabella 5 - Risultati del dimensionamento dei cavi relativi al gruppo 4</i> | <i>18</i> |
| <i>Tabella 6 - Risultati del dimensionamento dei cavi relativi al collegamento tra la cabina di raccolta e la stazione utente MT/AT</i> | <i>19</i> |
| <i>Tabella 7 - Lunghezze e sezioni dei cavi MT da utilizzare nel circuito elettrico del parco</i> | <i>20</i> |
| <i>Tabella 8 - Lunghezze e sezioni dei cavi MT da utilizzare nel circuito elettrico del parco</i> | <i>20</i> |
| <i>Tabella 9 - Risultati del dimensionamento dei cavi relativi al collegamento tra le stazioni elettriche in AT-132 kV.....</i> | <i>24</i> |
| <i>Tabella 10 - Specifiche tecniche del cavo in AT - 150 kV</i> | <i>25</i> |

1. PREMESSA

Il presente progetto ha come obiettivo la realizzazione di una centrale per la produzione di energia da fonte rinnovabile tramite l'impiego di tecnologia eolica. La realizzazione dell'opera prevede l'installazione di n.12 aerogeneratori, modello Vestas V150-6,0, della potenza unitaria di 6,0 MW depotenziati a 5,0 MW per una potenza totale di 60,0 MW. A questi, si aggiunge un sistema di accumulo di energia elettrica di capacità pari a 20,0 MW e delle opere di connessione alla nuova Stazione di Smistamento della RTN (SE) a 132 kV, da inserire in entra - esce alle linee a 132 kV RTN "Valcimarra - Camerino" e "Valcimarra - Cappuccini" esistenti, da potenziare. Tuttavia non si esclude la possibilità di ricorrere ad alcune varianti progettuali per incrementare la produttività dell'impianto, anche in funzione dei futuri sviluppi di mercato.

Soggetto responsabile del parco eolico, denominato "Energia Caldarola", è la società *Fred. Olsen Renewables Italy S.r.l.* che ha come attività principali lo sviluppo, la progettazione, l'installazione, la commercializzazione, la gestione e la vendita di energia elettrica generata da fonti rinnovabili. La società ha sede a Roma, in Viale Castro Pretorio n. 122 – CAP 00185, C.F. e P.IVA 15604711000.

SR International S.r.l. è una società di consulenza e progettazione operante nel settore delle fonti di energia rinnovabili, in particolare solare ed eolica. Per la realizzazione del progetto in esame essa funge da soggetto di riferimento per il supporto tecnico-progettuale.

L'impianto in progetto comporta un significativo contributivo alla produzione di energia rinnovabile; l'energia prodotta sarà immessa nella Rete di Trasmissione Nazionale di proprietà della società Terna S.p.A.

Per la realizzazione dell'impianto eolico è prevista l'esecuzione delle seguenti opere:

- cavidotti interrati in MT a 30 kV per la connessione tra i vari aerogeneratori e il collegamento degli stessi ai quadri MT della cabina di raccolta, ubicata nei pressi dell'impianto eolico;
- una cabina di raccolta (CR) dalla quale usciranno i cavi in MT interrati di collegamento con la stazione utente di trasformazione 132/30 kV, che attraverseranno i comuni di: Serrapetrona, Crispiero e Camerino (MC).
- una stazione utente di trasformazione 132/30 kV (SEU), completa di tutte le apparecchiature di comando, controllo e protezione, ricadente nel comune di Camerino (MC) in località "Arcofiato";
- un cavidotto interrato in AT a 132 kV, per la connessione tra la SEU e la nuova stazione elettrica di smistamento (SE) della RTN a 132 kV, da realizzare nell'area delle due stazioni;
- una stazione di smistamento (SE) da collegare in doppio entra esci con le linee elettriche aeree "Valcimarra-Camerino" e "Valcimarra-Cappuccini", comprensiva dei raccordi aerei, adiacente la SU, in località "Arcofiato" a Camerino.

Per la realizzazione dell'impianto di accumulo, sono previste le seguenti opere:

- n°14 Battery Container (BC), ognuno costituito da un banco batterie della potenza nominale di 1.428,6 kW da 5.760,0 MWh, per un'energia massima fornita pari a 80,64 MWh;
- n°7 Cabine di trasformazione-inverter o PCS ciascuna con potenza nominale di circa 3,450 MVA, composta da n.1 inverter, un trasformatore BT/MT 0,8/30, quadri BT ed MT;

- n°1 Auxiliary Container;
- n°1 Cabina di Raccolta Storage (CRS).

Ogni coppia di BC sarà collegata tramite cavidotti interrati in BT al rispettivo quadro d'ingresso dell'inverter, ubicato nella cabina PCS. Le cabine PCS saranno connesse tra di loro (suddivise in n.2 gruppi da n.4 e n.3 cabine rispettivamente) ed infine tramite due distinti percorsi di cavi in MT, con la Cabina di raccolta storage. Quest'ultima verrà collegata in antenna col quadro MT all'interno della SU.

Per il dimensionamento dei cavi e le caratteristiche tecniche dei componenti BESS, si rimanda alla relazione tecnica allegata FLS-CLD-RTS.

2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

- CEI 0-2: Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici;
- D.Lgs. 387/2003
- D.Lgs. 28/2011
- Regio Decreto 11 dicembre 1933, n. 1775 "Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici;
- Norma CEI 11-32: Impianti di produzione di energia elettrica collegati a reti di III categoria;
- Norma CEI 11-32; V1: Impianti di produzione eolica;
- 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 11-27 Lavori su impianti elettrici;
- Norma CEI EN 50110-1-2 Esercizio degli impianti elettrici;
- Norma CEI 11-1 Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata;
- Norma CEI 11-17 Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo;
- Norma CEI 11-20 Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria;
- Norma CEI 11-37: Guida per l'esecuzione degli impianti di terra nei sistemi utilizzatori di energia alimentati a tensione maggiore di 1 kV;
- Norma CEI 20-13 Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 a 30 kV;
- Norma CEI EN 60721-3-3 Classificazioni delle condizioni ambientali;
- Norma CEI EN 60721-3-4 Classificazioni delle condizioni ambientali;
- Norma CEI 64-8 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua;
- Norma CEI EN 62271-100 Interruttori a corrente alternata ad alta tensione;

- Norma CEI EN 62271-102 Sezionatori e sezionatori di terra a corrente alternata per alta tensione;
- Norma CEI 36-12 Caratteristiche degli isolatori portanti per interno ed esterno destinati a sistemi con tensioni nominali superiori a 1000 V;
- Norma CEI EN 60044-1 Trasformatori di corrente;
- Norma CEI EN 60044-2 Trasformatori di tensione induttivi;
- Norma CEI EN 60044-5 Trasformatori di tensione capacitivi;
- Norma CEI EN 60076-1 Trasformatori di potenza;
- Norma CEI EN 60137 Isolatori passanti per tensioni alternate superiori a 1 kV;
- Norma CEI EN 60099-4 Scaricatori ad ossido di zinco senza spinterometri per reti a corrente alternata;
- Norma CEI EN 60099-5 Scaricatori - Raccomandazioni per la scelta e l'applicazione;
- Norma CEI EN 60694 Prescrizioni comuni per l'apparecchiatura di manovra e di comando ad alta tensione;
- Norma CEI EN 60529 Gradi di protezione degli involucri (Codice IP);
- Norme CEI EN 61284 Linee aeree - Prescrizioni e prove per la morsetteria;
- Norma CEI EN 61400 Sistemi di generazione a turbina eolica;
- Norma CEI-UNEL 35027: Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV Portate di corrente in regime permanente - Posa in aria ed interrata;
- Guida Terna - Criteri di connessione degli impianti di produzione al sistema di difesa di Terna.

3. SCELTE PROGETTUALI

In generale, la disposizione degli aerogeneratori sul territorio è stata realizzata tenendo conto sia del rendimento delle singole macchine e sia dell'orografia del sito d'installazione, dall'esistenza o meno di viabilità o abitazioni, da zone vincolate o aree non idonee e da altri fattori legati all'impatto paesaggistico dell'impianto eolico sul territorio. Allo scopo di minimizzare le mutue interazioni tra gli aerogeneratori (e garantendo allo stesso tempo una buona produttività) le macchine sono state posizionate ad una distanza minima pari tre volte il diametro della circonferenza circonscritta dalle pale dell'aerogeneratore in direzione perpendicolare al vento.

Dal punto di vista elettrico, gli aerogeneratori del parco sono stati suddivisi in n.3 gruppi, considerando la distanza tra le macchine e dunque il minor percorso delle linee in cavo da installare, evitando sprechi di materiale ed ottimizzando la scelta delle sezioni dei cavi contenendone perdite di potenza e cadute di tensione. In ciascuno dei gruppi, le macchine sono state collegate tra di loro in "entra-esce" ed infine con la cabina di raccolta, ubicata a sud dell'area d'impianto. La cabina, dopo aver raccolto le linee MT di interconnessione del parco eolico, trasmetterà l'energia elettrica prodotta dalle

macchine fino alla stazione utente di trasformazione MT/AT, attraverso un cavidotto interrato in MT a 30 kV.

In fase esecutiva i percorsi dei cavidotti di raccordo tra:

- gli aerogeneratori;
- gli aerogeneratori e la cabina di raccolta;
- la cabina di raccolta con la stazione utente;
- la stazione utente con la stazione RTN (in AT);

saranno verificati e definiti in modo da:

- evitare interferenze con strutture e parti di altri impianti;
- evitare effetti di qualunque genere;
- evitare curvature inutili e percorsi tortuosi;
- assicurare una facile posa nelle condutture;
- effettuare una posa ordinata e ripristinare la condizione ante-operam.

4. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Nel progetto elettrico, ciascun gruppo di aerogeneratori sarà collegato ai quadri MT a 30 kV della CR, mediante un proprio cavidotto il cui cavo trasporterà l'energia elettrica generata dal proprio gruppo di turbine.

La scelta delle linee elettriche ha avuto come principio base la minor distanza di collegamento possibile e la migliore condizione di posa dei cavi.

Di seguito in figura 1 è riportato lo schema circuitale con la suddivisione in gruppi di aerogeneratori del parco mentre, nella figura 2 successiva, vengono mostrati i percorsi dei collegamenti elettrici in MT tra le turbine del parco, indicando il numero di cavi per scavo:

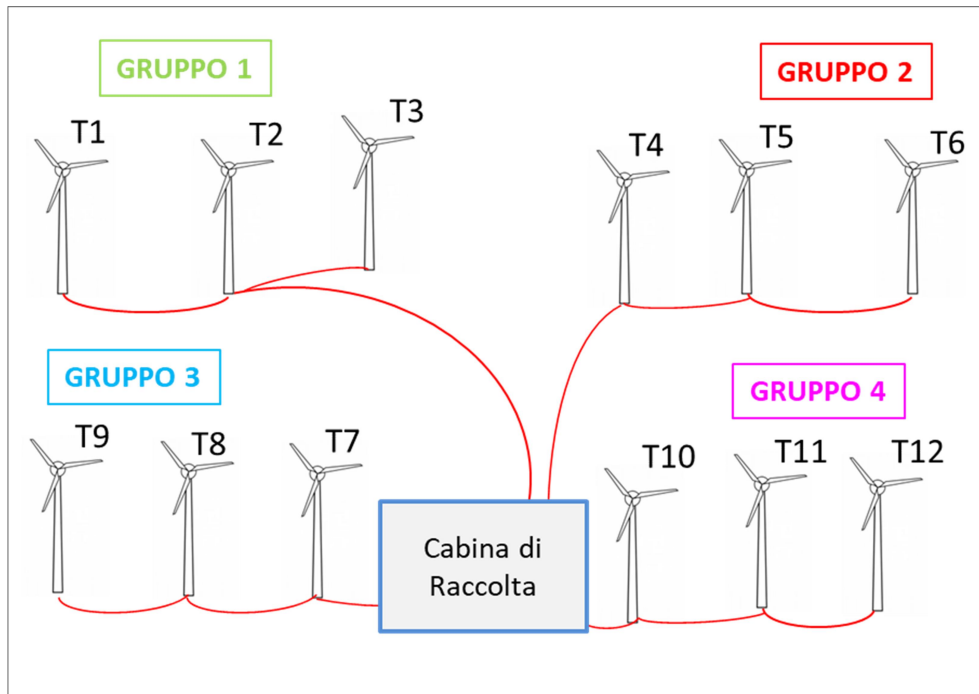


Figura 1 - Schema circuitale di collegamento in MT del parco eolico

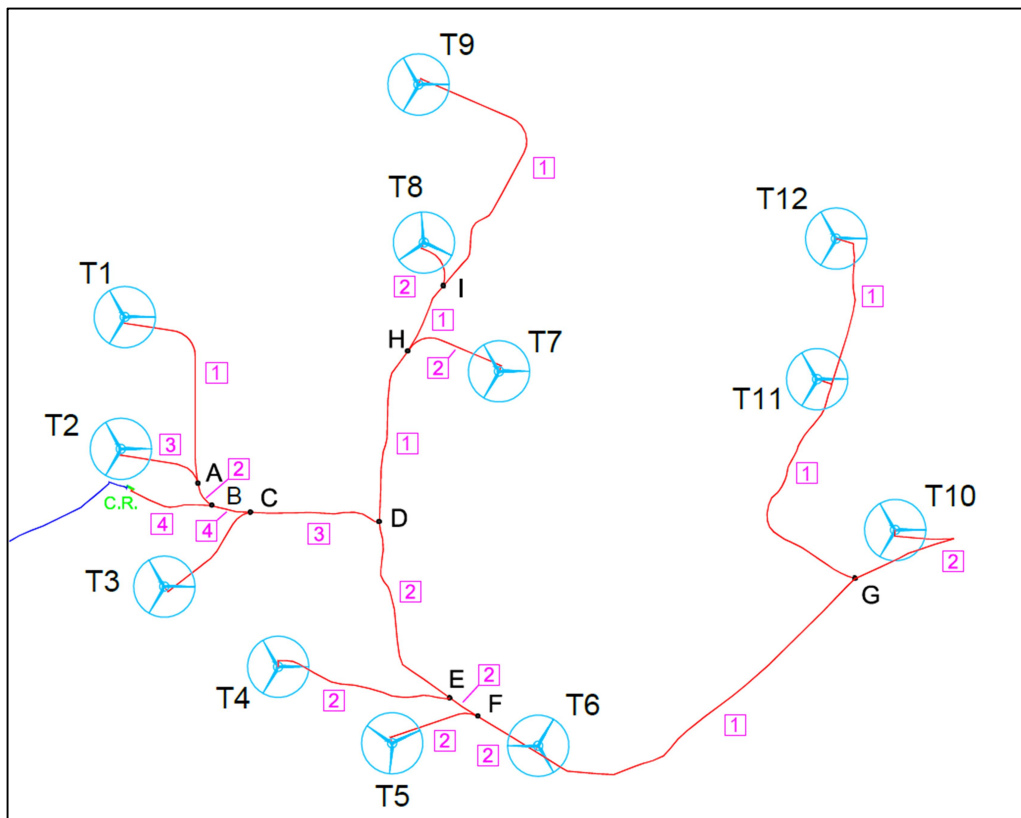


Figura 2 - Percorsi dei cavidotti tra i gruppi del parco con la cabina di raccolta.

Le lunghezze dei tratti di collegamento in MT sono riportate nella tabella 1 successiva, in cui viene anche mostrato **sia la dimensione dello scavo che la sezione ed il numero di cavi alloggiati per tutte le tratte:**

| Tratti di scavo del cavidotto in MT | SCAVI | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-------------------|----------------------------------|
| | Lunghezza [m] | Larghezza [m] | Profondità [m] | Volume [mc] | N° cavi per scavo | Sezioni dei cavi [mmq] |
| T1-A | 615 | 0,6 | 1,2 | 442,8 | 1 | 3x95 |
| A-T2 | 260 | 0,7 | 1,2 | 218,4 | 3 | 3x95 3x95 3x400 |
| A-B | 75 | 0,6 | 1,2 | 54 | 2 | 3x95 3x400 |
| B-CR | 240 | 0,9 | 1,2 | 259,2 | 4 | 3x400 3x400 3x400 3x400 |
| B-C | 110 | 0,9 | 1,2 | 118,8 | 4 | 3x95 3x400 3x400 3x400 |
| C-T3 | 240 | 0,6 | 1,2 | 172,8 | 1 | 3x95 |
| C-D | 365 | 0,7 | 1,2 | 306,6 | 3 | 3x400 3x400 3x400 |
| D-E | 570 | 0,6 | 1,2 | 410,4 | 2 | 3x400 3x400 |
| T4-E | 515 | 0,6 | 1,2 | 370,8 | 2 | 3x240 3x400 |
| E-F | 100 | 0,6 | 1,2 | 72 | 2 | 3x240 3x400 |
| T5-F | 280 | 0,6 | 1,2 | 201,6 | 2 | 3x95 3x240 |
| F-T6 | 190 | 0,6 | 1,2 | 136,8 | 2 | 3x95 3x400 |
| T6-G | 1110 | 0,6 | 1,2 | 799,2 | 1 | 3x400 |
| G-T10 | 477 | 0,6 | 1,2 | 343,44 | 2 | 3x240 3x400 |
| G-T11 | 770 | 0,6 | 1,2 | 554,4 | 1 | 3x240 |
| T11-T12 | 450 | 0,6 | 1,2 | 324 | 1 | 3x95 |
| D-H | 490 | 0,6 | 1,2 | 352,8 | 1 | 3x400 |
| T7-H | 300 | 0,6 | 1,2 | 216 | 2 | 3x240 3x400 |
| H-I | 210 | 0,6 | 1,2 | 151,2 | 1 | 3x240 |
| I-T8 | 155 | 0,6 | 1,2 | 111,6 | 2 | 3x95 3x240 |
| I-T9 | 850 | 0,6 | 1,2 | 612 | 1 | 3x95 |
| CR-SEU | 9100 | 0,9 | 1,2 | 9828 | 4 | 4x(3x1x500) |
| TOTALE SCAVI: | 17472 | | | 16056,84 | | |

Tabella 1 – Dimensione degli scavi in MT interni ed esterni al parco eolico

5. CARATTERISTICHE DEI CAVIDOTTI INTERRATI IN MT

5.1 GENERALITÀ

I collegamenti elettrici saranno tutti realizzati con cavi direttamente interrati tranne nei casi in cui sia necessaria una maggiore protezione meccanica, realizzata con tubazione in PVC, a sua volta rinfiancata con sabbia (o inerte prescritto). Lo scavo sarà infine riempito con materiale inerte, geomix e binder, in corrispondenza del tipo di strada attraversata. I cavi utilizzati nel progetto per le connessioni elettriche, si distinguono in unipolari, tripolari a elica visibile (a campo radiale) e tripolari cinturati (a campo non radiale).

Nel seguente progetto, i cavi in MT cui si prevede l'utilizzo sono del tipo:

- ARP1H5(AR)EX, cordati tripolari ad elica visibile per sezioni calcolate comprese tra 95 fino a 240 mmq, direttamente interrati nello scavo con protezione meccanica in materiale polimerico (air bag);
- ARP1H5(AR)E unipolari e disposti a trifoglio, aventi sezioni nominali pari a 400 mmq e 500 mmq, del tipo air bag.

Di seguito le caratteristiche costruttive e tecniche delle due tipologie di cavo adottate nella progettazione:

Cavo ARP1H5(AR)EX:

| MEDIA TENSIONE - APPLICAZIONI TERRESTRI E/O EOLICHE / MEDIUM VOLTAGE - GROUND AND/OR WIND FARM APPLICATION | |
|---|--|
| ARP1H5(AR)EX <i>P-Laser</i> AIR BAG™ CABLE SYSTEM | |
|  | |
| Elica visibile 12/20 kV e 18/30 kV <i>Triplex 12/20 kV and 18/30 kV</i> | |
| Norma di riferimento HD 620/IEC 60502-2 | Standard HD 620/IEC 60502-2 |
| Descrizione del cavo Anima Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio Semiconduttivo interno Mescola estrusa Isolante Mescola in elastomero termoplastico (qualità HPTE) Semiconduttivo esterno Mescola estrusa Rivestimento protettivo Nastro semiconduttore igroespandente Schermatura Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale (Rmax 3Ω/Km) Protezione meccanica Materiale Polimerico (Air Bag) Guaina Polietilene: colore rosso (qualità DMP 2) | Cable design Core <i>Compact stranded aluminium conductor</i> Inner semi-conducting layer <i>Extruded compound</i> Insulation <i>Thermoplastic elastomer compound (type HPTE)</i> Outer semi-conducting layer <i>Extruded compound</i> Protective layer <i>Semiconductive watertight tape</i> Screen <i>Aluminium tape longitudinally applied</i> (Rmax 3Ω/Km) Mechanical protection <i>Polymeric material (Air Bag)</i> Sheath <i>Polyethylene: red colour (DMP 2 type)</i> |

| sezione nominale | diametro conduttore | diametro sull'isolante | diametro esterno nominale | peso del cavo | raggio minimo di curvatura | sezione nominale | posa in aria | posa interrata |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <i>conductor cross-section</i> | <i>conductor diameter</i> | <i>diameter over insulation</i> | <i>nominal outer diameter</i> | <i>weight</i> | <i>minimum bending radius</i> | <i>conductor cross-section</i> | <i>open air installation</i> | <i>underground installation</i> |
| (mm ²) | (mm) | (mm) | (mm) | (kg/km) | (mm) | (mm ²) | (A) | (A) |
| 50 | 8,2 | 24,8 | 38 | 3180 | 800 | 50 | 194 | 173 |
| 70 | 9,7 | 25,1 | 38 | 3340 | 800 | 70 | 240 | 212 |
| 95 | 11,4 | 26,0 | 39 | 3610 | 820 | 95 | 293 | 254 |
| 120 | 12,9 | 26,9 | 40 | 3900 | 840 | 120 | 338 | 290 |
| 150 | 14,0 | 27,6 | 41 | 4180 | 870 | 150 | 382 | 325 |
| 185 | 15,8 | 29,0 | 42 | 4620 | 890 | 185 | 439 | 369 |
| 240 | 18,2 | 31,4 | 45 | 5380 | 950 | 240 | 519 | 429 |
| 300 | 20,8 | 34,6 | 49 | 6500 | 1030 | 300 | 599 | 486 |

Figura 3 – Sezione tipo del cavo in MT - 30kV – ARP1H5(AR)EX

Cavo ARP1H5(AR)E:

MEDIA TENSIONE - APPLICAZIONI TERRESTRI E/O EOLICHE / MEDIUM VOLTAGE - GROUND AND/OR WIND FARM APPLICATION

ARP1H5(AR)E *P-LASER* **AIR BAG™**
CABLE SYSTEM



Unipolare 12/20 kV e 18/30 kV
Single core 12/20 kV and 18/30 kV

| | |
|---|---|
| Norma di riferimento HD 620/IEC 60502-2 | Standard HD 620/IEC 60502-2 |
| Descrizione del cavo | Cable design |
| Anima Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio | Core Compact stranded aluminium conductor |
| Semiconduttivo interno Mescola estrusa | Inner semi-conducting layer Extruded compound |
| Isolante Mescola in elastomero termoplastico (qualità HPTE) | Insulation Thermoplastic elastomer compound (type HPTE) |
| Semiconduttivo esterno Mescola estrusa | Outer semi-conducting layer Extruded compound |
| Rivestimento protettivo Nastro semiconduttore igroespandente | Protective layer Semiconductive watertight tape |
| Schermatura Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale (Rmax 3Ω/Km) | Screen Aluminium tape longitudinally applied (Rmax 3Ω/Km) |
| Protezione meccanica Materiale Polimerico (Air Bag) | Mechanical protection Polymeric material (Air Bag) |
| Guaina Polietilene: colore rosso (qualità DMP 2) | Sheath Polyethylene: red colour (DMP 2 type) |

| sezione nominale | diametro conduttore | diametro sull'isolante | diametro esterno nominale | peso del cavo | raggio minimo di curvatura | sezione nominale | posa in aria a trifoglio | posa interrata a trifoglio p=1 °C m/W | p=2 °C m/W |
|-------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|---|------------|
| conductor cross-section | conductor diameter | diameter over insulation | nominal outer diameter | weight | minimum bending radius | conductor cross-section | open air installation trefoil | underground installation trefoil p=1 °C m/W | p=2 °C m/W |
| (mm ²) | (mm) | (mm) | (mm) | (kg/km) | (mm) | (mm ²) | (A) | (A) | (A) |
| 50 | 8,2 | 24,8 | 38 | 1060 | 540 | 50 | 195 | 173 | 129 |
| 70 | 9,7 | 25,1 | 38 | 1110 | 550 | 70 | 242 | 212 | 158 |
| 95 | 11,4 | 26,0 | 39 | 1200 | 560 | 95 | 293 | 254 | 190 |
| 120 | 12,9 | 26,9 | 40 | 1300 | 580 | 120 | 339 | 290 | 217 |
| 150 | 14,0 | 27,6 | 41 | 1390 | 580 | 150 | 382 | 324 | 242 |
| 185 | 15,8 | 29,0 | 42 | 1540 | 610 | 185 | 439 | 368 | 275 |
| 240 | 18,2 | 31,4 | 45 | 1790 | 630 | 240 | 519 | 428 | 320 |
| 300 | 20,8 | 34,6 | 49 | 2160 | 690 | 300 | 599 | 486 | 363 |
| 400 | 23,8 | 37,8 | 53 | 2570 | 750 | 400 | 700 | 557 | 416 |
| 500 | 26,7 | 40,9 | 56 | 3020 | 790 | 500 | 812 | 636 | 475 |
| 630 | 30,5 | 45,5 | 61 | 3640 | 860 | 630 | 943 | 725 | 541 |

Figura 4 – Sezione tipo del cavo in MT - 30kV – ARP1H5(AR)E

Questo tipo di cavo possiede un sistema di protezione, situato al di sotto della guaina esterna, che garantisce una elevata protezione meccanica, assorbendo gli urti e riducendo il rischio di deformazioni o danneggiamenti degli strati sensibili sottostanti, come l'isolante o lo schermo metallico. Questo sistema fa sì che il cavo possa essere posato direttamente nel terreno senza l'utilizzo di una protezione meccanica esterna.

Si sottolinea che in fase esecutiva, soprattutto in riferimento alla situazione di mercato al momento dell'acquisto dei componenti, potrà essere scelta una diversa tipologia di cavi elettrici. Tale sostituzione avverrà con componenti di pari prestazioni.

5.2 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DEI CAVI

Per il calcolo della sezione dei cavi bisogna tener conto sia delle perdite di potenza che delle cadute di tensione sulle linee elettriche dell'impianto, per i seguenti collegamenti tra:

- *gli aerogeneratori appartenenti nello stesso gruppo tra di loro;*
- *l'ultimo aerogeneratore di ogni gruppo con la cabina di raccolta;*
- *la cabina di raccolta con la stazione utente di trasformazione.*

La sezione dei cavi di ciascun tratto di linea sarà determinata in modo da minimizzare le perdite di potenza per effetto joule ed essere adeguata ai carichi da trasportare nelle condizioni di massima produzione di tutti gli aerogeneratori. Bisogna fare in modo cioè, che il sistema eolico abbia un rendimento massimo e che la temperatura del conduttore del cavo in esame non superi mai una soglia limite, garantendo altresì il giusto valore di tensione per tutti i dispositivi dell'impianto, fino al punto di consegna dell'energia elettrica.

Si possono utilizzare due metodi di calcolo (di seguito descritti) e, una volta determinata la sezione commerciale del cavo, si effettuerà poi una verifica utilizzando l'altro metodo di calcolo:

- Metodo della massima caduta di tensione (c.d.t.) ammissibile

Il calcolo della sezione del cavo viene effettuato considerando accettabile una caduta di tensione non superiore ad un certo valore fissato, nel nostro caso pari al 4% della V_n , considerando l'intero impianto eolico dagli aerogeneratori fino alla SU. In questo caso la formula da utilizzare per il calcolo della sezione del cavo è la seguente:

$$S = \frac{k \cdot \rho \cdot l \cdot I_b}{\Delta V}$$

dove: k è una costante che tiene conto del tipo di sistema elettrico, l è la lunghezza della linea [m], I_b l'intensità della corrente d'impiego [A], ΔV la caduta di tensione e ρ è la resistività del materiale conduttore (alluminio nel nostro caso). Per il metodo della caduta di tensione, dunque, si definisce inizialmente un valore di caduta di tensione ammissibile e si calcola la sezione relativa del cavo, scegliendo quella commerciale immediatamente superiore al valore della sezione risultante dal calcolo effettuato. Sarà inoltre necessario riportare la sezione del cavo selezionato alla caduta di tensione effettiva: se è superiore a quella ammessa, infatti, occorre aumentare ulteriormente la sezione del cavo da installare.

- Metodo del bilancio termico

Ogni conduttore percorso da corrente tende a scaldarsi per effetto Joule fino a raggiungere una temperatura massima, detta temperatura di regime. Questa viene

raggiunta quando la potenza che si genera per effetto Joule uguaglia quella che si dissipa nell'ambiente circostante. Per il dimensionamento dei cavi elettrici cilindrici, si può utilizzare la seguente formula:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho \cdot I^2 \cdot 10^3}{\pi^2 \cdot \lambda \cdot \Delta T}} \quad [mm]$$

dove: ρ è la resistività del materiale conduttore, ΔT è la differenza di temperatura tra il conduttore e l'ambiente esterno, I è l'intensità di corrente d'impiego che circola sul cavo, λ è il coefficiente di conducibilità termica dell'ambiente. Il diametro del cavo elettrico dunque è funzione dell'intensità di corrente, della temperatura massima che non si vuole superare e del tipo di materiale utilizzato. Gli altri valori sono delle costanti che si trovano sui manuali dei cavi elettrici. Una volta effettuato questo calcolo, bisognerà approssimare per eccesso al valore più vicino dei diametri disponibili dei cavi in commercio. Per quanto riguarda il metodo della portata è necessario conoscere la corrente effettivamente circolante sulla linea e metterla in relazione, attraverso le tabelle di riferimento, con la tipologia di cavo da utilizzare.

La portata dei cavi in regime permanente sarà determinata utilizzando la seguente formula:

$$I_z = I_0 \times K1 \times K2 \times K3$$

Dove con I_0 si indica la portata dei conduttori isolati in gomma E4, unipolari direttamente interrati, calcolata in base alla norma IEC 60287 per le seguenti condizioni:

- Temperatura del terreno: 20 [°C];
- Posa del cavo ad 1 [m] di profondità;
- Resistività termica del terreno : 1 [KmW];
- Schermi metallici collegati fra loro e messi a terra ad entrambe le estremità;

si indica con:

- K1 = coefficiente che tiene conto della temperatura ambiente per la posa del cavo (in terra o su canalette metalliche);
- K2= coefficiente che tiene conto della profondità di posa;
- K3= coefficiente che tiene conto delle condizioni di posa (più cavi o tubi affiancati).

I coefficienti relativi a K1, K2 e K3 possono essere ricavati dal catalogo del costruttore dei cavi elettrici, tratti dalla tabella CEI UNEL 35027.

Infine, per la scelta delle caratteristiche delle apparecchiature elettriche e dei cavi, bisogna anche determinare (sulla rete precedentemente modellata con i cavi che rispettano tutti i vincoli imposti) il valore della corrente di corto circuito, seguendo le

indicazioni contenute nella norma IEC 60909 (equivalente alla norma CEI 11-25), verificando se tutti i cavi precedentemente scelti, sono in grado di sostenere la corrente presunta di corto circuito per un secondo. Se si verifica che una data linea non è in grado di sostenere il corto circuito, si maggiora la sezione e si procede di nuovo alla verifica, il tutto fino a quando i risultati sono coerenti.

In funzione del numero di turbine collegate a monte del tratto è stato calcolato il valore di corrente massima transitante sul cavo di connessione.

Il criterio utilizzato per determinare la sezione dei conduttori in MT è quello della massima caduta di tensione ammissibile. Dopo aver scelto la sezione commerciale del cavo, è stata effettuata la verifica con il criterio termico, con la condizione che la massima densità di corrente (e quindi la massima sovratemperatura rispetto all'ambiente circostante) non superasse determinati valori di sicurezza. In base ai valori limiti delle portate di corrente (I_z) stabiliti dai costruttori dei cavi nelle varie condizioni di posa, quest'ultimi devono essere superiori alle correnti di impiego (I_b) calcolate in ogni tratto che compone il circuito elettrico:

$$I_b < I_z$$

Nel calcolo delle sezioni dei cavi si è tenuto conto anche del criterio economico, al fine di minimizzare il volume dei conduttori e quindi delle diverse sezioni delle linee.

Il valore della c.d.t.% massima fissata a partire dalla cabina di raccolta fino all'aerogeneratore più lontano di ogni gruppo è pari all'1% della tensione di esercizio del sistema. Mentre relativo invece al tratto tra la CR e la SU, è stato assunto massimo pari al 3% della tensione nominale del sistema.

La formula che permette il calcolo della caduta di tensione percentuale dei collegamenti è la seguente:

$$cdt\% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_b \cdot L \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)}{V_n} \cdot 100$$

con:

- V_n , la tensione di esercizio [V];
- R_1 , la resistenza [Ω];
- X_1 , la reattanza induttiva per unità di lunghezza;
- L , la lunghezza del collegamento;
- I_b , la corrente del cavo;
- $\cos \varphi$, il fattore di potenza.

Il dimensionamento dei cavi sarà eseguito affinché essi siano percorsi da una corrente tale da assicurare una durata di vita soddisfacente dei conduttori e degli isolamenti, sottoposti agli effetti termici dovuti al passaggio della corrente elettrica per periodi prolungati ed in condizioni ordinarie di esercizio. Inoltre, la sezione scelta del conduttore deve essere tale da garantire che in ogni punto del sistema non venga superata la

massima caduta di tensione consentita ed assicurare così una perdita di potenza contenuta.

Di seguito i calcoli del dimensionamento dei cavi elettrici in MT a 30 kV del circuito eolico, riportati in forma tabellare:

- **GRUPPO 1**

| DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DEI CAVI - GRUPPO 1 | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| Collegamento | Tra la Turbina T1 e la Turbina T2 | Tra la Turbina T3 e la Turbina T2 | Tra la Turbina T2 e la Cabina di Raccolta CR |
| Lunghezza cavo (m) | 905 | 715 | 605 |
| Intensità di corrente (A) | 106,9 | 106,9 | 320,8 |
| Conduttori per fase | 1 | 1 | 1 |
| Temp. Terreno (°C) | 25 | 25 | 25 |
| Coefficiente di correz. | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| Resistività termica 1,0 [Km/W] | 1 | 1 | 1 |
| Cavi unipolari-posa trifoglio | 3 | 3 | 3 |
| Profondità di posa (m) | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Coefficiente di correz. | 0,98 | 0,98 | 0,98 |
| N. cavi per scavo | 3 | 4 | 4 |
| Coeffic. per n° di strati | 0,74 | 0,67 | 0,67 |
| Coefficiente totale | 0,70 | 0,63 | 0,63 |
| Sezione (mm ²) | 95 | 95 | 400 |
| Portata ammissibile (A) | 184 | 167 | 351 |
| $\Delta V\%$ per ogni tratto | 0,24 | 0,19 | 0,16 |
| $\Delta V\%$ accumulata | 0,24 | 0,43 | 0,59 |
| ΔP per ogni tratto (kW) | 12,9 | 10,2 | 20,4 |

Tabella 2 – Risultati del dimensionamento dei cavi relativi al gruppo 1

- **GRUPPO 2**

| DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DEI CAVI - GRUPPO 2 | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| Collegamento | Tra la Turbina T6 e la Turbina T5 | Tra la Turbina T5 e la Turbina T4 | Tra la Turbina T4 e la Cabina di Raccolta CR |
| Lunghezza cavo (m) | 500 | 925 | 1830 |
| Intensità di corrente (A) | 106,9 | 213,8 | 320,8 |
| Conduttori per fase | 1 | 1 | 1 |
| Temp. Terreno (°C) | 25 | 25 | 25 |
| Coefficiente di correz. | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| Resistività termica 1,0 [Km/W] | 1 | 1 | 1 |
| Cavi unipolari-posa trifoglio | 3 | 3 | 3 |
| Profondità di posa (m) | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Coefficiente di correz. | 0,98 | 0,98 | 0,98 |
| N. cavi per scavo | 2 | 2 | 4 |
| Coeffic. per n° di strati | 0,84 | 0,84 | 0,67 |
| Coefficiente totale | 0,79 | 0,79 | 0,63 |
| Sezione (mm ²) | 95 | 240 | 400 |
| Portata ammissibile (A) | 209 | 353 | 351 |
| $\Delta V\%$ per ogni tratto | 0,13 | 0,23 | 0,49 |
| $\Delta V\%$ accumulata | 0,13 | 0,36 | 0,85 |
| ΔP per ogni tratto (kW) | 7,1 | 21,3 | 61,6 |

Tabella 3 – Risultati del dimensionamento dei cavi relativi al gruppo 2

- GRUPPO 3

| DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DEI CAVI - GRUPPO 3 | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| Collegamento | Tra la Turbina T9 e la Turbina T8 | Tra la Turbina T8 e la Turbina T7 | Tra la Turbina T7 e la Cabina di Raccolta CR |
| Lunghezza cavo (m) | 1035 | 695 | 1535 |
| Intensità di corrente (A) | 106,9 | 213,8 | 320,76 |
| Conduttori per fase | 1 | 1 | 1 |
| Temp. Terreno (°C) | 25 | 25 | 25 |
| Coefficiente di correz. | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| Resistività termica 1,0 [Km/W] | 1 | 1 | 2 |
| Cavi unipolari-posa trifoglio | 3 | 3 | 3 |
| Profondità di posa (m) | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Coefficiente di correz. | 0,98 | 0,98 | 0,98 |
| N. cavi per scavo | 2 | 2 | 4 |
| Coeffic. per n° di strati | 0,84 | 0,84 | 0,67 |
| Coefficiente totale | 0,79 | 0,79 | 0,63 |
| Sezione (mm ²) | 95 | 240 | 400 |
| Portata ammissibile (A) | 209 | 353 | 351 |
| $\Delta V\%$ per ogni tratto | 0,27 | 0,17 | 0,41 |
| $\Delta V\%$ accumulata | 0,27 | 0,45 | 0,86 |
| ΔP per ogni tratto (kW) | 14,77 | 16,0 | 51,6 |

Tabella 4 – Risultati del dimensionamento dei cavi relativi al gruppo 3

- GRUPPO 4

| DIMENSIONAMENTO ELETTRICO DEI CAVI - GRUPPO 4 | | | |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| Collegamento | Tra la Turbina T12 e la Turbina T11 | Tra la Turbina T11 e la Turbina T10 | Tra la Turbina T10 e la Cabina di Raccolta CR |
| Lunghezza cavo (m) | 480 | 1277 | 3192 |
| Intensità di corrente (A) | 106,9 | 213,8 | 320,76 |
| Conduttori per fase | 1 | 1 | 1 |
| Temp. Terreno (°C) | 25 | 25 | 25 |
| Coefficiente di correz. | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| Resistività termica 1,0 [Km/W] | 1 | 1 | 2 |
| Cavi unipolari-posa trifoglio | 3 | 3 | 3 |
| Profondità di posa (m) | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Coefficiente di correz. | 0,98 | 0,98 | 0,98 |
| N. cavi per scavo | 2 | 2 | 4 |
| Coeffic. per n° di strati | 0,84 | 0,84 | 0,67 |
| Coefficiente totale | 0,79 | 0,79 | 0,63 |
| Sezione (mm ²) | 95 | 240 | 500 |
| Portata ammissibile (A) | 209 | 353 | 401 |
| $\Delta V\%$ per ogni tratto | 0,13 | 0,31 | 0,73 |
| $\Delta V\%$ accumulata | 0,13 | 0,44 | 1,17 |
| ΔP per ogni tratto (kW) | 6,85 | 29,4 | 87,7 |

Tabella 5 – Risultati del dimensionamento dei cavi relativi al gruppo 4

- **CAVIDOTTO DI CONNESSIONE TRA LA CR E LA STAZIONE UTENTE**
MT/AT:

| COLLEGAMENTO TRA LA CR E LA SEU | |
|--|-------|
| Lunghezza cavi (m) | 9130 |
| Potenza transitante (MW) | 60 |
| Corrente totale (A) | 1283 |
| Conduttori per fase | 4 |
| Corrente per fase (A) | 320,8 |
| Temp. Terreno (°C) | 25 |
| Coefficiente di correz. | 0,96 |
| Resistività termica | 1 |
| Terreno [K m/W] | 1 |
| Cavi unipolari-posa trifoglio | 3 |
| Distanza cavi-7[cm] | 0,67 |
| Profondità di posa (m) | 1,2 |
| Coefficiente di correz. | 0,98 |
| Coeffic. per n° di strati | 1,0 |
| Coefficiente totale | 0,63 |
| Sezione (mm ²) | 500 |
| Portata ammissibile (A) | 401 |
| cdt% | 2 |
| Perdita di potenza (kW) | 1003 |
| DP% | 1,7 |

Tabella 6 – Risultati del dimensionamento dei cavi relativi al collegamento tra la cabina di raccolta e la stazione utente MT/AT

Come si evince dalle tabelle precedenti, la perdita di potenza complessiva sui cavi in MT dell' impianto eolico rispetto alla potenza nominale dell' impianto, è pari a circa 1, MW. Nella tabella riassuntiva seguente sono rappresentate le varie sezioni dei cavi scelti nel progetto con le rispettive lunghezze di connessione.

| Collegamenti elettrici in | Tipologia di cavo | Lunghezza cavi |
|---------------------------|-------------------|----------------|
| Turbina T1 - Turbina T2 | 3x95 | 905 |
| Turbina T3 - Turbina T2 | 3x95 | 715 |
| Turbina T6 - Turbina T5 | 3x95 | 500 |
| Turbina T5 - Turbina T4 | 3x240 | 925 |
| Turbina T9 - Turbina T8 | 3x95 | 1035 |
| Turbina T8 - Turbina T7 | 3x240 | 695 |
| Turbina T12 - Turbina T11 | 3x95 | 480 |
| Turbina T11 - Turbina T10 | 3x240 | 1277 |
| Turbina T2 - CR | 3x(1x400) | 605 |
| Turbina T4 - CR | 3x(1x400) | 1830 |
| Turbina T7 - CR | 3x(1x400) | 1535 |
| Turbina T10 - CR | 3x(1x400) | 3192 |
| CR-SU | 4x(3x1x500) | 9130 |

Tabella 7 – Lunghezze e sezioni dei cavi MT da utilizzare nel circuito elettrico del parco

Di seguito una tabella riepilogativa delle lunghezze dei cavi in MT in funzione della tipologia del cavo scelto.

| CAVO CORDATO AD ELICA VISIBILE - ARP1H5(AR)EX | |
|---|-----------------------|
| Sezione cavo [mmq] | Lunghezza cavo [m] |
| 3x95 | 3635 |
| 3x240 | 2897 |

| CAVO UNIPOLARE - ARP1H5(AR)E | |
|------------------------------|--------------------------------|
| Sezione cavo [mmq] | Lunghezza terna di cavi [m] |
| 3x(1x400) | 7162 |
| 3x(1x500) | 36520 |

Tabella 8 – Lunghezze e sezioni dei cavi MT da utilizzare nel circuito elettrico del parco

6. MODALITA' DI POSA DEI CAVI

Tutti i cavi in MT saranno interrati alla profondità di circa 1,20 m dal piano di campagna, all'interno di uno strato di materiale sabbioso (su cui eventualmente potranno essere posati i tegoli o le lastre copricavo), con disposizione delle fasi a trifoglio. Nello stesso scavo della trincea, a distanza minima di 20 cm dai cavi di energia, si prevede la posa di un cavo a fibre ottiche per trasmissione dati. La terne saranno alloggiare nel terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata o con cemento 'mortar'.

Tutto il percorso dei cavi sarà opportunamente segnalato con nastro monitor per segnalarne la presenza negli eventuali scavi e con l'infissione periodica (ogni 50 metri circa) di cartelli metallici, esternamente lungo il percorso del cavidotto, indicanti

l'esistenza dei cavi in MT. Tali cartelli potranno essere eventualmente sostituiti da mattoni collocati a filo superiore dello scavo e riportanti le indicazioni relative ai cavi sottostanti (profondità di posa, tensione di esercizio).

La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto. La posa dei conduttori si articolerà essenzialmente nelle seguenti attività:

- scavo a sezione obbligata della larghezza e della profondità come indicata nel documento di progetto allegato;
- posa dei conduttori, fibre ottiche e rete di terra. Ciascuno scavo dovrà contenere una corda di rame nuda collegata a ciascun anello di torre presente nella centrale eolica e cavi in fibra ottica, opportunamente posizionati e distanziati dai cavi di potenza. Particolare attenzione dovrà essere fatta per l'interramento della corda di rame che costituisce il dispersore di terra dell'impianto, infatti questa dovrà essere interrata in uno strato di terreno vegetale di spessore non inferiore a 20 cm nelle posizioni indicate dal documento di progetto;
- reinterro parziale con sabbia vagliata;
- reinterro con terreno di scavo;
- inserimento nastro per segnalazione tracciato.

Le larghezze minime delle sezioni di scavo riferite al seguente progetto avranno le dimensioni riportate nel seguito:

- 60 cm nel caso di posa di n.1 e n.2 terne;
- 70 cm nel caso di posa di n.3 terne;
- 90 cm, per n.4 terne.

Qualora si volessero disporre i cavi su più strati sarà necessario realizzare uno scavo di profondità minima pari a 1,50 m, riducendone la larghezza a parità di cavi disposti orizzontalmente. Le ulteriori prescrizioni per le opere di tipo civile sono riportate nel capitolato delle opere civili; comunque la posa dovrà essere eseguita a regola d'arte nel rispetto delle normative vigenti.

7 STAZIONE UTENTE DI TRASFORMAZIONE MT/AT – 30/132 KV

Verrà realizzata una nuova SEU su un terreno adiacente alla nuova Stazione di smistamento della RTN (SE), la quale riceverà i cavi in MT provenienti dal parco eolico e dal Bess, e si collegherà, mediante un cavo in AT interrato a 132 kV, alla nuova SE della RTN.

La SEU nel suo insieme sarà così composta:

- **N°2 montanti di linea/trasformazione MT/AT, 30/132 KV, di cui uno di proprietà del proponente di questo progetto eolico;**
- Cabine elettriche utenti;
- N°1 stallo di parallelo condiviso con altri produttori;
- N°1 area comune con cabina elettrica.

L'energia elettrica totale, somma delle energie elettriche prodotte da tutti gli impianti alimentati da fonti rinnovabili, verrà convogliata e trasportata fino allo stallo dedicato nella stazione RTN a 132 kV, distante **circa 230 m**, attraverso un cavo in AT-132 kV interrato con protezione meccanica aggiuntiva, avente una sezione di 1600 mmq.

Il tracciato del cavidotto AT a 132 kV, visibile sulle tavole cartografiche allegate nonché sul paricellare d'esproprio, si sviluppa per tutta la sua lunghezza, all'interno della stessa particella in cui sono ubicate le due stazioni elettriche.

7 CAVIDOTTO IN AT

La connessione con la SE di Terna avverrà mediante cavidotto interrato alla tensione nominale di 132 kV. Il cavo unipolare posizionato nello scavo ha lo scopo di trasmettere l'energia prodotta dagli impianti collegati alla SU verso la rete e, di alimentare il sistema di accumulo prelevando energia dalla rete, qualora quella degli impianti connessi alla SU non fosse sufficiente a ricaricare le batterie.

7.1 CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CAVO IN AT

Il cavo che si prevede di utilizzare per la connessione della stazione utente di trasformazione allo stallo dedicato nella SE, è del tipo ARE4H1H5E (o similari) unipolare conforme alle specifiche IEC e CENELEC, i cui cavi unipolari verranno posati a trifoglio all'interno dello scavo. Ciascun cavo d'energia sarà formato da:

- un conduttore in alluminio compatto di sezione indicativa calcolata pari a 1600 mmq;
- schermo semiconduttivo sul conduttore;
- isolamento in polietilene reticolato (XLPE);
- schermo semiconduttivo sull'isolamento;
- nastri in materiale igroespandente;
- schermo metallico in rame;
- foglio metallico in alluminio o rame;
- rivestimento in polietilene con grafitatura esterna (PE).

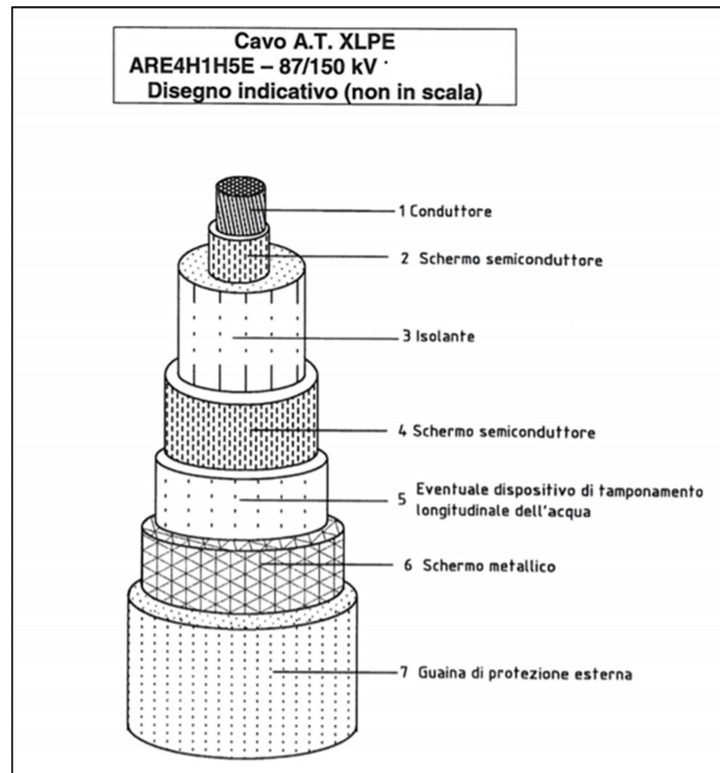


Figura 5 – Sezione tipo del cavo in AT a 132 kV

7.2 DIMENSIONAMENTO DEL CAVO IN AT

In questa fase di progettazione definitiva, la sezione di tale cavo non può essere determinata con precisione in quanto non siamo ancora a conoscenza dell'eventuale valore della corrente elettrica proveniente dagli stalli condivisi con gli altri produttori. Possiamo però considerare un valore massimo di potenza immessa nello stallo, pari di norma a 200 MW, calcolando così il valore della sezione del cavo in AT che potrebbe essere utilizzato per la connessione elettrica tra le due stazioni.

Considerando la seguente formula per il calcolo della corrente che percorre il cavo:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi}$$

si ottiene un valore di corrente d'impiego pari a circa 972,0 A

dove:

- V , è il valore della tensione del circuito, pari a 132 kV;
- $\cos\varphi$, assunto pari a 0,9.

Assumendo inoltre che:

- i cavi unipolari saranno interrati ad una profondità minima di 1,6 m dalla superficie del terreno;
- il valore di resistenza termica ipotizzato pari ad 1 km/W;

- temperatura esterna di 20 °C;
- posa a trifoglio della terna di cavi, protetti o meno con tubo;

si può scegliere un cavo avente una sezione calcolata pari a 1600 mmq, la cui portata è pari a 1.130 A, determinata nel calcolo riportato nella tabella seguente.

| COLLEGAMENTO TRA LA SU E LA SE | |
|---------------------------------------|-------|
| Lunghezza cavi (m) | 230 |
| Potenza transitante (MW) | 200 |
| Corrente totale (A) | 972,0 |
| Conduttori per fase | 1 |
| Corrente per fase (A) | 972,0 |
| Temp. Terreno (°C) | 25 |
| Coefficiente di correz. | 0,96 |
| Resistività termica | 1 |
| Terreno [K m/W] | 1 |
| Cavi unipolari-posa trifoglio | 1 |
| Distanza cavi-7[cm] | 1 |
| Profondità di posa (m) | 1,6 |
| Coefficiente di correz. | 0,96 |
| Coeffic. per n° di strati | 1,0 |
| Coefficiente totale | 0,92 |
| Sezione (mm ²) | 1600 |
| Portata ammissibile (A) | 1041 |
| cdt% | 0,005 |
| Perdita di potenza (kW) | 12,1 |
| DP% | 0,006 |

Tabella 9 – Risultati del dimensionamento dei cavi relativi al collegamento tra le stazioni elettriche in AT-132 kV

Si riportano di seguito le caratteristiche elettriche e tecniche del cavo scelto in AT:

| Nominal section area | Conductor diameter | Thickness of insulation | DC conductor resistance at 20°C | Electrostatic capacitance | Aluminium screen | | | Copper wire/lead sheath | | | Copper wire/alu sheath | | | Corrugated Alu sheath | | | Lead sheath | | |
|----------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------|----------------------------|------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|-----------------|----------------------------|------------------|
| | | | | | Sectional area* | Outside diameter of cable* | Weight of cable* | Sectional area* | Outside diameter of cable* | Weight of copper screen | Sectional area* | Outside diameter of cable* | Weight of copper screen | Sectional area* | Outside diameter of cable* | Weight of cable* | Sectional area* | Outside diameter of cable* | Weight of cable* |
| mm ² | mm | mm | Ω/km | µF/km | mm ² | mm | kg/m | mm ² | mm | kg/m | mm ² | mm | kg/m | mm ² | mm | kg/m | mm ² | mm | kg/m |
| 400 R | 23.3 | 20.7 | 0.0778 | 0.15 | 180 | 82 | 6 | 65 | 88 | 13 | 85 | 85 | 6 | 470 | 95 | 7 | 810 | 87 | 15 |
| 500 R | 26.4 | 19.6 | 0.0605 | 0.16 | 190 | 83 | 6 | 65 | 89 | 13 | 85 | 85 | 7 | 480 | 96 | 7 | 790 | 88 | 15 |
| 630 R | 30.3 | 18.5 | 0.0469 | 0.19 | 190 | 85 | 7 | 65 | 91 | 13 | 85 | 87 | 7 | 490 | 98 | 8 | 810 | 90 | 16 |
| 800 R | 34.7 | 17.6 | 0.0367 | 0.21 | 200 | 88 | 7 | 60 | 94 | 15 | 85 | 90 | 8 | 500 | 101 | 8 | 810 | 92 | 16 |
| 1000 R | 38.2 | 17.0 | 0.0291 | 0.23 | 200 | 90 | 8 | 60 | 96 | 15 | 85 | 92 | 9 | 520 | 103 | 9 | 810 | 94 | 17 |
| 1200 R | 41.4 | 16.6 | 0.0247 | 0.25 | 160 | 92 | 9 | 55 | 99 | 17 | 80 | 95 | 9 | 560 | 107 | 10 | 800 | 97 | 18 |
| 1600 S | 48.9 | 15.8 | 0.0186 | 0.30 | 180 | 100 | 10 | 45 | 107 | 19 | 80 | 103 | 11 | 670 | 115 | 12 | 780 | 104 | 19 |
| 2000 S | 54.0 | 15.5 | 0.0149 | 0.32 | 190 | 105 | 12 | 35 | 112 | 22 | 75 | 108 | 12 | 760 | 120 | 14 | 790 | 109 | 21 |

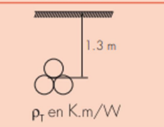
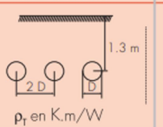
| Nominal section area | Laying conditions : Trefoil formation | | | | | Laying conditions : Flat formation | | | | | Nominal section area | | |
|----------------------|---------------------------------------|--|---|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------|----------|--|--|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Earthing conditions | Direct burial | | In air, in gallery | | Earthing conditions | Direct burial | | In air, in gallery | | | | |
| | | induced current in the metallic screen |  | $\rho_T = 1,0$ T = 20°C | $\rho_T = 1,2$ T = 30°C | | T = 30°C | T = 50°C | induced current in the metallic screen |  | | $\rho_T = 1,0$ T = 20°C | $\rho_T = 1,2$ T = 30°C |
| mm ² | ρ_T en K.m/W | | | | | | | | | | | | mm ² |
| 400 R | With circulating currents | 515 | 445 | 665 | 530 | Without circulating current | 555 | 480 | 755 | 605 | 400 R | | |
| 500 R | | 580 | 500 | 765 | 610 | | 635 | 550 | 880 | 705 | 500 R | | |
| 630 R | | 690 | 595 | 920 | 730 | | 730 | 630 | 1 035 | 830 | 630 R | | |
| 800 R | Without circulating current | 780 | 670 | 1065 | 845 | 835 | 715 | 1225 | 980 | 800 R | | | |
| 1000 R | | 865 | 745 | 1 195 | 950 | 930 | 800 | 1 375 | 1 100 | 1000 R | | | |
| 1200 R | | 935 | 800 | 1 300 | 1 035 | 1 010 | 865 | 1 515 | 1 210 | 1200 S | | | |
| 1600 S | | 1 130 | 970 | 1 630 | 1 295 | 1 225 | 1 050 | 1 895 | 1 515 | 1600 S | | | |
| 2000 S | | 1 255 | 1 075 | 1 845 | 1 460 | 1 375 | 1 175 | 2 170 | 1 735 | 2000 S | | | |

Tabella 10 – Specifiche tecniche del cavo in AT – 150 kV

7.3 MODALITÀ DI POSA DEL CAVO IN AT

Il cavo sarà interrato ed installato normalmente in una trincea della profondità di circa 1,7 m, con disposizione delle fasi a trifoglio. Nello stesso scavo, a distanza di almeno 0,3 m dai cavi di energia, sarà posato un cavo con fibre ottiche e/o telefoniche per trasmissione dati. Tutti i cavi verranno alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata o con cemento 'mortar'. I cavi saranno protetti e segnalati superiormente da una rete in PVC e da un nastro segnaletico, ed ove necessario anche da una lastra di protezione in cemento armato dello spessore di 6 cm. La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto. Altre soluzioni particolari, quali l'alloggiamento dei cavi in cunicoli prefabbricati o gettati in opera od in tubazioni di PVC della serie pesante o di ferro, potranno essere adottate per attraversamenti specifici. Nella fase di posa dei cavi, per limitare al massimo i disagi al traffico veicolare locale, la terna di cavi sarà posata in fasi successive in modo da poter destinare al transito, in linea generale, almeno una metà della carreggiata. In tal caso la sezione di posa potrà differire da quella normale sia per quanto attiene il posizionamento dei cavi che per le

modalità di progetto delle protezioni. Qualora ci siano degli attraversamenti delle opere interferenti, saranno eseguiti in accordo a quanto previsto dalla Norma CEI 11-17. Tra le possibili modalità di collegamento degli schermi metallici sarà utilizzata la cosiddetta modalità del cross bonding, in cui il collegamento in cavo viene suddiviso in tre tratte elementari (o multipli di tre) di uguale lunghezza, generalmente corrispondenti con le pezzature di posa. In tale configurazione gli schermi vengono messi francamente a terra, ed in corto circuito tra loro all'estremità di partenza della prima tratta ed all'estremità di arrivo della terza, mentre tra due tratte adiacenti gli schermi sono isolati da terra e uniti fra loro con collegamento incrociato.

Di seguito sono riportati: un tipico collegamento degli schermi metallici del cavo e la sezione di scavo con la posa del cavo trifase per differenti tipologie di percorso:

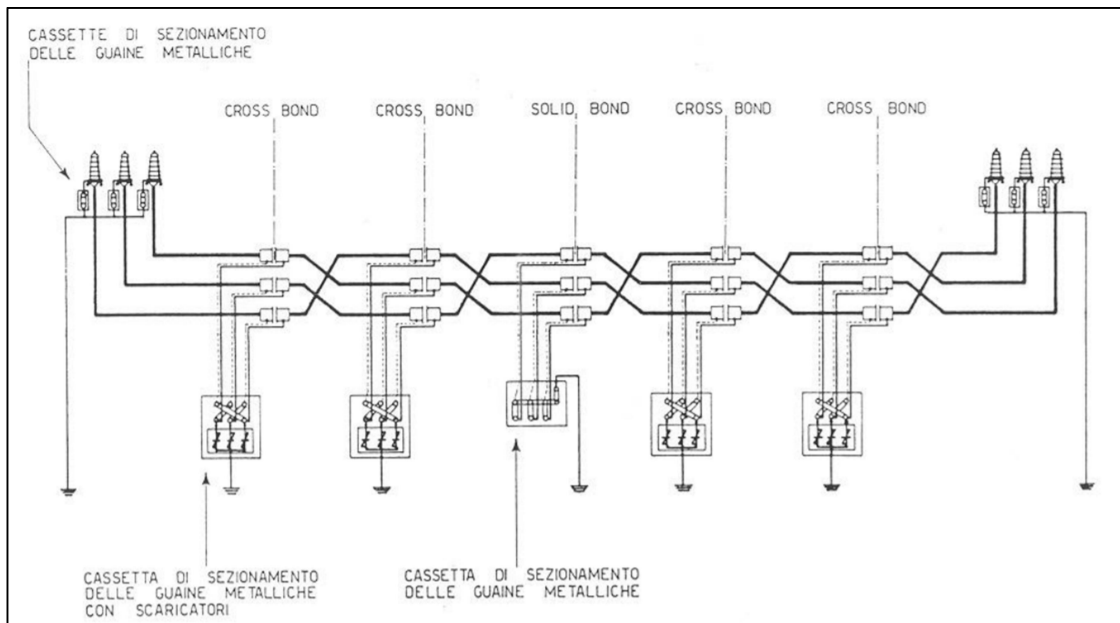


Figura 6 – Tipico di collegamento "cross bonding" per un cavo in AT

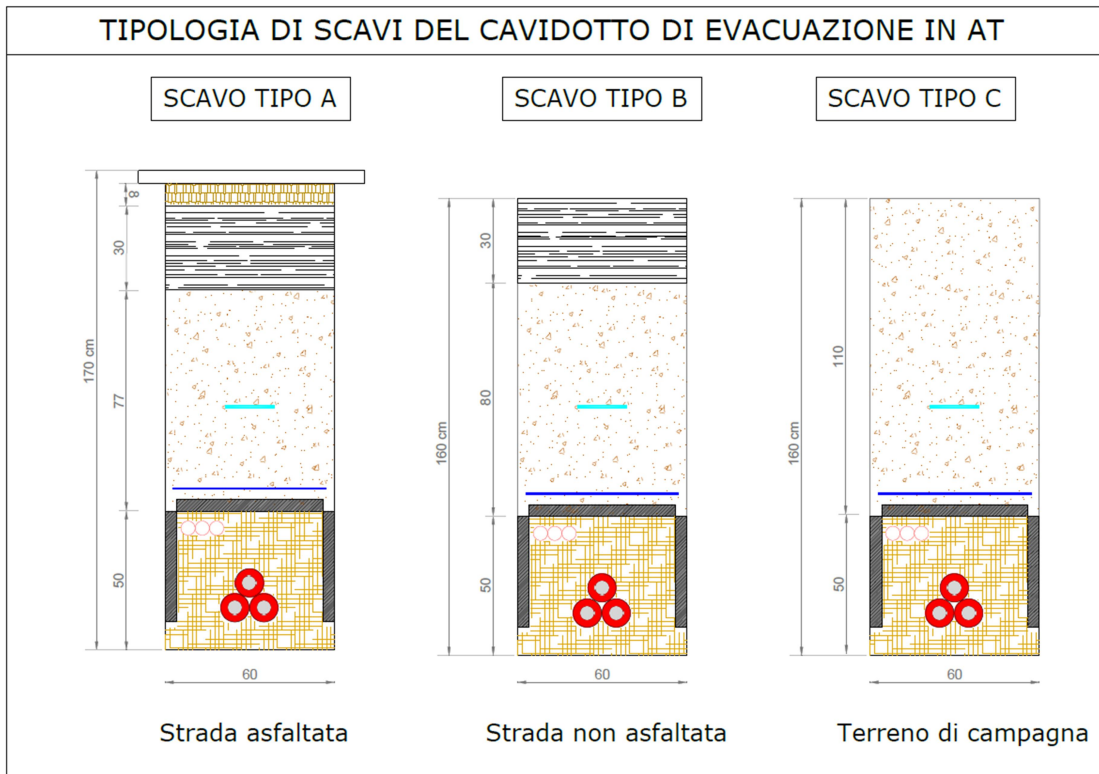
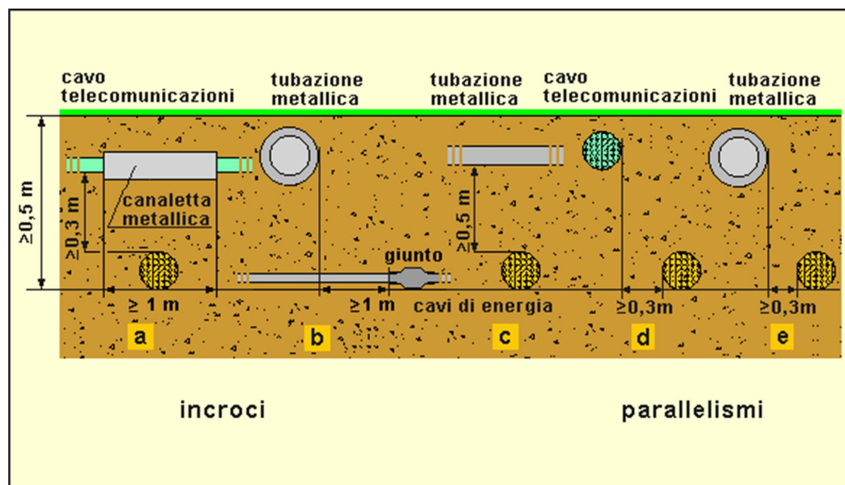


Figura 7 – Sezioni tipiche di scavo e di posa per il cavo in AT a 132 kV

Nel caso in cui il cavidotto venisse posato in vicinanza di altri cavi, tubazioni metalliche serbatoi e cisterne di carburante, deve rispondere a prescrizioni particolari ed essere installato rispettando distanze minime contenute nella Norma CEI 11-17. Di seguito sono riassunte le principali distanze minime tra cavi di energia con altri cavi o tubazioni, negli incroci e nei parallelismi:



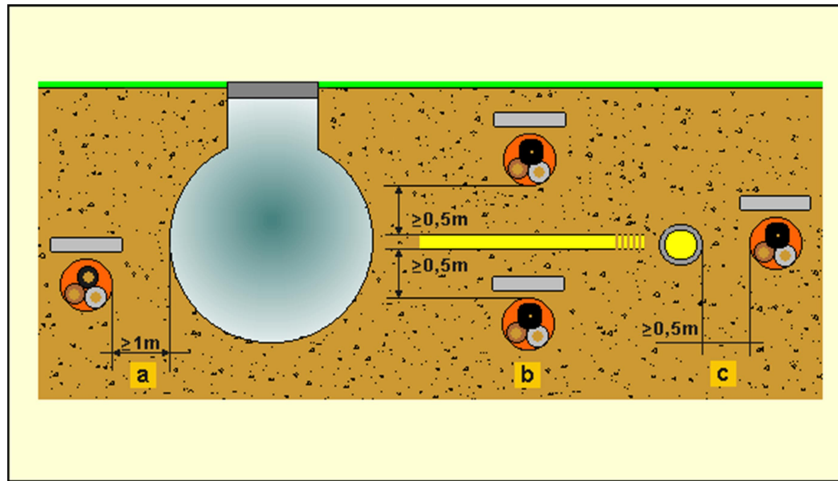


Figura 8 – Distanze minime con altri cavi, tubazioni metalliche serbatoi e cisterne di carburante

Le distanze di sicurezza con i cavi di energia che sono posati in tubo o condotto in presenza di tubazioni per il trasferimento di fluidi infiammabili sono fissate dal DM 24/11/1984 "Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8" e dovranno di volta in volta essere concordate con gli enti distributori del gas.