

# ALFI GREEN S.R.L.

**Impianto Agrivoltaico Avanzato denominato “Bandissolo” da 24.979,5 kWp, abbinato a un sistema di accumulo elettrochimico da 12.000 kW, opere connesse ed infrastrutture indispensabili**

**Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)**

**Progetto Definitivo Impianto Agrivoltaico Avanzato combinato con SdA e Opere Elettriche di Utenza**

**Allegato 05 – Relazione di calcolo dimensionamento cavi 36 kV**

Rev 0 – Novembre 2024

Professionista incaricato: Ing. Daniele Cavallo – Ordine Ingegneri Prov. Brindisi n. 1220

## INDICE

1.	PREMESSA.....	3
2.	DIMENSIONAMENTO CAVI 36 KV .....	5
2.1	INFORMAZIONE DI PROGETTO .....	5
2.2	PROCEDURA DI CALCOLO .....	6
2.2.1	CALCOLO DELLA CADUTA DI TENSIONE .....	6
2.2.2	PORTATA DEL CAVO .....	7
2.2.3	CALCOLO DELLA SEZIONE DEL CAVO PER CORTOCIRCUITO .....	7
2.3	RISULTATI .....	7
2.4	POSA CAVI 36 KV .....	8

## ALLEGATI

**ALLEGATO 01 - Dimensionamento preliminare cavi 36 kV - Foglio di calcolo**

Questo documento è di proprietà di Alfi Green S.r.l. e il detentore certifica che il documento è stato ricevuto legalmente. Ogni utilizzo, riproduzione o divulgazione del documento deve essere oggetto di specifica autorizzazione da parte di Alfi Green S.r.l.



## 1. PREMESSA

La società ALFI GREEN S.r.l. intende realizzare un impianto Agrivoltaico Avanzato ai sensi della normativa vigente, della potenza di 24.979,5 kWp, abbinato a un sistema di accumulo elettrochimico da circa 12.000 kW (di seguito denominato "Impianto"), che sarà situato nel comune di Argenta (FE). Limitatamente alle opere connesse sarà anche interessato il comune di Portomaggiore (FE).

Il progetto "**Bandissolo**", avrà una potenza complessiva in immissione pari a 30.000 kW e sarà collegato in antenna a 36 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto – Ravenna Canala" e alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore – Bando", come indicato dal Gestore di rete nella soluzione tecnica minima generale per la connessione (STMG), trasmessa alla Società il 26 agosto 2024 e formalmente accettata il 13 settembre 2024.



Figura 1-1: Inquadramento delle opere progettuali su ortofoto

Le opere progettuali dell'impianto si possono così sintetizzare:

**1. Impianto agrivoltaico**– ubicato nel comune di Argenta (FE), sarà costituito da moduli fotovoltaici bifacciali e realizzato con strutture fisse orientate est-ovest. L'impianto è progettato per soddisfare pienamente i requisiti di impianto agrivoltaico avanzato ai sensi delle (i) **Linee Guida sugli impianti agrivoltaici**, pubblicate dal Ministero della Transizione Ecologica (MiTE) a giugno 2022, (ii) Norma tecnica CEI PAS 82-93 "Impianti Agrivoltaici", emanata a dicembre 2023, nonché (iii) del Decreto del Ministero dell'Ambiente della Sicurezza Energetica del 22 dicembre 2023 N.436 (DM Agrivoltaico) recante le disposizioni per l'incentivazione della realizzazione dei

sistemi agrivoltaici di natura sperimentali in attuazione dell'articolo 114 comma 1 del D.Lgs. N.199 del 2021 ed in coerenza con le misure di sostegno agli investimenti previste dal piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR), e relative a regole operative emanate dal GSE. La potenza complessiva sarà pari a 24,98 MWp;

**2. Sistema di accumulo elettrochimico** (di seguito "BESS" o "SdA") – di tipo distribuito, sarà integrato all'interno dell'impianto agrivoltaico e interconnesso con lo stesso. Il sistema avrà una potenza di circa 12 MW, con una capacità di stoccaggio pari a 4 h;

**3. Linee in cavo interrato a 36 kV** (di seguito "Dorsali 36 kV") – collegheranno l'impianto fotovoltaico e le BESS alla cabina elettrica a 36 kV;

**4. Cabina elettrica a 36 kV** (di seguito "Cabina Utente") – sarà di proprietà della società e verrà posizionata all'interno dell'Impianto;

**5. Linea in cavo interrato a 36 kV** (di seguito "Linea 36 kV") – collegherà la Cabina Utente alla sezione a 36 kV della futura SE RTN 380/132/36 kV della RTN denominata "Portomaggiore", di proprietà di Terna. Tale linea si svilupperà per una lunghezza di circa 2,7 km;

**6. Stallo a 36 kV** (di seguito "Impianto di Rete") - consisterà nello stallo di arrivo produttore all'interno della sezione a 36 kV della nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto – Ravenna Canala" e alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore – Bando".

Il progetto della stazione Terna di "Portomaggiore" e dei relativi raccordi linea è già stato benestariato dal Gestore di Rete Terna S.p.A. , ed autorizzato dagli enti competenti con D.D. n. DET-AMB-2024-3386 del 14/06/2024 rilasciata dall'ARPAE Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna. Il progetto autorizzato della SE RTN 380/132/36 kV e dei relativi raccordi linea, pertanto, non fa parte delle opere da autorizzarsi con la presente istanza.

L'impianto è completamente situato all'interno di "aree idonee" come definite dall'art. 20, comma 8, lettera c-quater del D.Lgs. 199/2021 e successive modifiche. Di conseguenza, il progetto è soggetto a una procedura autorizzativa semplificata, prevista dall'art. 22 dello stesso decreto legislativo e ss.mm.ii.

**Questa relazione presenta il calcolo preliminare svolto per il dimensionamento e la scelta dei cavi a 36 kV dell'impianto "Bandissolo", riguardante le opere indicate ai punti 3 e 5.**

## 2. DIMENSIONAMENTO CAVI 36 KV

Come descritto nel capitolo precedente, il dimensionamento dei cavi è stato suddiviso in base ai seguenti gruppi di linee:

1. **Linee in cavo interrato a 36 kV ("Dorsali 36 kV")** – Queste linee sono destinate al collegamento dell'impianto alla cabina elettrica a 36 kV. Sono previste due dorsali, ciascuna delle quali raccoglie l'energia dalle cabine di conversione e la trasferisce al quadro elettrico situato nell'edificio della cabina a 36 kV. La distribuzione delle cabine di conversione sulle due dorsali è la seguente:
  - a. **Dorsale 1:** comprende le power stations C01, C02 e C03;
  - b. **Dorsale 2:** comprende le power stations C04, C05, C06 e C07.
2. **Linea in cavo interrato a 36 kV ("Linea 36 kV")** – Questa linea collega la Cabina Utente allo stallo di arrivo produttore nella sezione a 36 kV della futura Stazione RTN 380/132/36 kV denominata "Portomaggiore". È costituita da una terna di cavi interrati a 36 kV con una lunghezza complessiva di circa 2,7 km.

Il tracciato delle linee è chiaramente riportato nelle seguenti tavole di progetto:

- **Tav02\_22a:** "Planimetria - Tracciato Dorsali 36 kV e Tipico posa cavi";
- **Tav02\_22b:** "Planimetria - Tracciato Linea 36 kV e Tipico posa cavi".

### 2.1 INFORMAZIONE DI PROGETTO

La determinazione della lunghezza di ciascuna tratta di cavo è stata effettuata sulla base della planimetria generale dell'impianto, che individua con precisione il tracciato dei cavi e la posizione delle cabine di conversione.

Per ottenere le lunghezze definitive, sono stati considerati fattori aggiuntivi come le risalite nei quadri elettrici, gli sfili, le variazioni altimetriche del terreno e le piccole deviazioni di percorso dovute alle caratteristiche del sito. Le lunghezze risultanti per ogni tratta sono sintetizzate alla voce "Lunghezza Cavo" nella Tabella seguente. La sigla CU fa riferimento al quadro a 36 kV collocato nella Cabina Utente.

**Tabella 2-1: Lunghezze linee**

Da	A	Lunghezza teorica (m)	Lunghezza effettiva (m)
C07	C06	165	200
C06	C05	160	195
C05	C04	175	210
C04	CU	615	663
C01	C02	260	298
C02	C03	445	488
C03	CU	115	148
CU	SE RTN	2845	2960

Di seguito vengono riportate i dati di input inseriti nel modello di calcolo per il dimensionamento dei cavi.

**Tabella 2-2: Dati progetto Bandissolo**

Dati di progetto	Valore
Tensione di rete impianto fotovoltaico	36 kV
Materiale conduttore	Alluminio
Profondità di posa	1,2 m
Separazione tra circuiti affiancati	40 cm
Temperatura del terreno	25°C
Resistività del terreno	1,2 K·m/W
Potenza nominale power stations	4,4 MVA
Potenza nominale c.a.	30 MVA
Caduta di tensione massima ammissibile per tratta	3%

## 2.2 PROCEDURA DI CALCOLO

Il dimensionamento dei cavi è stato effettuato in conformità alle normative tecniche di riferimento, considerando i seguenti parametri principali:

- **Portata nominale:** la capacità del cavo di trasportare la corrente continua senza surriscaldarsi;
- **Caduta di tensione massima ammissibile:** per garantire un'efficienza ottimale del sistema, si è limitata la caduta di tensione entro valori accettabili;
- **Resistenza al cortocircuito:** il cavo deve essere dimensionato per resistere a eventi di cortocircuito senza danneggiarsi;
- **Tipologia di posa:** si è scelto il trifoglio per garantire una distribuzione uniforme della corrente;
- **Condizioni ambientali:** temperature del terreno, profondità di posa e resistività del suolo sono state valutate attentamente per assicurare prestazioni ottimali.

### 2.2.1 CALCOLO DELLA CADUTA DI TENSIONE

La caduta di tensione lungo la linea è stata calcolata usando la seguente formula:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi) \cdot I \cdot L$$

Dove:

- **R** è la resistenza del cavo (in Ohm/km);
- **X** è la reattanza del cavo (in Ohm/km);
- **I** è la corrente trasportata (in Ampere);
- **L** è la lunghezza del cavo (in km);
- **cos φ** e **sen φ** sono i fattori di potenza.

### 2.2.2 PORTATA DEL CAVO

Per calcolare la portata del cavo, si è applicato un coefficiente di declassamento che tiene conto delle condizioni di posa e delle caratteristiche ambientali. I coefficienti utilizzati sono:

- **K1 (profondità di posa):** tiene conto dell'effetto isolante del terreno;
- **K2 (temperatura del suolo):** influisce sulla dissipazione del calore generato;
- **K3 (resistività termica del terreno):** determina la resistenza del terreno al flusso di calore;
- **K4 (vicinanza di più terre nello stesso scavo):** considera l'influenza termica tra i cavi affiancati.

### 2.2.3 CALCOLO DELLA SEZIONE DEL CAVO PER CORTOCIRCUITO

La sezione minima del cavo è stata determinata sulla base della corrente di cortocircuito prevista, utilizzando la formula:

$$S_{min} = (I_{CC} \cdot \sqrt{t}) / C$$

Dove:

- **I<sub>cc</sub>** è la corrente di cortocircuito (in Ampere);
- **C** è il coefficiente definito dalla Norma CEI 11-17;
- **t** è il tempo di eliminazione del cortocircuito (in secondi).

## 2.3 RISULTATI

I risultati del calcolo di dimensionamento preliminare sono riportati nella tabella seguente, con evidenziate le sezioni preliminari definite per il progetto (ottimizzate per limitare il numero di sezioni da utilizzare). Per ulteriori dettagli, si faccia riferimento all'estratto del foglio di calcolo riportato di seguito.

**Tabella 2-3: Risultati del dimensionamento preliminare dei cavi a 36 kV**

Da	A	Lunghezza tratta (m)	Sezione selezionata (mm <sup>2</sup> )	Tipologia	Lunghezza effettiva cavi (m)
C07	C06	200	95	Tripolare	200
C06	C05	195	95	Tripolare	195
C05	C04	210	95	Tripolare	210
C04	CU	663	240	Tripolare	663
C01	C02	298	95	Tripolare	298
C02	C03	488	95	Tripolare	488
C03	CU	148	150	Tripolare	148
CU	SE RTN	2960	630	Unipolare	8880

Le caratteristiche preliminari dei cavi selezionati vengono riportate di seguito.



**Tabella 2-4: Caratteristiche Preliminari dei Cavi a 36 kV**

Caratteristiche Cavi 36 kV	
Tipo	Unipolari/Tripolari ad elica visibile
Sezioni cavo	95/150/240/630 mm <sup>2</sup>
Materiale conduttore	Alluminio
Materiale isolante	XLPE
Schermo metallico	Alluminio
Guaina esterna	PE resistente all'urto (adatti alla posa direttamente interrata)
Tensione nominale (U <sub>0</sub> /U <sub>Um</sub> )	20.5/36/42 kV
Frequenza nominale	50 Hz

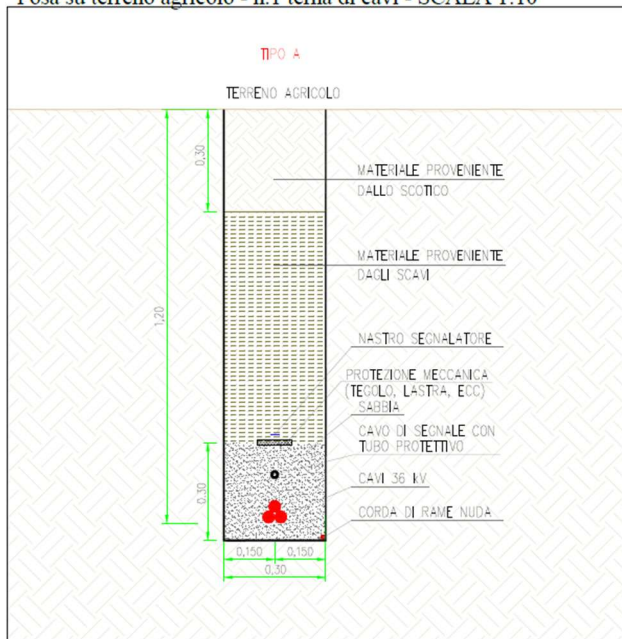
La linea sarà protetta da adeguato interruttore automatico, che potrà essere gestito manualmente o tramite azionamento remoto.

La selezione verrà fatta in fase di ingegneria di dettaglio.

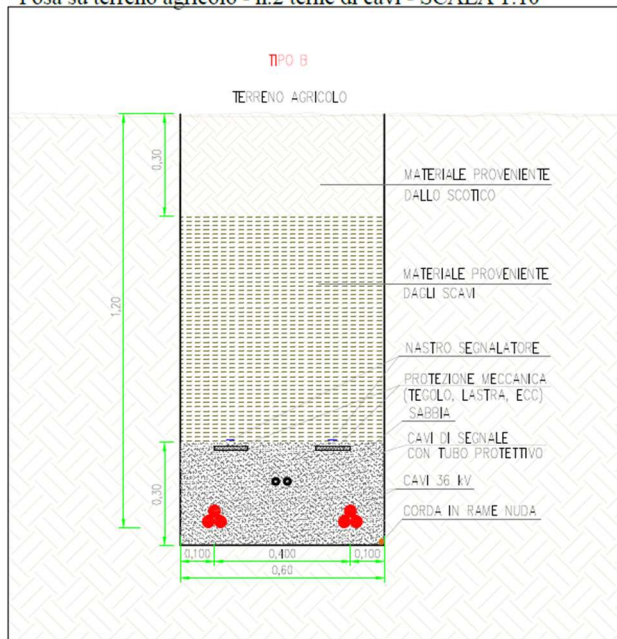
## 2.4 POSA CAVI 36 kV

Di seguito viene illustrata la tipologia di posa interrata per i cavi a 36 kV, con una profondità di circa 1,2 metri. Questa soluzione è stata scelta per garantire sicurezza operativa, protezione meccanica e stabilità termica, minimizzando l'impatto elettromagnetico e ottimizzando l'affidabilità dell'impianto.

**Posa su terreno agricolo - n.1 tema di cavi - SCALA 1:10**



**Posa su terreno agricolo - n.2 teme di cavi - SCALA 1:10**



**Figura 2-1: Modalità di posa cavi su terreno agricolo**



Posa su strada asfaltata - n.1 terna di cavi - SCALA 1:10

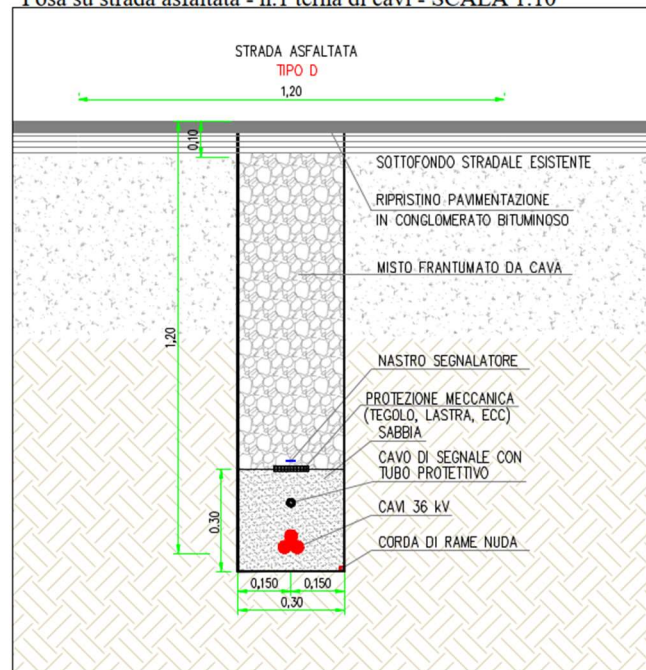


Figura 2-2: Modalità di posa cavi su strada asfaltata

## **ALLEGATO 01**

**Dimensionamento preliminare cavi 36 kV - Foglio di calcolo**

**Bandissolo**  
**Dimensionamento cavi 36 kV**

**Dati di progetto**

Tensione rete MT impianto solare :	36 kV
Materiale conduttore cavi :	Alluminio
Tipologia cavo :	Shockproof
Profondità di posa :	1,2 m
Temperatura del terreno :	25 °C
Resistività terreno :	1,2 °C·m/W
Separazione circuiti :	40 cm
Potenze nominale inverter :	Pot 1: 4,4 MW
Fattore di potenza inverter :	1
ΔV massima ammissibile per tratta :	3 %
Margine sulla lunghezza complessiva dei cavi :	3 %

**Definizione sezione cavi**

Nome	Da	A	Lunghezz a teorica (m)	Lunghezz a effettiva (m)	N° Power Station Connesse	N° terne affiancate	Potenza nominale						I <sub>n</sub> (A)	I <sub>eff</sub> (A)	I <sub>cc</sub> trifase (kA)	Durata cc trifase (s)	S <sub>min</sub> per portata (mm <sup>2</sup> )	S <sub>min</sub> per I <sub>cc</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>min</sub> per ΔV (mm <sup>2</sup> )	S <sub>min</sub> (mm <sup>2</sup> )	S (mm <sup>2</sup> ) selezionata	Margine utilizzo (%)	Composizione cavo	N° punti di giunzione		
							Scelta Pot. 1	Scelta Pot. 2	Scelta Pot. 3	Scelta Pot. 4	Scelta Pot. 5	Scelta Pot. 6														
Dorsale 1	C07	C06	165	200	1	1	1	0	0	0	0	0	70,57	69,92	20	0,45	95	94	35	95	95	31,4	Unipolare	0	÷	0
Dorsale 1	C06	C05	160	195	2	1	1	1	0	0	0	0	141,13	139,85	20	0,45	95	94	35	95	95	62,7	Unipolare	0	÷	0
Dorsale 1	C05	C04	175	210	3	1	1	1	1	0	0	0	211,70	209,77	20	0,45	95	94	35	95	95	94,1	Unipolare	0	÷	0
Dorsale 1	C04	CU	615	663	4	2	1	1	1	1	0	0	282,26	317,84	20	0,45	185	94	35	185	240	85,9	Unipolare	2	÷	2
Dorsale 2	C01	C02	260	298	1	1	1	0	0	0	0	0	70,57	69,92	20	0,45	95	94	35	95	95	31,4	Unipolare	1	÷	1
Dorsale 2	C02	C03	445	488	2	2	1	1	0	0	0	0	141,13	158,92	20	0,45	95	94	35	95	95	71,3	Unipolare	1	÷	1
Dorsale 2	C03	CU	115	148	3	2	1	1	1	0	0	0	211,70	238,38	20	0,45	120	94	35	120	150	84,5	Unipolare	0	÷	0
Linea 36 kV	CU	SE RTN	2845	2960	7	1	1	1	1	1	1	0	493,96	489,47	20	0,45	500	94	35	500	630	78,9	Unipolare	10	÷	11