

# REGIONE PUGLIA

## PROVINCIA DI FOGGIA

# COMUNE DI ASCOLI SATRIANO

LOCALITÀ POZZO ZINGARO

Oggetto:

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO AVENTE POTENZA DI PICCO PARI A 47,29 MWp E POTENZA NOMINALE PARI A 44,98 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE**

Sezione:

**SEZIONE H - ELABORATI PROGETTUALI SISTEMA ELETTRICO**

Elaborato:

**RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SUGLI IMPIANTI**

Nome file stampa:

**FV.ASC02.PD.H.07.pdf**

Codifica Regionale:

AN3N4C7\_RelazioneCalcoloDegliImpianti.pdf.p7m

Scala:

Formato di stampa:

**A4**

Nome elaborato:

**FV.ASC02.PD.H.07**

Tipologia:

**R**

Proponente:

**E-WAY FINANCE S.p.A.**

Via Po, 23

00198 ROMA (RM)

P.IVA. 15773121007



**E-WAY FINANCE S.p.A.**

Via Po, 23

00198 ROMA

C.F./P.I. 15773121007

Progettista:

**E-WAY FINANCE S.p.A.**

Via Po, 23

00198 ROMA (RM)

P.IVA. 15773121007



CODICE	REV. n.	DATA REV.	REDAZIONE	VERIFICA	VALIDAZIONE
FV.ASC02.PD.H.07	00	02/2022	S.Ierardi	A.Bottone	A.Bottone

E-WAY FINANCE S.p.A.  
www.ewayfinance.it

Sede legale  
Via Po, 23  
00198 ROMA (RM)  
tel. +39 0694414500

Sede operativa  
Via Provinciale, 5  
84044 ALBANELLA (SA)  
tel. +39 0828984561



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>UBICAZIONE ED ACCESSI .....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>STAZIONE DI TRASFORMAZIONE UTENTE 150/30 KV (ST) ED AREA COMUNE PER CONDIVISIONE CONNESSIONE .....</b>	<b>11</b>
4.1	Area Comune per Condivisione Connessione a 150 kV .....	11
4.2	Stallo AT a 150 kV.....	11
4.3	Sezione MT a 30 kV .....	11
4.4	Caratteristiche apparati.....	12
4.5	Tensioni di esercizio (distanze minime) .....	13
4.6	Carpenterie metalliche .....	14
4.7	Celle a media tensione (30 kV) .....	14
4.8	Servizi ausiliari .....	14
4.9	Telecontrollo e Telecomunicazioni .....	15
4.10	Opere civili.....	15
<b>5</b>	<b>CABINA DI RACCOLTA E MISURA .....</b>	<b>16</b>
5.1	Caratteristiche apparati.....	16
5.2	Celle a media tensione (30 kV).....	17
5.3	Servizi Ausiliari.....	17
5.4	Control Room – Sistema di Monitoraggio .....	17
<b>6</b>	<b>MISURA DELL'ENERGIA ELETTRICA .....</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>19</b>
7.1	Layout e Configurazione d'Impianto.....	19

<b>7.2</b>	<b>Tecnologia di Progetto.....</b>	<b>23</b>
7.2.1	Modulo FV.....	23
7.2.2	Tracker monoassiale.....	24
7.2.3	Quadro di Stringa.....	26
7.2.4	Inverter Centralizzato.....	26
7.2.5	Power Station.....	27
<b>8</b>	<b>CONNESSIONI INTERNE AL CAMPO AGRO-FOTOVOLTAICO IN DC.....</b>	<b>29</b>
8.1	Cavo Solare H1Z2Z2-K.....	29
8.2	Cavo BT (DC) ARG16R16.....	30
<b>9</b>	<b>LINEE MT DI INTERCONNESSIONE CAMPO AGRO-FOTOVOLTAICO – SE UTENTE.....</b>	<b>31</b>
9.1	Cavidotto Interno ed Esterno.....	31
9.2	Tipologia Cavi.....	33
9.3	Tipologia Posa.....	34
<b>10</b>	<b>DIMENSIONAMENTO CAVI DC.....</b>	<b>37</b>
10.1	Cavo Parallelo Stringhe – Quadro di Stringa.....	37
10.2	Cavo Quadro di Stringa – Inverter Centralizzati.....	39
<b>11</b>	<b>DIMENSIONAMENTO CAVI MT.....</b>	<b>42</b>
<b>12</b>	<b>SCHEMA ELETTRICO UNIFILARE IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>45</b>



**RELAZIONE DI CALCOLO  
PRELIMINARE SUGLI IMPIANTI**

CODICE	FV.ASC02.PD.H.07
REVISIONE n.	00
DATA REVISIONE	02/2022
PAGINA	4 di 45

## INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1: Layout completo dell'impianto Agro-fotovoltaico su ortofoto .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2: Layout del campo Agro-fotovoltaico e suddivisione in sottocampi .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3: Tracker 2P - Vista Longitudinale in condizione di riposo.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4: Tracker 2P con Moduli FV - Vista Longitudinale .....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5: Schema Elettrico Unifilare Power Station .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 6: Cavo Solare H1Z2Z2-K.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 7: Cavo BT ARG16R16 0,6/1 kV.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 8: Lotto B - collegamento entra-esci PS.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 9: Lotto A - collegamento entra-esci PS.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 10: Immagine indicativa del tipo di Cavo.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 11: Modalità di Posa (CEI 11-17) .....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 12: Sezione Cavidotto doppia terna di cavi su Strada Bianca .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 13: Sezione Cavidotto singola terna di cavi su Terreno .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 14: Sezione Cavidotto singola terna di cavi su Strada Asfaltata.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 15: Estratto Schema Elettrico Unifilare.....</i>	<i>45</i>



**RELAZIONE DI CALCOLO  
PRELIMINARE SUGLI IMPIANTI**

CODICE	FV.ASCO2.PD.H.07
REVISIONE n.	00
DATA REVISIONE	02/2022
PAGINA	6 di 45

## INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1: Verifica distanze minime (<math>V_n= 30</math> kV, <math>V_{1,2/50 \mu s} = 170</math> kV) .....</i>	<i>13</i>
<i>Tabella 2: Caratteristiche generali d'impianto .....</i>	<i>19</i>
<i>Tabella 3: Sintesi Impianto Agro-Fotovoltaico .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabella 4: Modulo FV .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabella 5: Tracker/Stringa .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabella 6: Quadri di Stringa .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabella 7: Inverter interni alle Power Station (PS) .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabella 8: Power Station .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabella 9: Dati per Dimensionamento cavi DC per collegamento moduli FV .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabella 10: Dati cavo H1Z2Z2-K scelto .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabella 11: Dati per Dimensionamento cavi BT (DC) per collegamento Quadri di Stringa .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabella 12: Dati cavo ARG16R16 scelto .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabella 13: Dati di Progetti per Dimensionamento Elettrico .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabella 14: Dimensionamento Cavi .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabella 15: Caratteristiche meccaniche ed elettriche del Cavo in funzione della Sezione scelta .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabella 16: Perdite d'impianto .....</i>	<i>44</i>



**RELAZIONE DI CALCOLO  
PRELIMINARE SUGLI IMPIANTI**

CODICE	FV.ASCO2.PD.H.07
REVISIONE n.	00
DATA REVISIONE	02/2022
PAGINA	8 di 45

## 1 PREMESSA

Il presente elaborato è riferito al progetto per la costruzione e l'esercizio di un impianto agro-fotovoltaico di produzione di energia elettrica da fonte solare, denominato "Pozzo Zingaro", sito in agro di Ascoli Satriano (FG).

In particolare, l'impianto in progetto ha una potenza di picco pari a 47,29 MWp e una potenza nominale di 44,98 MW ed è costituito dalle seguenti sezioni principali:

1. Un campo agro-fotovoltaico suddiviso in 8 sottocampi, costituiti da moduli fotovoltaici monofacciali aventi potenza nominale pari a 550 Wp cadauno (non escludendo la possibilità di utilizzare in fase di progettazione e realizzazione del parco anche moduli bifacciali) ed installati su strutture ad inseguimento monoassiale (tracker);
2. Una stazione di conversione e trasformazione dell'energia elettrica detta "Power Station" per ogni sottocampo dell'impianto;
3. Una Cabina di Raccolta e Misura in Media Tensione a 30 kV;
4. Quattro linee elettriche in MT a 30 kV in cavo interrato necessarie per l'interconnessione delle Power Station alla Cabina di Raccolta e Misura;
5. Una Stazione Elettrica (SE) di trasformazione 150/30 kV Utente;
6. Una linea elettrica in MT a 30 kV in cavo interrato necessaria per l'interconnessione della Cabina di Raccolta e Misura e della SE di trasformazione Utente, di cui al punto precedente;
7. Una sezione di impianto elettrico comune con altri tre operatori, necessaria per la condivisione dello Stallo AT a 150 kV, assegnato dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) all'interno del futuro ampliamento della SE "Deliceto" della RTN, ubicata nel comune di Deliceto (FG).
8. Tutte le apparecchiature elettromeccaniche in AT di competenza dell'Utente da installare all'interno del futuro ampliamento della SE "Deliceto" della RTN, in corrispondenza dello stallo assegnato;
9. Una linea elettrica in AT a 150 kV in cavo interrato di interconnessione tra la sezione di impianto comune ed il futuro ampliamento della SE "Deliceto" della RTN.

Titolare dell'iniziativa proposta è la società E-Way Finance S.p.A., avente sede legale in Via Po, 23 - 00198 Roma (RM), P.IVA 15773121007.

## 2 INTRODUZIONE

Oggetto del presente studio è la descrizione dei criteri di calcolo dell'impianto elettrico necessario per l'interconnessione dell'impianto Agro-Fotovoltaico alla RTN.

La Soluzione Tecnica Minima Generale di connessione alla RTN prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 150 kV su un futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) a 380/150 kV della RTN denominata "Deliceto".

Al fine di razionalizzare l'utilizzo delle strutture di rete è necessario condividere lo stallo AT Terna in SE Utente con altri impianti di produzione. Pertanto, è stata prevista una sezione di impianto comune che permette di collegare al medesimo stallo AT Terna, gli impianti in sviluppo di tutti i produttori. Inoltre, la sezione di impianto comune è stata predisposta per un eventuale ampliamento o condivisione.

La tecnologia relativa alle opere previste in progetto (pannelli, tracker, inverter etc..) e adottate per il dimensionamento del campo Agro-Fotovoltaico sono da intendersi come indicative e tipologiche. In fase esecutiva potranno di fatto essere adottati elementi tecnologici di fornitori differenti da quelli indicati, con caratteristiche comunque non dissimili a quelle proposte.

## 3 UBICAZIONE ED ACCESSI

Le opere di progetto ricadono tutte nel comune di Ascoli Satriano (FG), in località "Pozzo Zingaro". L'ubicazione complessiva delle opere si rileva dall'allegato FV.ASC02.PD.B.01 – "Inquadramento generale su IGM a 25000". Le posizioni della SE Utente, della sezione comune e del collegamento in cavo interrato in AT alla RTN risultano dall'allegato FV.ASC02.PD.H.01 – "Planimetria su base catastale - Stazione elettrica di smistamento 150 kV Terna, area comune per condivisione connessione e Stazione Elettrica Utente".

## **4 STAZIONE DI TRASFORMAZIONE UTENTE 150/30 KV (ST) ED AREA COMUNE PER CONDIVISIONE CONNESSIONE**

La SE Utente sarà costituita da uno stallo di trasformazione in AT a 150 kV ed una sezione a 30 kV.

### **4.1 Area Comune per Condivisione ConneSSIONe a 150 kV**

L'area comune prevista per la condivisione della conneSSIONe AT a 150 kV è costituita dalle seguenti sezioni:

- Stallo AT per arrivo linea AT in cavo a 150 kV, completo di tutte le apparecchiature elettromeccaniche in AT necessarie;
- Sistema di sbarre AT a 150 kV;
- Edifici per l'area comune;
- Sistemi di alimentazione, comando e controllo necessari per l'esercizio dell'area comune.

### **4.2 Stallo AT a 150 kV**

Il sistema sarà costituito da n°1 stallo trasformatore composto dei seguenti apparati:

- Un trasformatore 30/150 kV avente potenza nominale pari a 44/48 MVA con variatore sotto carico e predisposizione per la messa a terra del centro stella;
- Tre scaricatori di sovratensione;
- Tre trasformatori di corrente (protezione e misure);
- Tre trasformatori di tensione induttivi (misure);
- Un interruttore automatico, isolato in SF6 con comando unipolare;
- Tre trasformatori di tensione capacitivi/induttivi (protezione/misura);
- Un sezionatore di isolamento sbarre (tripolare);
- Tre isolatori rompitratta AT;
- Un portale per il collegamento aereo alla sezione di impianto d'area comune.

### **4.3 Sezione MT a 30 kV**

Il sistema sarà costituito da tutte le apparecchiature necessarie per l'interconneSSIONe dell'impianto agrofotovoltaico al trasformatore di potenza e per il funzionamento ed il controllo della stazione di trasformazione.

In particolare, partendo dai terminali del secondario del trasformatore di potenza, il sistema sarà costituito da:

- Tre scaricatori di sovratensione in MT;
- Cavi MT tra il trasformatore AT/MT ed il quadro MT a 30 kV;
- Uno scomparto con interruttore automatico e sezionatore a protezione del trasformatore AT/MT, lato MT;
- Tre scomparti con interruttore automatico e sezionatore a protezione della rete a 30 kV del campo Agro-Fotovoltaico;
- Uno scomparto con interruttore automatico e sezionatore di scorta;
- Uno scomparto con IMS e fusibili a protezione del trasformatore di alimentazione dei servizi ausiliari di impianto;
- Uno scomparto con IMS e fusibili di scorta;
- Due scomparti con interruttore automatico e sezionatore a protezione degli eventuali banchi di rifasamento;
- Uno scomparto misura con IMS, fusibili e TV in MT.

All'interno dell'edificio tecnico saranno installati inoltre gli apparati di misura, comando, controllo e protezione necessari per la corretta funzionalità dell'impianto e dei locali "Spare" per eventuali ampliamenti della sottostazione elettrica.

#### **4.4 Caratteristiche apparati**

Come dati di progetto si adottano i seguenti valori:

- Tensione nominale: 150 kV
- Tensione massima: 170 kV
- Livello di isolamento:
  - Tensione a frequenza industriale (1 minuto 50 Hz) (valore efficace): 315 kV
  - Tensione a impulso atmosferico (onda 1,2 / 50  $\mu$ s) (cresta): 750 kV
- Corrente nominale montante di linea: 1250 A
- Corrente nominale montante trasformatore AT: 170 A
- Massima corrente di cortocircuito: 31,5 kA
- Tempo di estinzione dei guasti: 0,5 s

CODICE	FV.ASC02.PD.H.07
REVISIONE n.	00
DATA REVISIONE	02/2022
PAGINA	13 di 45

- Altezza dell'installazione <math>< 1000\text{ m}</math>

La distanza minima di isolamento in aria per tale installazione prevista dalla norma CEI 99-2 è pari a 1,5 m.

L'impianto è stato progettato considerando le seguenti distanze minime:

- Distanza fase-terra: 3,3 m
- Distanza fase-fase: 2,2 m
- Distanza fase-suolo: 4,5 m

La corrente massima di esercizio sarà di circa 900 A, corrispondente al regime di piena potenza del campo agro-fotovoltaico, inferiore alle correnti nominali degli apparati e dei conduttori utilizzati.

La corrente di cortocircuito che l'impianto (apparati e cavi) può sopportare per 0,5 s sarà di 31,5 kA. Tale valore di corrente sarà notevolmente superiore alla reale corrente di cortocircuito al punto di connessione del parco sulla linea a 150 kV.

Come dati di progetto si adottano i seguenti valori:

- Tensione nominale: 30 kV
- Tensione massima: 36 kV
- Livello di isolamento:
  - Tensione a frequenza industriale (1 minuto 50 Hz) (valore efficace): 70 kV
  - Tensione a impulso atmosferico (onda 1,2 / 50  $\mu$ s) (cresta): 170 kV
- Corrente nominale del trasformatore: 850 A
- Corrente nominale di cortocircuito: 40 kA
- Tempo di estinzione del guasto: 0,5 s

#### 4.5 Tensioni di esercizio (distanze minime)

*Tabella 1: Verifica distanze minime ( $V_n = 30\text{ kV}$ ,  $V_{1,2/50\ \mu\text{s}} = 170\text{ kV}$ )*

	CEI 99-2	Fissata in questo progetto
<i>Distanza minima fase-terra in aria</i>	0,32 m	0,50 m
<i>Distanza minima fase-fase in aria</i>	0,32 m	0,50 m
<i>Altitudine minima fase-suolo</i>	3,20 m	3,60 m

Per il sistema a 30 kV all'interno della sottostazione si utilizzeranno cavi isolati e segregati in apposite canalizzazioni prefabbricate, collaudate e certificate dal Costruttore secondo procedure a norma di legge per il livello di isolamento indicato.

#### **4.6 Carpenterie metalliche**

Tutti gli apparati dell'impianto elettrico esterno saranno installati su idonei supporti metallici, aventi altezza minima pari a 2,25 m (CEI 99-2), al fine di evitare il posizionamento di barriere di protezione da elementi in tensione. La base della struttura dei supporti sarà realizzata in acciaio ed in grado di sopportare gli sforzi nelle condizioni peggiori. Le fondazioni necessarie per l'ancoraggio delle strutture saranno dimensionate per assicurare la stabilità ed evitare ribaltamenti.

#### **4.7 Celle a media tensione (30 kV)**

Da punto di vista della struttura, queste celle saranno del tipo incapsulato metallico, isolate in SF6, per installazione all'interno.

Le celle da installare saranno le seguenti:

- N°1 cella del trasformatore di potenza (con interruttore automatico);
- N°3 celle di linea (con interruttore automatico);
- N°1 cella protezione trasformatore servizi ausiliari;
- N° 1 cella per alimentazione futura;
- N°2 cella per banchi di rifasamento;
- N°1 cella per misure di tensione.

#### **4.8 Servizi ausiliari**

Per i Servizi Ausiliari (SS.AA.) di Stazione sono stati previsti diversi sistemi di alimentazione, sia in corrente alternata che in corrente continua, necessari per i sistemi di controllo, comando, protezione e misura.

In particolare, è stata prevista l'alimentazione di tutti i SS.AA. mediante:

- trasformatore 30/0,4 kV dedicato;
- linea BT esterna dedicata ed indipendente dalla SE;

- Gruppo Elettrogeno (G.E.) ad installazione fissa di Stazione;
- sistema raddrizzatore/inverter/batterie.

I servizi di corrente alternata e continua saranno alloggiati in diversi armadi destinati a realizzare le rispettive distribuzioni.

#### **4.9 Telecontrollo e Telecomunicazioni**

La SE e l'area comune saranno dotate di sistema SCADA per la supervisione ed il controllo, locale e remoto, di tutte le apparecchiature di stazione e, eventualmente, anche degli inverter centralizzati, dei tracker e dei moduli fotovoltaici. Inoltre, è prevista l'installazione di un'unità periferica di difesa e monitoraggio "UPDM", per la disconnessione remota dell'impianto dalla RTN a seguito dell'eventuale ricezione di un messaggio proveniente da altri apparati periferici di telesesto o dal sistema centrale di difesa di Terna.

#### **4.10 Opere civili**

I lavori riguarderanno l'intera area della sottostazione con l'eliminazione del mantello vegetale, scavo, riempimento e compattamento fino ad arrivare alla quota di appianamento prevista. Saranno realizzate le fondazioni necessarie per le apparecchiature esterne a 150 kV ed i locali di stazione. Per l'installazione del trasformatore di potenza sarà realizzato un idoneo basamento, formato da una fondazione di appoggio avente anche la funzione anche di vasca per la raccolta dell'olio in caso di fuoriuscite. Saranno costruite le canalizzazioni elettriche necessarie alla posa dei cavi di potenza e di controllo dei diversi elementi dell'impianto.

## 5 CABINA DI RACCOLTA E MISURA

Il sistema sarà costituito da tutte le apparecchiature necessarie per l'interconnessione delle Power Station (di cui si parlerà in seguito) dell'impianto agro-fotovoltaico e il loro controllo.

In particolare, il sistema sarà costituito da:

- Cavi MT tra Power Station ed il quadro MT a 30 kV;
- Quattro scomparti con interruttore automatico e sezionatore a protezione delle Power Station, collegate fra loro in modalità "entra-esce";
- Tre scomparti con interruttore automatico e sezionatore a protezione della rete a 30 kV del campo Agro-Fotovoltaico;
- Uno scomparto con interruttore automatico e sezionatore di scorta;
- Uno scomparto con IMS e fusibili a protezione del trasformatore di alimentazione dei servizi ausiliari di impianto;
- Uno scomparto con IMS e fusibili di scorta;
- Uno scomparto misura con IMS, fusibili e TV in MT.

All'interno del prefabbricato saranno installati inoltre gli apparati di misura, comando, controllo e protezione necessari per la corretta funzionalità dell'impianto.

### 5.1 Caratteristiche apparati

Come dati di progetto si adottano i seguenti valori:

- Tensione nominale: 30 kV
- Tensione massima: 36 kV
- Livello di isolamento:
  - Tensione a frequenza industriale (1 minuto 50 Hz) (valore efficace): 70 kV
  - Tensione a impulso atmosferico (onda 1,2 / 50  $\mu$ s) (cresta): 170 kV
- Corrente nominale di cortocircuito: 40 kA
- Tempo di estinzione del guasto: 0,5 s

Per il sistema a 30 kV all'interno della sottostazione si utilizzeranno cavi isolati e segregati in apposite canalizzazioni prefabbricate, collaudate e certificate dal Costruttore secondo procedure a norma di legge per il livello di isolamento indicato.

## 5.2 Celle a media tensione (30 kV)

Da punto di vista della struttura, queste celle saranno del tipo incapsulato metallico, isolate in SF6, per installazione all'interno.

Le celle da installare saranno le seguenti:

- N°7 celle di linea (con interruttore automatico);
- N°1 cella protezione trasformatore servizi ausiliari;
- N° 1 cella per alimentazione futura;
- N°1 cella per misure di tensione.

## 5.3 Servizi Ausiliari

Per i Servizi Ausiliari del Campo Agro-FV sono previsti diversi sistemi di alimentazione, sia in corrente alternata che in corrente continua, necessari per i sistemi di controllo, comando, protezione e misura.

In particolare, è stata prevista l'alimentazione di tutti i servizi ausiliari mediante:

- trasformatore 30/0,4 kV dedicato;
- trasformatore BT/BT delle Power Station;
- sistema raddrizzatore/inverter/batterie.

I servizi di corrente alternata e continua saranno alloggiati in diversi armadi destinati a realizzare le rispettive distribuzioni.

## 5.4 Control Room – Sistema di Monitoraggio

Verrà installato un sistema di monitoraggio e controllo basato su architettura SCADA in conformità alle specifiche della piramide CIM, al fine di garantire una resa ottimale dell'impianto fotovoltaico in tutte le situazioni. Il sistema sarà connesso a diversi sistemi e riceverà informazioni:

- di produzione del campo solare;
- di produzione degli apparati di conversione;
- di produzione e scambio dai sistemi di misura;
- di tipo climatico ambientale dalle stazioni di rilevamento dati meteo;
- di allarme da tutti gli interruttori e sistemi di protezione.

Il sistema di monitoraggio ambientale avrà il compito di misurare dati climatici e dati di irraggiamento sul campo fotovoltaico. I parametri rilevati puntualmente dalla stazione di monitoraggio ambientale saranno inviati al sistema di monitoraggio SCADA e, abbinati alle specifiche tecniche del campo FV, contribuiranno alla valutazione della producibilità teorica, parametro determinante per il calcolo delle performance dell'impianto FV.

I dati monitorati saranno gestiti e archiviati da un sistema di monitoraggio SCADA. Il sistema nel suo complesso avrà ottime capacità di precisione di misura, robusta insensibilità ai disturbi, capacità di auto-diagnosi e auto-tuning.

I dati ambientali monitorati saranno:

- dati di irraggiamento;
- dati ambientali;
- temperatura moduli.

## **6 MISURA DELL'ENERGIA ELETTRICA**

L'impianto elettrico previsto garantisce la possibilità di effettuare misure dell'energia elettrica assorbita ed immessa nei seguenti punti:

- Nel Campo Agro-Fotovoltaico, negli inverter centralizzati, in corrispondenza della linea di collegamento con la Cabina di Raccolta – Totalizzatore energia lorda prodotta;
- Sul Lato MT a 30 kV in corrispondenza della Cabina di Raccolta, Totalizzatore energia prodotta al netto delle perdite del campo Agro-Fotovoltaico;
- Sul lato MT a 30 kV della SE, in corrispondenza della linea di collegamento con la Cabina di Raccolta – Totalizzatore energia prodotta al netto delle perdite della linea;
- Sulla seziona AT della SE (eventualmente ridondata) – Totalizzatore energia prelevata ed immessa in rete.

## 7 IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO

L'impianto prevede l'utilizzo di moduli fotovoltaici mono-facciali montati su strutture atte a garantire la massima captazione di irraggiamento seguendo il percorso solare e consentendo, di conseguenza, ai moduli di essere sempre nella posizione ottimale di lavoro. Tali strutture sono dette "tracker" o "inseguitori solari", proprio per questa loro caratteristica funzionale.

Si vuole evidenziare il ricorso ad un ulteriore sistema di efficientamento produttivo del campo fotovoltaico: il sistema di Backtracking, il quale consente di ridurre le perdite per auto-ombreggiamento, cioè le perdite da ombreggiamento indotto dai tracker stessi alle file retrostanti. Ciò avviene per mezzo di un sistema logico-adattivo che gestisce contemporaneamente piccoli gruppi di tracker, al fine di ottimizzare dunque le prestazioni del campo FV.

Nelle seguenti tabelle si riportano le principali caratteristiche generali d'impianto:

**Tabella 2: Caratteristiche generali d'impianto**

<i>Temperatura Verifica minima (°C)</i>	0
<i>Temperatura Verifica max (°C)</i>	60
<i>Soluzione Progettuale</i>	Tracker in configurazione 2P (Portrait)
<i>Margine altezza tracker dal suolo [m]</i>	0,4
<i>Max Inclinazione Tracker [°]</i>	± 55
<i>Tipologia</i>	Agro-Fotovoltaico
<i>Pitch [m]</i>	9,8

### 7.1 Layout e Configurazione d'Impianto

Si riporta di seguito il layout ipotizzato per l'impianto in esame, in cui sono messi in luce:

- Campo FV;
- Cavidotto: interno (al campo FV) ed esterno (dal campo FV verso la Cabina Utente);
- SE Utente;
- SE Terna.



**Figura 1: Layout completo dell'impianto Agro-fotovoltaico su ortofoto**

Focalizzando l'attenzione sul solo campo FV, per la conformazione dell'impianto, si è deciso di suddividere la zona in due lotti (A e B), all'interno dei quali si è deciso di proseguire per un'ulteriore suddivisione in sottocampi, come evidenziato nel layout seguente:

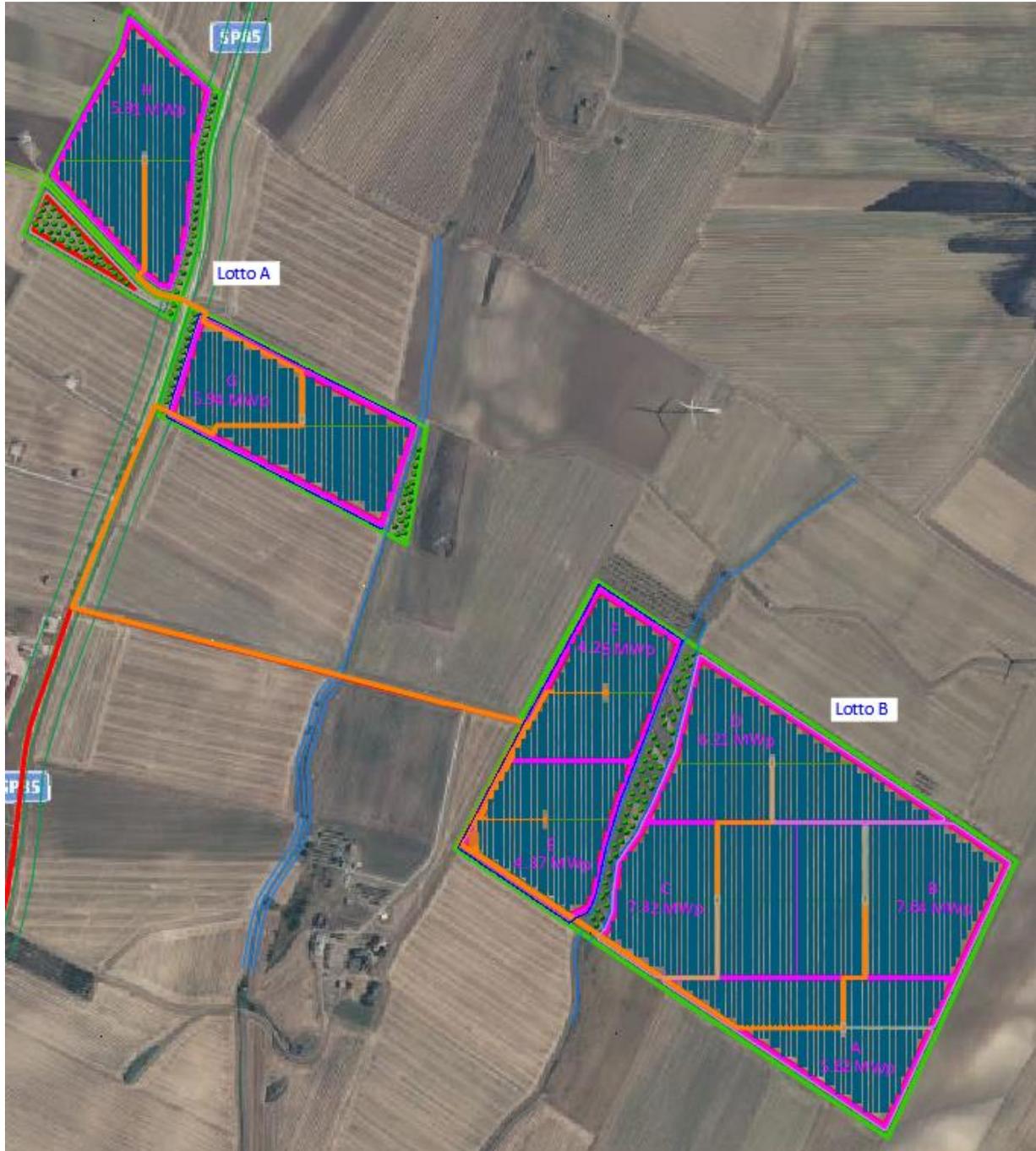


Figura 2: Layout del campo Agro-fotovoltaico e suddivisione in sottocampi

Si riporta di seguito una sintesi tecnica dell'impianto per ogni sottocampo:

*Tabella 3: Sintesi Impianto Agro-Fotovoltaico*

	Sott. A	Sott. B	Sott. C	Sott. D	Sott. E	Sott. F	Sott. G	Sott. H
<i>Tipologia di Pannelli</i>	Hi-MO5m LR5 72HPH 550M							
<i>N° Pannelli x Stringa</i>	28							
<i>Applicazione</i>	Agro FV							
<i>N° Stringhe</i>	365	496	475	403	284	278	386	384
<i>Totale Stringhe</i>	<b>3071</b>							
<i>N° Pannelli</i>	10220	13888	13300	11284	7952	7784	10808	10752
<i>Totale Pannelli</i>	<b>85988</b>							
<i>N° QdS</i>	31	42	40	34	24	24	33	32
<i>Totale QdS</i>	<b>260</b>							
<i>Potenza [kWp]</i>	5621	7638,4	7315	6206,2	4373,6	4281,2	5944,4	5913,6
<i>Potenza Tot. [MWp]</i>	<b>47,2934</b>							
<i>Tipologia Inverter</i>	1800TL B690	1800TL B690	1800TL B690	1400TL B540	1400TL B540	1400TL B540	1400TL B540	1400TL B540
<i>N° Inverter x PS</i>	3	4	4	4	3	3	4	4
<i>N° Power Station</i>	<b>8</b>							
<i>Potenza [kW] cos φ = 0,95</i>	5110,05	6813,4	6813,4	5331,4	3998,55	3998,55	5331,4	5331,4
<i>Sovracc. [%] cos φ = 0,95</i>	110%	112%	107%	116%	109%	107%	111%	111%
<i>Potenza Tot. [MW] cos φ = 0,95</i>	<b>42,7282</b>							
<i>Potenza [kW] cos φ = 1</i>	5379	7172	7172	5612	4209	4209	5612	5612
<i>Sovracc. [%] cos φ = 1</i>	104%	107%	102%	111%	104%	102%	106%	105%
<i>Potenza Tot. [MW] cos φ = 1</i>	<b>44,9770</b>							

## 7.2 Tecnologia di Progetto

### 7.2.1 Modulo FV

I moduli fotovoltaici (o pannelli solari) sono costituiti da celle solari (o celle fotovoltaiche), semiconduttori che convertono l'energia della luce solare incidente in elettricità tramite l'effetto fotovoltaico<sup>1</sup>. Si tratta di una tipologia di cellula fotoelettrica, le cui caratteristiche elettriche, cioè corrente, tensione e resistenza, possono variare quando è esposta alla luce. Il progetto prevede l'utilizzo di moduli FV monofacciali. Non si esclude in fase di progettazione esecutiva e realizzativa dell'impianto, possano essere utilizzati pannelli di tipo bifacciale, di cui a seguire si riportano gli elementi peculiari:

*Il modulo fotovoltaico bifacciale è un particolare tipo di pannello che riesce a generare energia da entrambi i lati della cella fotovoltaica, aumentando in tal modo la produzione di energia rispetto a un modulo fotovoltaico standard. Il termine che indica la capacità della cella fotovoltaica di sfruttare la luce sia frontalmente che posteriormente viene definito, appunto, "bifaccialità": un fenomeno reso possibile, in fisica, dal cosiddetto Fattore di Albedo della superficie su cui i moduli vengono installati.*

*L'albedo è l'unità di misura che indica la capacità riflettente di un oggetto o di una superficie. Solitamente viene espressa con un valore da 0 a 1, che può variare a seconda dei singoli casi. Ad esempio:*

- *neve e ghiaccio hanno un alto potere riflettente, quindi un Fattore di Albedo pari a 0,75;*
- *superfici chiare di edifici (in mattoni o vernici chiare) possono raggiungere anche lo 0,6;*
- *superfici scure di edifici (in mattoni o vernici scure) vedono un dato più ridotto (attorno allo 0,27).*

*Maggiore è l'albedo di una superficie, maggiore è la quantità di luce che è in grado di riflettere: di conseguenza, anche la produzione di energia dei pannelli fotovoltaici bifacciali sarà più o meno elevata.*

*I moduli, catturando la luce riflessa sulla parte posteriore, garantiscono un incremento di produzione che può oscillare tra il 10 e il 25% in più rispetto a un modulo monofacciale a seconda dell'albedo. Proprio per questi motivi i moduli bifacciali si candidano a rivestire un ruolo di primo piano nei prossimi anni. L'appeal di questi prodotti li rende versatili per diversi tipi di installazioni: grandi tetti piani con superfici riflettenti, pensiline*

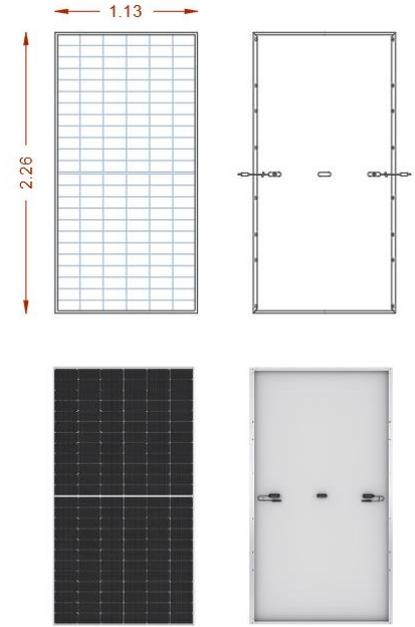
---

<sup>1</sup> In fisica dello stato solido, l'effetto fotovoltaico è il fenomeno fisico di interazione radiazione-materia che si realizza quando un elettrone presente nella banda di valenza di un materiale (generalmente semiconduttore) passa alla banda di conduzione a causa dell'assorbimento di un fotone sufficientemente energetico incidente sul materiale.

*fotovoltaiche per il ricovero e la ricarica dei veicoli elettrici, installazioni agrovoltaiche, impianti galleggianti o integrati nelle facciate degli edifici sono alcuni esempi.*

Ritornando alla tecnologia progettuale, nella seguente tabella si riportano le principali caratteristiche dei moduli FV ipotizzati:

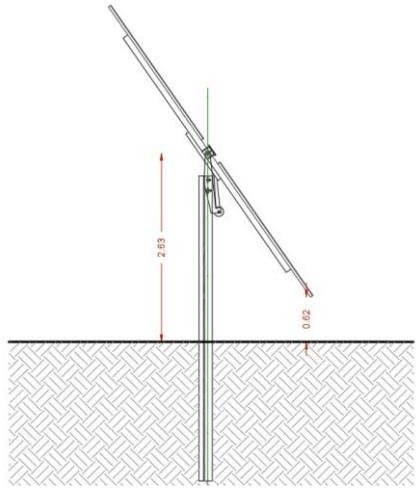
**Tabella 4: Modulo FV**

<i>Brand - Modello</i>	Longi - Hi-MO5m LR5 72HPH 550M	
<i>Potenza [Wp]</i>	550	
<i>Tensione Vmp @ 25°C [V]</i>	41,95	
<i>Tensione Voc @ 25°C [V]</i>	49,8	
<i>Corrente Imp [A]</i>	13,12	
<i>Corrente Isc [A]</i>	13,98	
<i>Coefficiente di Temperatura Voc [%/°C]</i>	-0,27	
<i>Coefficiente di Temperatura Vmp [%/°C]</i>	-0,34	
<i>Vmp @ Tmin [V]</i>	38,28	
<i>Vmp @ Tmax [V]</i>	41,21	
<i>Voc @ Tmin [V]</i>	53,16	
<i>Rendimento [%]</i>	21,5	
<i>Dimensione maggiore [mm]</i>	2256	
<i>Dimensione minore [mm]</i>	1133	
<i>Spessore [mm]</i>	35	
<i>Peso [kg]</i>	27,2	

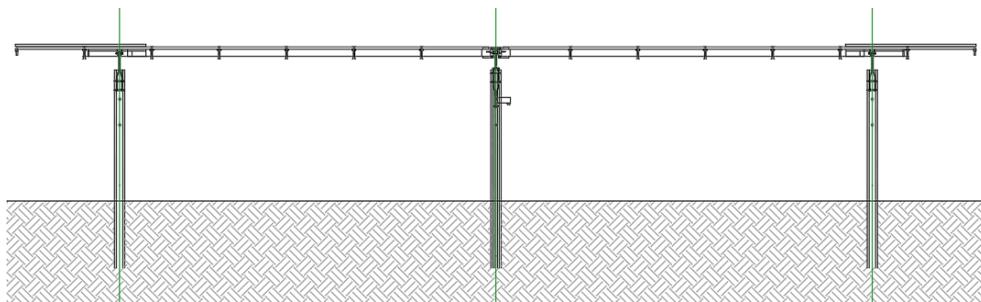
### 7.2.2 Tracker monoassiale

I tracker (o inseguitori solari) ipotizzati garantiscono compatibilità totale con i moduli FV sopra indicati. Di seguito una tabella riepilogativa con le caratteristiche chiave e un disegno preliminare della struttura:

**Tabella 5: Tracker/Stringa**

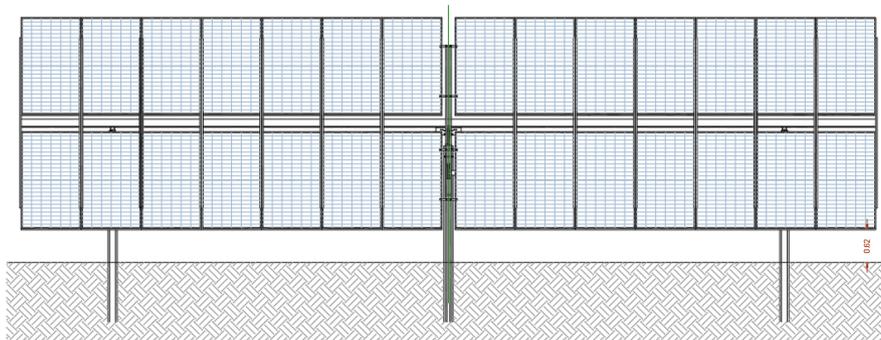
Brand – Modello	Convert - TRJ	
Tipologia	2 Portrait (2P)	
Tecnologia	Monoassiale con backtracking	
Angolo di Rotazione	$\pm 55^\circ$	
Massima inclinazione terreno N-S	15% (8°C ca)	
Numero di moduli per Tracker/Stringa	2x14	
Lunghezza Tracker [m]	32,88	
Larghezza [m]	4,91	
Altezza del fulcro dal suolo [m]	2,4	
Pitch [m]	9,8	

Si riportano alcuni dettagli della tavola “FV.ASC02.PD.F.01 - Particolari costruttivi tracker e pannelli FV Pianta, prospetti e sezione”:



**Figura 3: Tracker 2P - Vista Longitudinale in condizione di riposo**

Il sistema “tracker + moduli FV”, avrà quest’aspetto:



**Figura 4: Tracker 2P con Moduli FV - Vista Longitudinale**

### 7.2.3 Quadro di Stringa

I cavi DC in uscita dai tracker verranno indirizzato ad appositi quadri di stringa: ogni quadro di stringa avrà a disposizione un numero di input limitato ove verranno collegati i cavi in uscita dalle varie stringhe.

Disponibile in modelli da 8 a 24 ingressi e con una tensione massima DC di 1500 V, è stato scelto il quadro di stringa prodotto da INGETEAM, gli INGECON SUN 12B. I quadri della serie INGECON SUN sono inoltre caratterizzati dalla presenza all'interno di portafusibili in DC, fusibili in DC, scaricatori di sovratensione DC indotti da fulmini e interruttore sezionatore sotto carico:

**Tabella 6: Quadri di Stringa**

<i>Brand - Modello</i>	INGETEAM – INGECON SUN StringBox 12B	
<i>N° max di input FV</i>	12	
<i>Corrente di corto-circuito <math>I_{sc}</math> [A]</i>	13,98	
<i>Corrente di impiego <math>I_{mp}</math> [A]</i>	13,12	
<i>Corrente max di corto-circuito [A]</i>	167	
<i>Tensione max [V]</i>	1500	
<i>Fusibile</i>	Uno per polo	
<i>Scaricatore</i>	Tipo I e II	
<i>Sezionatore DC</i>	250 A, 2 poli	
<i>Peso [kg]</i>	40	
<i>Dimensioni (L x A x P) [mm]</i>	930 x 730 x 260	

### 7.2.4 Inverter Centralizzato

In fase progettuale si è cercato di uniformare la tecnologia inverter da utilizzare a vantaggio dell'economicità e in modo da facilitare la manutenzione. Si riportano di seguito le caratteristiche principale dei due modelli utilizzati in fase di dimensionamento preliminare:

**Tabella 7: Inverter interni alle Power Station (PS)**

<i>Brand - Modello</i>	INGETEAM - 1400TL B540	INGETEAM - 1800TL B690
<i>Potenza Nominale in Input da Stringa FV [kWp]</i>	1389	1775
<i>Potenza Massima in Input da Stringa FV [kWp]</i>	1824	2330
<i>V<sub>mpp</sub> min [V]</i>	769	977

<i>V<sub>mpp</sub> max [V]</i>	1300	
<i>Tensione Massima [V]</i>	1500	
<i>Massima corrente [A]</i>	1870	
<i>Potenza di uscita [kVA] @ 30°C</i>	1403	1793
<i>Tensione di uscita [V]</i>	540 (Sistema IT)	690 (Sistema IT)



### 7.2.5 Power Station

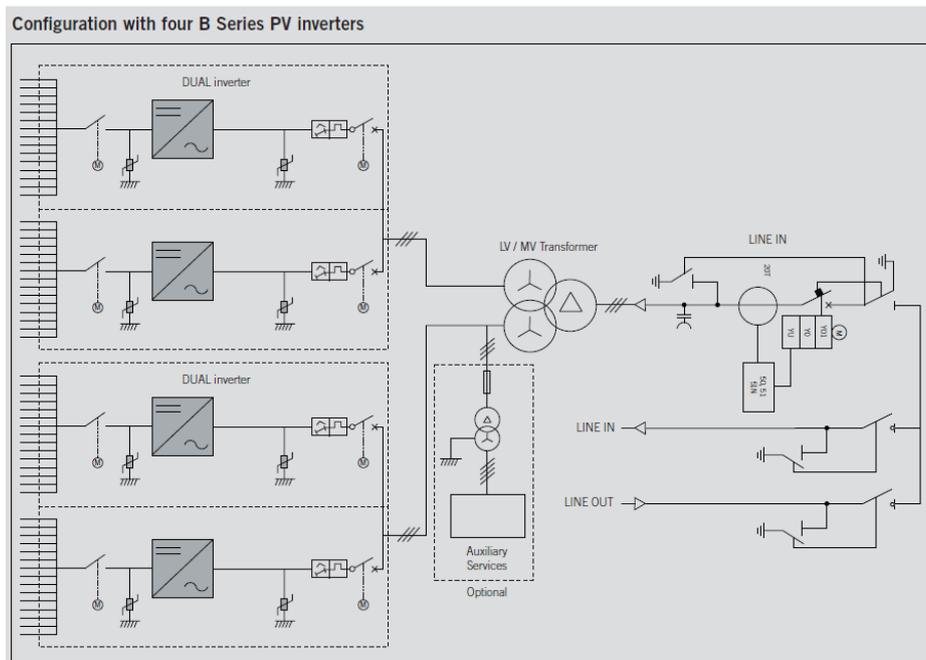
Ogni Power Station effettua una trasformazione continua/alternata in BT per mezzo degli inverter prima indicati e, successivamente, con l'ausilio di trasformatori BT/MT eleva la tensione a 30 kV.

**Tabella 8: Power Station**

<i>Brand – Modello</i>	INGECON SUN FSK			
<i>Tipo</i>	7200 B SERIES	5400 B SERIES	5600 B SERIES	4200 B SERIES
<i>N° Inverter</i>	4	3	4	2
<i>Potenza Output [kVA] @30°C</i>	7172	5379	5612	4209
<i>Tensione Trafo lato BT [V]</i>	690		540	
<i>Tensione Trafo lato MT [V]</i>	30			



Le Power Station con la configurazione “entra-esce” permettono di collegare diversi sottocampi dislocati geograficamente. Uno schema elettrico tipo di una Power Station è il seguente:



**Figura 5: Schema Elettrico Unifilare Power Station**

## 8 CONNESSIONI INTERNE AL CAMPO AGRO-FOTOVOLTAICO IN DC

Come descritto brevemente nel Paragrafo 7.2, l'utilizzo di moduli FV prevede necessariamente la circolazione di energia in DC interna al campo Agro-FV, prima di poter essere trasformata in BT ed elevata successivamente in MT in Power Station dedicate. In considerazione delle connessioni progettate e dimensionate, si andranno ad utilizzare due tipologie di cavi in condizioni di posa differenti:

- *H1Z2Z2-K*: Cavo solare "in aria" per la connessione fisica fra i moduli FV e il Quadro di Stringa dedicato;
- *ARG16R16*: Cavo BT (DC) "interrato" per la connessione fra il Quadro di Stringa e gli Inverter Centralizzati disposti internamente alle Power Station.

### 8.1 Cavo Solare H1Z2Z2-K

Si riporta di seguito un'immagine caratteristica del cavo in esame:



Figura 6: Cavo Solare H1Z2Z2-K

Questi cavi unipolari flessibili stagnato si adoperano per l'interconnessione di elementi di impianti fotovoltaici in quanto, oltre ad una tensione massima di 1800 V in continua, hanno un'elevata adattabilità alle condizioni ambientali esterni. Infatti sono adatti sia per l'installazione fissa all'esterno che all'interno, entro tubazioni in vista o incassate o in sistemi chiusi similari; sono adatti sia per la posa direttamente interrata che entro tubo interrato e possono essere utilizzati con apparecchiature di classe II. Sono caratterizzati da proprietà meccaniche ottimali in un intervallo di temperatura di esercizio da - 40 a + 90 °C, elevata resistenza all'abrasione, alla lacerazione, ai raggi UV, all'ozono, all'acqua, non propagazione della fiamma, basso sviluppo di fumi, assenza di alogeni, resistenza agli agenti atmosferici che ne permette una durata almeno pari alla vita dell'impianto fotovoltaico

Le loro caratteristiche sono di seguito riportate:

- Conduttore: Rame stagnato ricotto, classe 5;

- Isolante e Guaina esterna: miscela LSOH (Low Smoke Zero Halogen) di gomma reticolata speciale di qualità conforme alla norma EN 50617, non propagante la fiamma, qualità Z2;
- Colore anime: nero;
- Colore guaina: blu, rosso, nero

I cavi tra i moduli a formare le stringhe saranno opportunamente fissati alla struttura tramite fascette, e comunque canalizzati in modo da essere a vista. Discorso analogo vale per il collegamento tra tali cavi e i quadri di stringa.

## 8.2 Cavo BT (DC) ARG16R16

Si riporta di seguito un'immagine caratteristica del cavo in esame:



*Figura 7: Cavo BT ARG16R16 0,6/1 kV*

Tali cavi sono stati impiegati poiché adatti per il trasporto di energia nell'industria, nei cantieri, nell'edilizia residenziale; inoltre ammettono la posa interrata anche se non protetta. Essi sono impiegati per installazione fissa all'interno e all'esterno, su murature e strutture metalliche, su passerelle, tubazioni, canalette e sistemi simili.

Date le proprietà di limitare lo sviluppo del fuoco e l'emissione di calore, il cavo è adatto per l'alimentazione di energia elettrica nelle costruzioni ed altre opere di ingegneria civile. Essi hanno le seguenti caratteristiche costruttive:

- Conduttore: in alluminio, in corda rigida rotonda compatta, classe 2;
- Isolamento: in gomma, qualità G16;
- Cordatura Totale: i conduttori isolati sono cordati insieme;
- Guaina Riempitiva: in materiale termoplastico;
- Guaina Esterna: in PVC (Polivinilcloruro), qualità R16;

## 9 LINEE MT DI INTERCONNESSIONE CAMPO AGRO-FOTOVOLTAICO – SE UTENTE

### 9.1 Cavidotto Interno ed Esterno

Il “cavidotto interno” realizza la connessione elettrica interna al campo FV in MT tra le Power Station, in collegamento “entra-esce”, e tra le Power Station e la Cabina di Raccolta.

Nella Figura 8, si riporta il Lotto B e il collegamento in “entra-esce” fra le PS dei Sottocampi H e G, da cui parte un nuovo cavidotto MT interrato per la Cabina di Raccolta.



Figura 8: Lotto B - collegamento entra-esce PS

In Figura 9, invece, si riporta il Lotto B e il collegamento in “entra-esce” fra le PS dei Sottocampi A e B, fra le PS dei Sottocampi C e D e fra le PS del Sottocampi E e F. In uscita da A, C ed E parte nuovo cavidotto interrato in MT fino alla Cabina di Raccolta:



Figura 9: Lotto A - collegamento entra-esce PS

Il “cavidotto esterno” collega l’impianto agro-fotovoltaico alla Stazione Utente, come si evidenzia dalla Figura 1.

## 9.2 Tipologia Cavi

Per il collegamento elettrico in MT, si prevede l'utilizzo di cavi unipolari di tipo ARE4H5E-18/30 kV, aventi le seguenti caratteristiche:

- Anima realizzata con conduttore a corda rotonda compatta di alluminio;
- Semiconduttore interno a mescola estrusa;
- Isolante in mescola di polietilene reticolato per temperature a 85°C XLPE;
- Semiconduttore esterno a mescola estrusa;
- Rivestimento protettivo realizzato con nastro semiconduttore igroespandente;
- Schermo a nastro in alluminio avvolto a cilindro longitudinale ( $R_{\max} = 3 \Omega/\text{km}$ );
- Guaina in polietilene, colore rosso.

Il cavo rispetta le prescrizioni delle norme HD 620 per quanto riguarda l'isolante; per tutte le altre caratteristiche rispetta la IEC 60502-2.

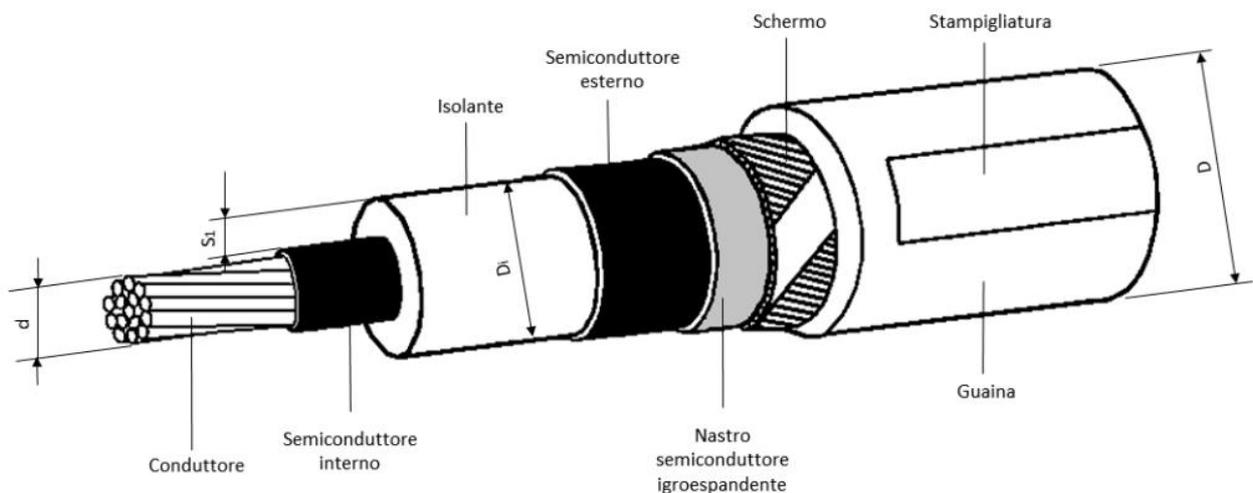


Figura 10: Immagine indicativa del tipo di Cavo

### 9.3 Tipologia Posa

Il cavidotto MT che interessa il collegamento tra il campo agro-fotovoltaico, la cabina di raccolta e la sottostazione elettrica seguirà le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17. Sarà costituito da cavi unipolari direttamente interrati (modalità di posa tipo M), ad eccezione degli attraversamenti di opere stradali e o fluviali richieste dagli enti concessionari, per i quali sarà utilizzata una tipologia di posa che prevede i cavi unipolari in tubo interrato (modalità di posa N). La posa verrà eseguita ad una profondità di 1,25 m.

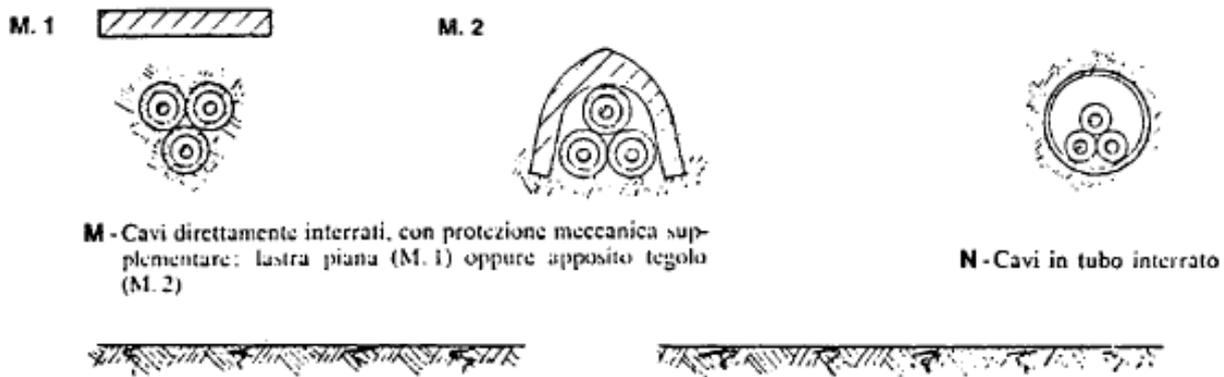
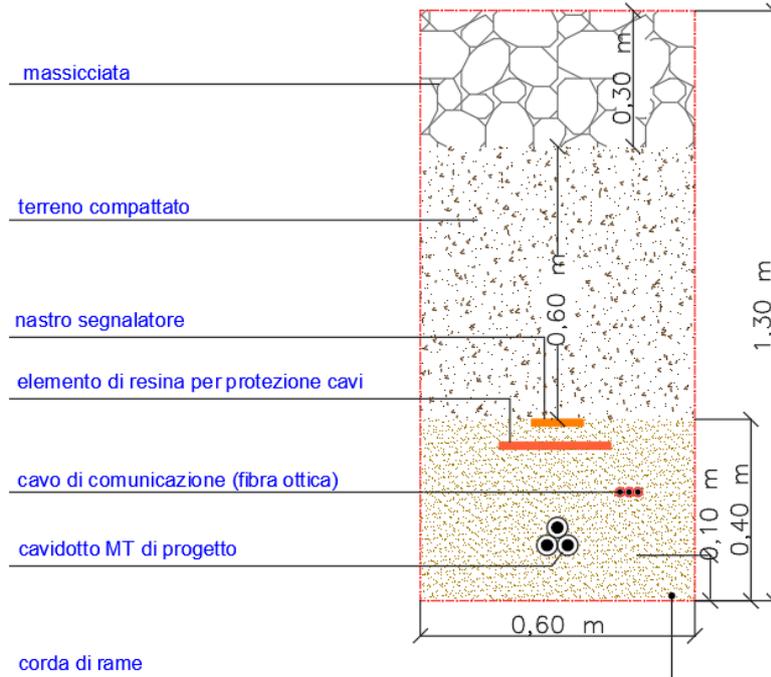


Figura 11: Modalità di Posa (CEI 11-17)

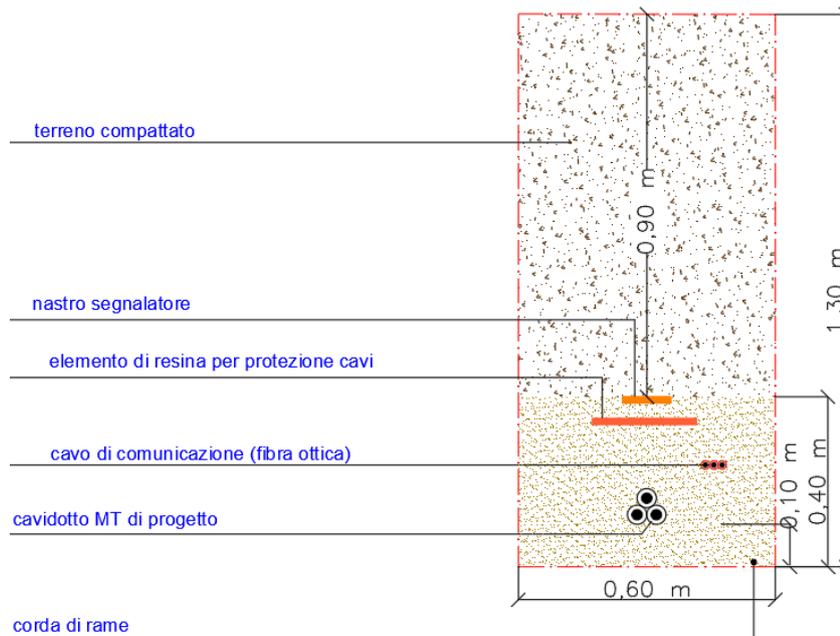
Il tracciato del cavidotto, che segue la viabilità prima definita, è realizzato nel seguente modo:

- Scavo a sezione ristretta obbligata (trincea) con dimensioni variabili;
- Letto di sabbia di circa 10 cm, per la posa delle linee MT avvolte ad elica;
- Rinfiaccio e copertura dei cavi MT con sabbia per almeno 10 cm;
- Corda nuda in rame (o in alluminio) per la protezione di terra (avente, come previsto da norma CEI EN 61936-1, una sezione maggiore o uguale di 16 mm<sup>2</sup> per il rame e 35 mm<sup>2</sup> nel caso di alluminio), e tubazioni PVC per il contenimento dei cavi di segnale e della fibra ottica, posati direttamente sulla sabbia, all'interno dello scavo;
- Riempimento per almeno 20 cm con sabbia;
- Inserimento per tutta la lunghezza dello scavo, e in corrispondenza dei cavi, delle tegole protettive in plastica rossa per la protezione e individuazione del cavo stesso;
- Nastro in PVC di segnalazione;
- Rinterro con materiale proveniente dallo scavo o con materiale inerte.

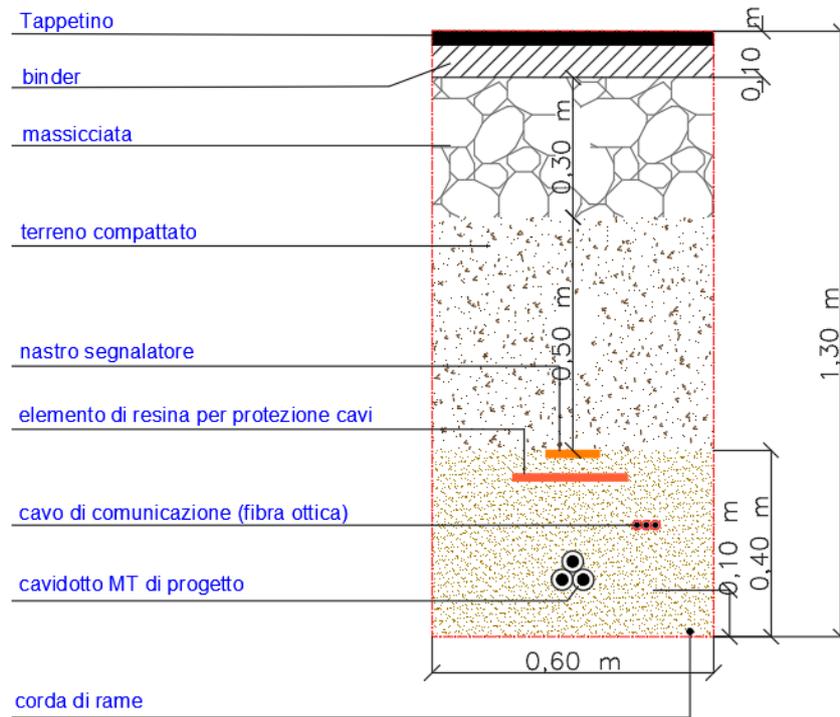
In figura, si riporta una sezione generica del cavidotto:



**Figura 12: Sezione Cavidotto doppia terna di cavi su Strada Bianca**



**Figura 13: Sezione Cavidotto singola terna di cavi su Terreno**



**Figura 14: Sezione Cavidotto singola terna di cavi su Strada Asfaltata**

Si rimanda alla Tavola "FV.ASC02.PD.F.03.1 e FV.ASC02.PD.F.03.2 – Planimetria Cavidotto MT di Progetto per Collegamento alla SSE e Particolari delle Sezioni Tipo" per ulteriori dettagli

## 10 DIMENSIONAMENTO CAVI DC

Per la scelta dei cavi della parte in corrente continua, si può assumere cautelativamente una tensione<sup>2</sup> di  $1,2 U_{oc}$ , dove  $U_{oc}$  è la tensione a vuoto della stringa in condizioni di prova standard<sup>3</sup>. Il vincolo che deve essere verificato è che:

$$1,5 U_o \geq 1,2 U_{oc}$$

con  $U_o$ : tensione di fase verso terra (coincidente alla tensione nominale per sistemi isolati da terra).

Siccome il sistema deve poter sopportare  $1500 V_{cc}$ , il cavo deve essere designato come  $U_o/U - 1 \text{ kV} / 1 \text{ kV}$  garantendo il rispetto della disuguaglianza precedentemente scritta.

Prendendo a riferimento la "CEI 82-25: Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione" è possibile individuare due condizioni da rispettare per il dimensionamento a "regola d'arte" dei cavi in DC:

1. La caduta di tensione massima deve rientrare nel 2% (anche se è buona regola indicare come soglia l'1%);
2. Il dimensionamento dei cavi deve essere fatto considerando una corrente che è  $1,25 \times I_{sc}$  (Corrente di cortocircuito del modulo FV) in qualsiasi punto<sup>4</sup> in maniera tale da omettere la protezione contro i sovraccarichi.

### 10.1 Cavo Parallelo Stringhe – Quadro di Stringa

Per il dimensionamento dei cavi in DC per la connessione tra i moduli FV e i Quadri di Stringa (QdS), si è fatto riferimento alla normativa "CEI EN 50618 – Cavi Elettrici per Impianti Fotovoltaici". In particolare, oltre ad individuare la portata  $I_0$  del cavo H1Z2Z2-K nota la condizione di posa, individua due fattori correttivi da applicare affinché si verifichi:

$$I_z \geq K_T \cdot K_n \cdot I_0 \geq I_b = 1,25 \times I_{sc}$$

dove:

<sup>2</sup> IEC TS 62257-7-1, art 6.1.4.2.

<sup>3</sup>  $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , Irraggiamento =  $1000 \text{ W/m}^2$

<sup>4</sup> CEI 64-8, art 712.433

- $K_T$  è il fattore di conversione per corrente nominale per diverse temperature ambientali;
- $K_N$  è il fattore di correzione per installazioni di gruppo<sup>5</sup>.

Si riportano i dati significativi per il dimensionamento del cavo in DC di connessione tra le stringhe e il Quadro di Stringa:

**Tabella 9: Dati per Dimensionamento cavi DC per collegamento moduli FV**

<i>Modello Modulo FV</i>	Hi-MO5m LR5 72HPH 550M
<i>Corrente <math>I_{SC}</math> @ STC [A]</i>	13,98
<i>Tensione <math>V_{oc}</math> @ STC [V]</i>	49,8
<i>Moduli per Stringa</i>	28
<i>Temperatura ambientale [°C]</i>	Fino a 60°C
<i>N° stringhe per Quadro di Stringa</i>	16
<i>Tipo di Posa</i>	Due cavi a contatto su superficie
<i>Massima Caduta di Tensione</i>	2% (30 V)

In queste condizioni, i fattori correttivi da applicare sono:

- $K_T = 1$ ;
- $K_N = 0,45$ .

Considerando che per Quadro di Stringa ci sono 12 input, si andranno a connettere 12 stringhe. Il cavo scelto risulta immediatamente idoneo in termini di tensione in quanto:

$$1,5 \cdot 1 \text{ kV} = 1500 \text{ V} \geq 1,2 \cdot 49,8 \text{ V} \cdot 12 = 717,12 \text{ V}$$

Si ipotizza che la distanza media di un tracker dal QdS dedicato sia di 80 m. Si riportano di seguito i valori scelti per il cavo in esame:

**Tabella 10: Dati cavo H1Z222-K scelto**

<i>Sezione [mm<sup>2</sup>]</i>	4
<i>Resistenza [<math>\Omega</math>/km] @ 90°C</i>	5,79

<sup>5</sup> HD 60364-5-32:2011, Tabella B.52.17

Portata $I_0$ [A]	44
Corrente effettiva $I_z$ [A]	19,8

È facile verificare che, con una sovraccaricabilità del 125%, è verificata la condizione 2 precedente:

$$I_z = 19,8 \text{ A} \geq I_b = 1,25 \cdot 13,98 \text{ A} = 17,48 \text{ A}$$

Inoltre, definita la distanza media della stringa dal QdS, è garantito anche il rispetto della massima caduta di tensione ammissibile:

$$\Delta V = 2 \cdot r \cdot l \cdot I_b = 2 \cdot 5,79 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,08 \text{ km} \cdot 17,48 \text{ A} = 15,94 \text{ V} < 30 \text{ V}$$

Possiamo concludere che la sezione scelta è sufficiente (a maggior ragione essendoci posti in condizioni cautelative e nell'ipotesi di pieno carico) per garantire la connessione dei moduli FV al Quadro di Stringa.

## 10.2 Cavo Quadro di Stringa – Inverter Centralizzati

Per il cavo di collegamento tra il Quadro di Stringa e gli Inverter Centralizzati interni alle Power Station si adopera il cavo ARG16R16, utile per lo il trasporto di energia in BT (o DC). Per questa tipologia di cavo, oltre alla modalità di posa che definisce la portata  $I_0$ , si individuano quattro fattori correttivi<sup>6</sup> da applicare affinché si verifichi:

$$I_z \geq K_T \cdot K_N \cdot K_P \cdot K_R \cdot I_0 \geq I_b = 1,25 \times N \cdot I_{sc}$$

Dove:

- N rappresenta il numero di stringhe che arrivano nel QdS;
- $K_T$  è il coefficiente di correzione per posa interrata e temperature ambientali diverse dai 20 °C;
- $K_N$  è il coefficiente di correzione per gruppi di più circuiti;
- $K_P$  è il coefficiente di correzione per valori di profondità di posa diversa da 0,8 m;
- $K_R$  è il coefficiente di correzione per valori di resistività termica diversi da 1,5 K m/W.

---

<sup>6</sup> CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua

Si riportano i dati significativi per il dimensionamento del cavo in BT (DC) per la connessione tra i Quadri di Stringa e l'Inverter:

**Tabella 11: Dati per Dimensionamento cavi BT (DC) per collegamento Quadri di Stringa**

<i>N° Input per QdS</i>	12
<i>Corrente QdS <math>I_b</math> [A]</i>	209,70
<i>Tipo di Posa</i>	Interrata in Tubo
<i>Temperatura di Posa [°C]</i>	35
<i>N° Conduttori nello scavo</i>	6
<i>Distanza tra circuiti [mm]</i>	250
<i>Profondità di Posa [m]</i>	0,8
<i>Resistività Termica [K m/W]</i>	1,5
<i>Massima Caduta di Tensione</i>	2% (30 V)

In queste condizioni, i fattori correttivi da applicare sono:

- $K_T = 0,89$ ;
- $K_N = 0,7$ ;
- $K_p = 1$ ;
- $K_r = 1$ .

Si ipotizza che la distanza media di un QdS dalla PS dove è inserito l'inverter sia di 100 m circa. Si riportano di seguito i valori scelti per il cavo in esame:

**Tabella 12: Dati cavo ARG16R16 scelto**

<i>Sezione [mm<sup>2</sup>]</i>	300
<i>Cavi in parallelo</i>	1
<i>Resistenza [<math>\Omega</math>/km] @ 20°C</i>	0,16
<i>Portata <math>I_0</math> [A]</i>	370
<i>Corrente effettiva <math>I_z</math> [A]</i>	231

È facile verificare che, con una sovraccaricabilità del 125%, è verificata la condizione precedente:

$$I_z = 231 \geq I_b = 1,25 \cdot 12 \cdot 13,98 = 209,7 \text{ A}$$

CODICE	FV.ASC02.PD.H.07
REVISIONE n.	00
DATA REVISIONE	02/2022
PAGINA	41 di 45

Inoltre, definita la distanza media del QdS dalla Power Station, è garantito anche il rispetto della massima caduta di tensione ammissibile:

$$\Delta V = 2 \cdot r \cdot l \cdot I_b = 2 \cdot 0,16 \frac{\Omega}{km} \cdot 0,1 km \cdot 231 = 7,40 V < 30 V$$

Possiamo concludere che la sezione scelta è sufficiente (a maggior ragione essendoci posti in condizioni cautelative e nell'ipotesi di pieno carico) per garantire la connessione dei QdS agli inverter delle PS.

## 11 DIMENSIONAMENTO CAVI MT

Per il dimensionamento dei cavi in MT è stato adoperato il criterio termico (come indicato dalla CEI UNEL 35027), utilizzando il criterio elettrico come ulteriore verifica delle sezioni scelte. Per il criterio termico è necessario individuare innanzitutto la corrente d'impiego  $I_b$  per la singola tratta, in modo da garantire che la portata del cavo  $I_0$  (opportunosamente corretta) sia sempre maggiore della corrente d'impiego prevista.

$$I_z = K_{TT} \cdot K_d \cdot K_p \cdot K_r \cdot I_0 > I_b$$

Dove:

- $K_{TT}$  è il coefficiente di correzione per posa interrata e temperature ambientali diverse dai 20 °C;
- $K_d$  è il coefficiente di correzione per cavi tripolari (nel nostro caso assumeremo 1 perché adoperiamo cavi unipolari);
- $K_p$  è il coefficiente di correzione per valori di profondità di posa diversa da 0,8 m (cavi direttamente interrati);
- $K_r$  è il coefficiente di correzione per valori di resistività termica diversi da 1,5 K m/W (cavi direttamente interrati)

Per il criterio elettrico è necessario verificare che la massima caduta di tensione sul cavidotto, nelle condizioni di funzionamento ordinario e particolari previsti (per es. avviamento motori), sia entro valori accettabili in relazione al servizio. Indicazioni circa i valori ammissibili per la caduta di tensione possono essere ricavati dalle norme relative agli apparecchi utilizzatori connessi e dalle norme relative agli impianti, ove applicabili. Nel caso specifico si assume:

$$\Delta V = K_L \cdot (RI \cos\varphi + XI \sin\varphi) \leq 4\%$$

Dove:

- $K_L$ , coefficiente di linea: 2 per linea monofase e  $\sqrt{3}$  per linea trifase;
- $R$ , resistenza del cavo;
- $X$ , reattanza del cavo;
- $I$ , corrente di impiego ( $I_b$ );
- $\cos\varphi$  ( $\sin\varphi$ ), fattore di potenza.

Si riportano i dati di progetto per il dimensionamento delle varie tratte del cavidotto interno e del cavidotto esterno, dove con la prima lettera indichiamo il punto di partenza, quale un Sottocampo o la Cabina di

Raccolta (CR) e con la seconda lettera indichiamo il punto di arrivo, quale un Sottocampo, la CR o la Stazione Utente direttamente (SE):

*Tabella 13: Dati di Progetti per Dimensionamento Elettrico*

<b>Sottocampi Interessati</b>	<b>A-B</b>		<b>C-D</b>		<b>E-F</b>		<b>G-H</b>		<b>Linea</b>
	<b>B-A</b>	<b>A-CR</b>	<b>D-C</b>	<b>C-CR</b>	<b>F-E</b>	<b>E-CR</b>	<b>H-G</b>	<b>G-CR</b>	
<i>Potenza Sott. [kW]</i>	71722	12551	5612	12784	4209	8418	5612	11224	44977
<i>Corrente d'Impiego <math>I_b</math> [A]</i>	145,3	254,3	113,7	256,0	85,3	170,5	113,7	227,4	911,1
<i>Lunghezza Linea [km]</i>	0,30	0,80	0,40	0,70	0,50	0,20	0,70	1,80	19,00
<i>Tensione Linea [kV]</i>	30,00								
$\Delta V\%$	4,00								
<i>cos <math>\varphi</math></i>	0,95								
<i>Tipo di posa</i>	Interrato								
<i>Tipo di linea</i>	Trifase								
<i>Temperatura Amb. [°C]</i>	25								
<i>Temperatura di Posa [°C]</i>	35								
$K_{TT}$	0,89								
<i>Profondità di Posa [m]</i>	1,20								
$K_P$	0,98								
<i>Numero Terne nello Scavo</i>	1	3	1	3	1	3	1	1	3
$K_N$	1,00	0,78	1,00	0,78	1,00	0,78	1,00	1,00	0,78
<i>Distanza Terne [mm]</i>	250								
$\rho$ [K m/W]	1,5								
$K_R$	0,85								

Si riportano di seguito le scelte progettuali delle sezioni dei cavi ARE4H5E – 18/30 kV:

*Tabella 14: Dimensionamento Cavi*

<b>Tratta</b>	<b>B-A</b>	<b>A-CR</b>	<b>D-C</b>	<b>C-CR</b>	<b>F-E</b>	<b>E-CR</b>	<b>H-G</b>	<b>G-CR</b>	<b>Linea</b>
<i>Sezione Cavo [mm<sup>2</sup>]</i>	120	300	120	300	120	300	120	300	400
<i>Cavi in Parallelo</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	3

Portata Cavo $I_0 [A]^7$	291	480	291	480	291	480	291	480	1647
Portata effettiva $I_z [A]$	216	278	216	278	216	278	216	356	952

Si riportano nella tabella successiva le caratteristiche meccaniche ed elettriche in funzione delle sezioni scelte:

**Tabella 15: Caratteristiche meccaniche ed elettriche del Cavo in funzione della Sezione scelta**

Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Diametro Conduttore d [mm]	Diametro sull'isolante Di [mm]	Diametro esterno nominale D [mm]	Massa indicativa del cavo [kg/km]	Raggio di Curvature [mm]	Resistenza a trifoglio @ 90 °C [Ω/km]	Reattanza a trifoglio @ 50 Hz [Ω/km]
120	12,9	27,4	36	1040	470	0,333	0,130
300	20,8	34,7	44	1749	590	0,1360	0,110
400	23,8	37,9	48	2130	650	0,1090	0,110

Di seguito una tabella riepilogativa con le perdite ricavate a partire dalle caratteristiche del cavo e dalla configurazione d'impianto:

**Tabella 16: Perdite d'impianto**

Tratta	B-A	A-CR	D-C	C-CR	F-E	E-CR	H-G	G-CR	Linea
Caduta di	22,2 V	48,6 V	23,2 V	43,3 V	21,7 V	8,2 V	40,6 V	97,8 V	206,7 V
Tensione	0,07 %	0,16 %	0,08 %	0,14 %	0,07 %	0,03 %	0,14 %	0,33 %	0,69 %
Potenza	5 kW	17 kW	4 kW	15 kW	3 kW	2 kW	7 kW	30 kW	153 kW
Dissipata	0,07 %	0,13 %	0,07 %	0,12 %	0,07 %	0,02 %	0,13 %	0,27 %	0,3 4%

Come si può evincere dalla tabella, la c.d.t. totale dell'impianto stimata è pari a:

$$\Delta V = 512,2 (1,7\%) < 1200 V (4\%)$$

Per quanto riguarda la potenza dissipata, rientriamo in un valore inferiore al **2%**.

<sup>7</sup> Trifoglio, direttamente interrato, a  $\rho = 1 K m / W$

## 12 SCHEMA ELETTRICO UNIFILARE IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO

Si riporta di seguito un estratto dello schema unifilare dell'impianto agro-fotovoltaico in esame. Per maggiori dettagli, si rimanda alla tavola "FV.ASC02.PD.H.07- Schema Elettrico Unifilare".

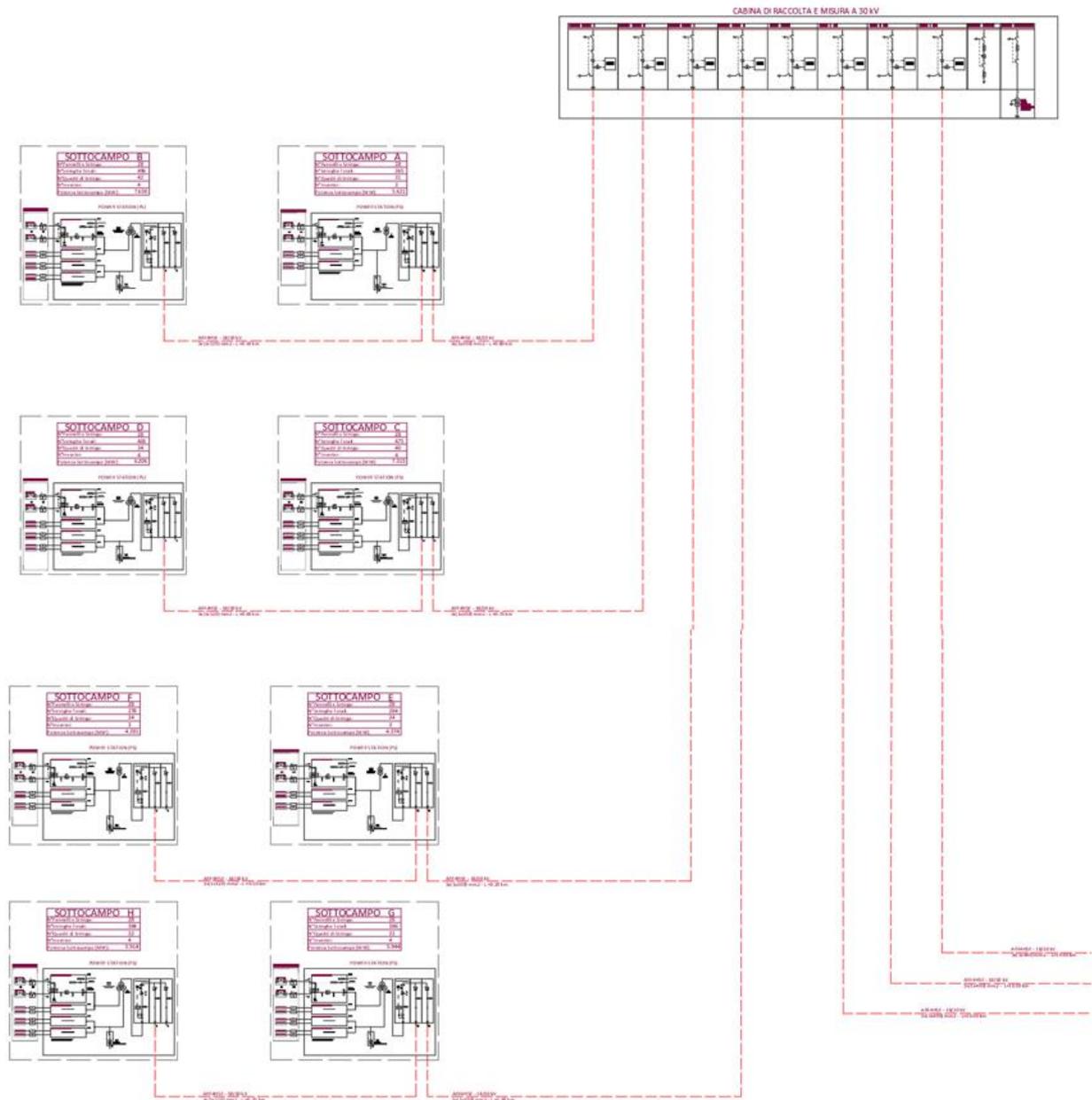


Figura 15: Estratto Schema Elettrico Unifilare