

**IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA  
FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA CON ACCUMULO  
DENOMINATO "SASSARI 02"**

**REGIONE SARDEGNA  
PROVINCIA di SASSARI  
COMUNI di SASSARI e PORTO TORRES**

**PROGETTO DEFINITIVO**

Tav.:

Titolo:

**R07**

**Calcoli preliminari degli impianti**

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato

n.a.

**A4**

**R07\_CalcoliPreliminarImpianti\_07**

Progettazione:

Committente:

**DOTT. ING. Fabio CALCARELLA**

Via Bartolomeo Ravenna, 14 - 73100 Lecce  
Mob. +39 340 9243575  
fabio.calcarella@gmail.com - fabio.calcarella@ingpec.eu  
P. IVA 04433020759



**Whysol-E Sviluppo S.r.l.**

Via Meravigli, 3 - 20123 - MILANO  
Tel: +39 02 359605  
info@whysol.it - whysol-e.sviluppo@legalmail.it  
P. IVA 10692360968

Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Marzo 2021	Prima emissione	STC	FC	WHYSOL-E Sviluppo s.r.l.

## Sommario

1. Premessa.....	2
2. Descrizione generale dell'impianto fotovoltaico .....	2
3. Dimensionamento preliminare dei componenti d'impianto.....	5
3.1. ELETTRODOTTI MT INTERNI (rete elettrica interna all'Impianto fotovoltaico per il collegamento dei sotto-campi alla Cabina di Raccolta).....	5
3.1.1. Caratteristiche tecniche delle linee .....	6
3.2. ELETTRODOTTI MT INTERNI (rete elettrica interna all'Impianto fotovoltaico per il collegamento del Sistema di Accumulo alla Cabina di Raccolta) .....	7
3.3. ELETTRODOTTO DI COLLEGAMENTO ALLA SSE (dorsale esterna) .....	8
3.3.1. Generalità.....	8
3.3.2. Descrizione del tracciato del cavidotto .....	8
3.3.3. Opere attraversate .....	8
3.3.4. Caratteristiche tecniche del cavidotto di collegamento alla SSE (dorsale esterna) .....	9
3.3.5. Dimensionamento del cavidotto.....	9
3.3.6. Caratteristiche tecniche della linea .....	9
3.3.7. Calcolo della portata massima della linea MT.....	10
3.4. Giunti cavi MT.....	14
3.5. CAVIDOTTO AT (di collegamento tra la SSE Utente e la SE Terna " <i>Porto Torres I</i> ").....	18
4. Dimensionamento preliminare della rete di terra (Impianto fotovoltaico).....	20
4.1. Rete di terra di impianto fotovoltaico .....	20
4.1.1. Verifiche di idoneità dell'impianto .....	20
4.1.2. Efficienza dell'impianto di terra per tensioni di contatto .....	21
4.2. Rete di terra Cabine di Raccolta e delle Cabine di Campo.....	21

## 1. Premessa

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico (impianto **FV**) di potenza nominale **30 MW** con annesso Sistema di Accumulo dell'energia prodotta (**SdA**), avente potenza nominale pari a **90 MW**. L'impianto si svilupperà su una superficie pari a 42,72 ha.

L'impianto sarà costituito dall'area di installazione dei moduli fotovoltaici, dei gruppi di conversione / trasformazione e dei moduli prefabbricati (container) contenenti le batterie al litio per l'accumulo dell'energia prodotta, nonché da tutte le opere annesse (cavidotti MT), sarà ubicato nel Comune di Sassari (SS). L'energia elettrica prodotta a 550 V in c.c. dai generatori fotovoltaici (moduli) viene prima raccolta in dei Quadri di Parallelo Stringhe posizionati in campo in prossimità delle strutture di sostegno dei moduli e quindi convogliata presso i gruppi di conversione/trasformazione (Shelter), all'interno dei quali avviene la conversione della corrente da c.c. a c.a. (per mezzo di un inverter centralizzato da 2.500 kVA) e l'innalzamento di tensione da 0,55 kV a 30 kV (per mezzo di un trasformatore MT/BT). Da qui, l'energia sarà trasportata verso la più vicina Cabina di Campo.

Lo scopo del documento è il calcolo preliminare degli Impianti ed in particolare di:

- linee di Media Tensione interne all'impianto Fotovoltaico (linee in entra-esce dalle Cabine di Campo);
- rete di terra dell'impianto fotovoltaico.

## 2. Descrizione generale dell'impianto fotovoltaico

Il progetto dell'impianto fotovoltaico interessa tre lotti ubicati ad una distanza minima di circa 10,6 km a Sud-Ovest dell'abitato di Porto Torres (SS).

Le aree di impianto sono ondulate ed hanno altezza sul livello del mare compresa tra 30 e 60 m circa, attualmente investite a seminativo, e si trovano lungo le strade SP42 ed SP18.

Da un punto di vista elettrico il generatore fotovoltaico è costituito da stringhe. Una stringa è formata da 24 moduli collegati in serie, pertanto la tensione di stringa è data dalla somma delle tensioni a vuoto dei singoli moduli, mentre la corrente di stringa coincide con la corrente del singolo modulo.

---

Moduli per stringa	V <sub>oc</sub> (V) - STC	I <sub>mp</sub> (A) – STC	Tensione stringa
24	53,2	12,88	1.258,19 V

Nella tabella seguente si evidenziano il numero di stringhe contenute nei tracker a seconda della loro lunghezza.

Tracker	Pot. Mod. (Wp)	N° moduli	Pot. Tracker (kWp)
<i>Tracker 24 mod</i>	575	24	13,8
<i>Tracker 48 mod</i>	575	48	27,6

L'energia prodotta dalle stringhe afferisce nei Quadri di Parallelo Stringhe, posizionati in campo in prossimità delle strutture di sostegno dei moduli. L'energia raccolta in ciascuno di essi viene poi trasportata all'interno degli Shelter preassemblati in stabilimento dal fornitore, contenenti il gruppo conversione / trasformazione, dove afferirà a degli inverter centralizzati, uno per ogni Shelter. L'inverter sarà dotato di un numero di ingressi pari a 32, con una massima tensione di ingresso pari a 1.500 V e range operativo 850/1.425 V (la tensione massima di stringa è di 1.252,19 V). Come detto, in ciascuno dei 32 ingressi dell'inverter afferisce un quadro di parallelo stringhe. Nel particolare caso del presente progetto avremo un massimo di 24 stringhe per Inverter.

L'inverter effettua la conversione della corrente continua in corrente alternata a 550 V trifase, con frequenza di 50 Hz. È prevista l'installazione di:

- n° 12 inverter con massima potenza in uscita lato AC pari a 2.500 kVA, per una potenza nominale totale di 30.000 kVA;

All'interno degli Shelter l'energia a 550 V in c.a. subirà un innalzamento di tensione sino a 30 kV. In ciascuno Shelter sarà installato infatti un trasformatore MT/BT di taglia idonea, variabile da 2.500 kVA.

In uscita dagli Shelter, l'energia sarà trasportata verso la più vicina Cabina di Campo.

Nella tabella seguente si riassumono le caratteristiche principali dell'impianto. In particolare sono indicati:

- numero di tracker da 24 moduli installati;
- numero di tracker da 48 moduli installati;
- numero di pannelli installati;
- potenza di picco installata.

IMPIANTO SASSARI 02 (SS)								Panel Wp 575
Tracker Type	N° Strings/Tracker	N° PV Panels/Tracker	Tracker quantity	Total N° strings		Totale N° PV Panels	Peak Power (kWp)	Nominal Power (kVA)
Trck 48 PV M	2	48	1.069	2.138		51.312	29.504,40	30.000,00
Trck 24 PV M	1	24	100	100		2.400	1.380,00	
<b>Total</b>			<b>1.169</b>	<b>2.238</b>	<b>97</b>	<b>53.712</b>	<b>30.884,40</b>	

**Principali caratteristiche impianto e potenza di picco installata**

Si evince quindi che la potenza installata totale di picco dell'impianto sarà pari a 30.884,40 kW.

Gruppi di Cabine di Campo, a loro volta, saranno elettricamente collegate in serie, secondo la classica configurazione "in entra-esce", tramite linee MT a 30 kV in cavo interrato. Si formeranno, così, 6 sottocampi.

L'energia di ciascun sottocampo sarà convogliata (sempre tramite linee MT in cavo), nelle Cabine di Raccolta (**CdR FV**) del tipo MT/MT.

Dalle Cabina di Raccolta l'energia sarà trasportata, tramite linea in

In estrema sintesi l'impianto di generazione è costituito da:

➤ **Per l'Impianto Fotovoltaico:**

- **53.712** moduli fotovoltaici di potenza unitaria paria a 575 Wp, installati su strutture di sostegno in acciaio di tipo mobile (inseguitori), con relativi motori elettrici per la movimentazione. Le strutture saranno ancorate al suolo tramite paletti in acciaio direttamente infissi nel terreno; **evitando qualsiasi struttura in calcestruzzo, riducendo sia i movimenti si terra (scavi e rinterrì) che le opere di ripristino conseguenti.** È previsto in particolare che siano installati inseguitori 819 inseguitori che sostengono 24 moduli e 2.309 inseguitori che sostengono 48 moduli.
- **2.238** stringhe, ciascuna costituita da 24 moduli da 575Wp ciascuno, collegati in serie. Tensione di stringa 1.072,08 V e corrente di stringa 12,88 A;
- **97** Quadri di parallelo Stringhe a cui afferiranno un massimo di 24 stringhe (in parallelo);
- **12** cabinati (*Shelter*) preassemblati in stabilimento dal fornitore e contenuti il gruppo conversione / trasformazione, di dimensioni (**L x H x p**) **6,10 x 3,10 x 2,50 m**, cioè le dimensioni standard di un container metallico da 20' (piedi);
- **7** Cabine di Campo (**CdC**) contenenti i Quadri BT e MT dell'impianto fotovoltaico di dimensioni pari a (**L, H, p**) **10,00 x 3,10 x 2,50 m**;
- **Una** Cabina di Raccolta (**CdR FV**) per la raccolta dell'energia prodotta dall'Impianto avente dimensioni pari a (**L, H, p**) **20,00 x 3,10 x 2,50 m**;

- Tutta la rete BT, ovvero dei cavi BT in c.c. (cavi solari) e relativa quadristica elettrica (quadri di parallelo stringhe), dei cavi BT in c.a. e relativa quadristica elettrica di comando, protezione e controllo;
- **Per il Sistema di Accumulo (SdA):**
  - **36** Cabinati prefabbricati (shalter/container) contenenti le batterie al litio ferro fosfato per l'accumulo dell'energia prodotta, dimensioni pari a  **$(L \times h \times p) = 12,20 \times 2,59 \times 2,43 \text{ m}$** , cioè le dimensioni standard di un container metallico da 40' (piedi);
  - **9** cabinati prefabbricati preassemblati in stabilimento dal fornitore e contenti gli Inverter (PCS); i cabinati avranno dimensioni  **$(L \times H \times p) 6,10 \times 3,10 \times 2,50 \text{ m}$** , cioè le dimensioni standard di un container metallico da 20' (piedi);
  - **18** trasformatori BT/MT (2 per ogni per ogni PCS);
  - **Una** Cabina di Raccolta (**CdR SdA**), in cui converge in media tensione tutta l'energia del Sistema di Accumulo avente dimensioni pari a  **$(L, H, p) 20,00 \times 3,10 \times 2,50 \text{ m}$** .

### 3. Dimensionamento preliminare dei componenti d'impianto

Come detto, i cavidotti MT possono essere suddivisi in:

- 1) cavidotto interno di collegamento in MT a 30 kV tra le **Cabine di Campo** (in entra-esce) e da queste alla **Cabina di Raccolta (CdR)**;

In sintesi, abbiamo:

- Cavidotti interrati interni all'impianto, in **Media Tensione** a 30 kV sino alle **Cabina di Raccolta**;
- Una linea MT interrata (*dorsale esterna*), realizzata con due terne di cavi in alluminio a 30 kV, di collegamento **CdR FV - SSE**;
- Corda di rame nuda posata ad intimo contatto con il terreno lungo il percorso del *cavidotto interno*.

La corda di rame sarà posata anche sul perimetro dell'impianto e all'interno degli scavi per i cavi BT, per la messa a terra delle strutture, degli Inverter di Campo, delle Cabine di Campo.

#### 3.1. ELETTRODOTTI MT INTERNI (rete elettrica interna all'impianto fotovoltaico per il collegamento dei sotto-campi alla Cabina di Raccolta)

Le **Cabine di Campo** raccolgono l'energia proveniente dagli Shelter prefabbricati (gruppi di conversione / trasformazione) convertita dagli Inverter (da **c.c.** in **c.a.**) e trasformata dai

Trasformatori (da **BT** in **MT**). Sono collegate in configurazione entra-esce, a formare 6 sottocampi, l'energia dei quali confluisce alla **CdR FV (Cabina di Raccolta)**. Questa rete di collegamenti costituisce quello che in premessa abbiamo definito cavidotto interno di collegamento dell'Impianto Fotovoltaico.

Lo schema di collegamento dei sei sottocampi è riportato nel dettaglio nell'elaborato "Schema a blocchi rete MT Parco fotovoltaico".

Tutti i cavi MT saranno posati in trincee a cielo aperto ad una profondità di 1,2 m dal piano campagna.

### 3.1.1. Caratteristiche tecniche delle linee

Nello specifico ogni linea sarà costituita da una terna di cavi MT in alluminio tipo *ARP1H5(AR)E* del tipo *Air Bag*, la cui sezione dipende dalla potenza da trasportare. Nella tabella che segue di riassumono le caratteristiche di ciascun tratto di linea MT interno all'impianto fotovoltaico.

Linea Sottocampo A										
	Tratti	Potenza (kWp)	Tensione (kV)	Corrente (A)	Sezione (mm <sup>2</sup> )	Portata	Lunghezza CAD (m)	5%	Ingr. In Cabina (m)	Stima finale (m)
CABINE	Cab. A - Cab. B	2.511,60	30,00	49,32	50,00	173 A	68,00	71,40	10,00	81,40
	Cab. B - CdR FV	7.534,80	30,00	147,97	95,00	254 A	527,00	553,35	10,00	563,35

Linea Sottocampo B										
	Tratti	Potenza (kWp)	Tensione (kV)	Corrente (A)	Sezione (mm <sup>2</sup> )	Portata	Lunghezza CAD (m)	5%	Ingr. In Cabina (m)	Stima finale (m)
CABINE	Cab. C - Cab. D	2.539,20	30,00	49,86	50,00	173 A	64,00	67,20	10,00	77,20
	Cab. D - Cab. E	7.617,60	30,00	149,59	95,00	254 A	98,00	102,90	10,00	112,90
	Cab. E - CdR FV	12.751,20	30,00	250,41	185,00	368 A	940,00	987,00	10,00	997,00

Linea Sottocampo C										
	Tratti	Potenza (kWp)	Tensione (kV)	Corrente (A)	Sezione (mm <sup>2</sup> )	Portata	Lunghezza CAD (m)	5%	Ingr. In Cabina (m)	Stima finale (m)
CABINE	Cab. F - Cab. G	5.299,20	30,00	104,06	50,00	173 A	82,00	86,10	10,00	96,10
	Cab. G - CdR FV	10.598,40	30,00	208,13	185,00	368 A	60,00	63,00	10,00	73,00

**Tabella dimensionamento cavi MT interni all'Impianto fotovoltaico**

I valori delle correnti sono stati ottenuti applicando la formula

$$I_{b\_max} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi}$$

considerando a vantaggio di sicurezza, le potenze installate e non quelle nominali. Si vede facilmente, confrontando la  $I_b$  con la  $I_z$ , relativa a ciascuna sezione (v. tabella che segue), che le sezioni scelte sono bene in grado di trasportare le potenze generate dai vari sotto-campi.

### Conduttore di alluminio / Aluminium conductor - ARP1H5(AR)E

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	
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation trefoil	p=1 °C m/W	p=2 °C m/W
(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(A)	(A)	(A)

### Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV

50	8,2	24,8	38	1060	540
70	9,7	25,1	38	1110	550
95	11,4	26,0	39	1200	560
120	12,9	26,9	40	1300	580
150	14,0	27,6	41	1390	580
185	15,8	29,0	42	1540	610
240	18,2	31,4	45	1790	630
300	20,8	34,6	49	2160	690
400	23,8	37,8	53	2570	750
500	26,7	40,9	56	3020	790
630	30,5	45,5	61	3640	860

### Caratt. elettriche / Electrical charact. - 18/30 kV

50	195	173	129
70	242	212	158
95	293	254	190
120	339	290	217
150	382	324	242
185	439	368	275
240	519	428	320
300	599	486	363
400	700	557	416
500	812	636	475
630	943	725	541

### 3.2. ELETTRODOTTI MT INTERNI (rete elettrica interna all'impianto fotovoltaico per il collegamento del Sistema di Accumulo alla Cabina di Raccolta)

L'energia accumulata nel Sistema di Accumulo potrà essere, dopo essere stata raccolta nella CdR SdA, inviata alla CdR FV per il successivo trasporto alla SSE Utente. La linea MT dedicata, CdR SdA – CdR FV, sarà costituita da 4 terne di cavi da 500 mm<sup>2</sup>. Poiché il SdA è dimensionato per immagazzinare al massimo 90 MW, la detta linea dovrà essere quindi in grado di trasportare 1.767,40 A, ripartita sulle 4 terne da 500 mm<sup>2</sup>, cioè 441,85 A su ciascuna di esse.

SdA										
Tratti	Potenza (kWp)	Tensione (kV)	Corrente (A)	Sezione (mm <sup>2</sup> )	Portata	Lunghezza CAD (m)	5%	Ingr. In Cabina (m)	Stima finale (m)	
CdR SdA	PCS. 01 - CdR SdA	10.000,00	30,00	196,38	120,00	290 A	115,00	120,75	10,00	130,75
	PCS. 02 - CdR SdA	10.000,00	30,00	196,38	120,00	290 A	115,00	120,75	10,00	130,75
	PCS. 03 - CdR SdA	10.000,00	30,00	196,38	120,00	290 A	115,00	120,75	10,00	130,75
	PCS. 04 - CdR SdA	10.000,00	30,00	196,38	120,00	290 A	70,00	73,50	10,00	83,50
	PCS. 05 - CdR SdA	10.000,00	30,00	196,38	120,00	290 A	70,00	73,50	10,00	83,50
	PCS. 06 - CdR SdA	10.000,00	30,00	196,38	120,00	290 A	45,00	47,25	10,00	57,25
	PCS. 07 - CdR SdA	10.000,00	30,00	196,38	120,00	290 A	45,00	47,25	10,00	57,25
	PCS. 08 - CdR SdA	10.000,00	30,00	196,38	120,00	290 A	25,00	26,25	10,00	36,25
	PCS. 09 - CdR SdA	10.000,00	30,00	196,38	120,00	290 A	25,00	26,25	10,00	36,25

Linea CdR SdA - CdR FV										
Tratti	Potenza (kWp)	Tensione (kV)	Corrente (A)	Sezione (mm <sup>2</sup> )	Portata	Lunghezza CAD (m)	5%	Ingr. In Cabina (m)	Stima finale (m)	
CdR SdA - CdR FV	22.500,00	30,00	441,85	500,00	636 A	1.250,00	1.312,50	10,00	1.322,50	
	22.500,00	30,00	441,85	500,00	636 A	1.250,00	1.312,50	10,00	1.322,50	
	22.500,00	30,00	441,85	500,00	636 A	1.250,00	1.312,50	10,00	1.322,50	
	22.500,00	30,00	441,85	500,00	636 A	1.250,00	1.312,50	10,00	1.322,50	

È evidente che essendo  $I_b < I_z$ , risulta che la linea MT sia verificata.



### **3.3. ELETTRODOTTO DI COLLEGAMENTO ALLA SSE (dorsale esterna)**

#### **3.3.1. Generalità**

Il percorso del tracciato dell'elettrodotto di collegamento alla **SSE (dorsale esterna)**, è stato studiato tenendo conto dei seguenti criteri progettuali:

- contenere per quanto possibile la lunghezza del tracciato sia per occupare la minor porzione possibile di territorio, sia per non superare certi limiti di convenienza tecnico economica;
- mantenere il tracciato del cavo il più possibile all'interno delle strade esistenti, soprattutto in corrispondenza dell'attraversamento di nuclei e centri abitati, tenendo conto di eventuali trasformazioni ed espansioni urbane future;
- evitare per quanto possibile di interessare case sparse e isolate, rispettando le distanze minime prescritte dalla normativa vigente;
- minimizzare l'interferenza con le eventuali zone di pregio naturalistico, paesaggistico e archeologico;

Inoltre, per quanto riguarda l'esposizione ai campi magnetici, in linea con il dettato dell'art. 4 del DPCM 08-07-2003 di cui alla Legge. n° 36 del 22/02/2001, i tracciati sono stati eseguiti tenendo conto dell'obiettivo di qualità di  $3 \mu T$ .

#### **3.3.2. Descrizione del tracciato del cavidotto**

Il collegamento dell'Impianto alla futura Sottostazione Elettrica Utente (**SSE**), prevede l'interramento di una linea MT a 30 kV, costituita da 4 terne di cavi in alluminio da 500 mm<sup>2</sup>, interrate a profondità di min. 1,2 m. I tracciati del cavidotto così fatto, si "svolgerà" come di seguito specificato:

- Cavidotto esterno MT: larghezza 0,60 m, profondità 1,20 m
  - su terreno vegetale: 2.655 m;
  - su strada sterrata: 735 m;
  - su strada asfaltata: 7.510 m;
  - totale: 10.900 m.

#### **3.3.3. Opere attraversate**

Lungo il percorso del cavidotto potrebbero essere presenti alcune interferenze con altri sottoservizi, in particolare:

- interferenze con condotte Idriche;

- interferenze con linee TELECOM;
- interferenze con linee MT di altri produttori;
- interferenze con tubazioni gas.

Queste saranno oggetto di dettaglio e rilievo puntuale, in fase di Progettazione Esecutiva.

Per la risoluzione delle stesse ci si rimetterà ad ogni modo, alle indicazioni dettate dagli stessi Enti proprietari dei sottoservizi di cui sopra, in sede di Conferenza di Servizi.

### **3.3.4. Caratteristiche tecniche del cavidotto di collegamento alla SSE (dorsale esterna)**

Come detto, la linea interrata MT a 30 kV sarà realizzata per connettere l'impianto fotovoltaico ed il Sistema di Accumulo (dalle due CdS FV) alla nuova Sottostazione Elettrica Utente 30/150 kV, in prossimità della SE TERNA 150/380 kV "Porto Torres 1".

La linea interrata MT sarà costituita come detto da: 4 terne di cavi Air-Bag da 500 mm<sup>2</sup> sufficienti per trasportare la massima energia di immissione nella RTN (come da STMG di Terna), cioè 90 MW, corrispondente a:

$$I_{b\_max} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi} = \frac{90.000}{0,98 * \sqrt{3} * 30 * 10^3} = \mathbf{1.767,40 \text{ A}} \quad (1)$$

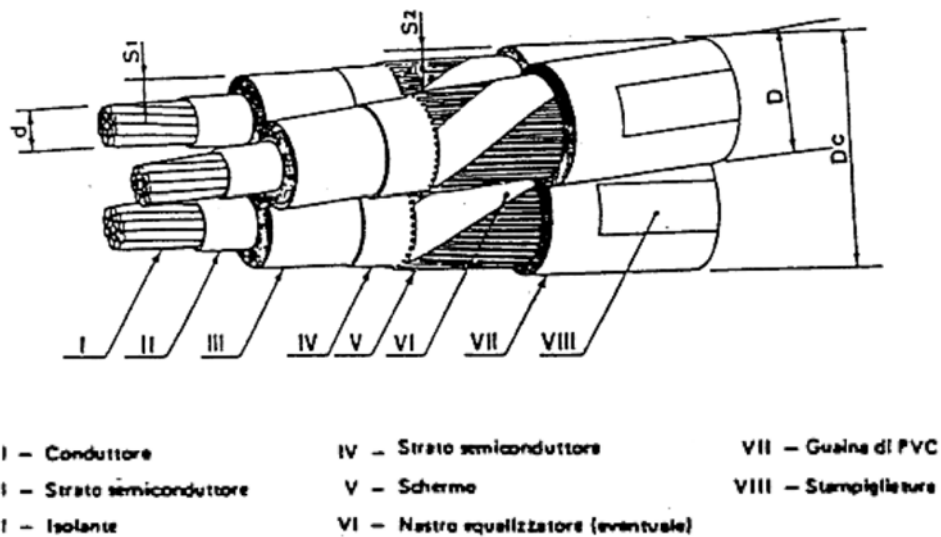
### **3.3.5. Dimensionamento del cavidotto**

Si è scelto quindi di ripartire la corrente così generata, su 4 terne di cavi Mt da 500 mm<sup>2</sup>. Quindi ogni terna dovrà assicurare una portata pari a 1.767,40 A. Nei paragrafi che seguono si verificherà l'idoneità della sezione scelta.

### **3.3.6. Caratteristiche tecniche della linea**

I cavi utilizzati saranno del tipo ARP1H(AR)E unipolare ad isolamento con elastomero termoplastico con conduttori di alluminio, aventi una sezione nominale di 500 mm<sup>2</sup>. I conduttori saranno posati a trifoglio. Le caratteristiche dei suddetti cavi sono riportate nella figura di seguito

**Fig. 1**



*Fig. 1 – caratteristiche cavi unipolari*

L'isolamento sarà costituito da miscela in elastomero termoplastico con una temperatura di sovraccarico massima pari a 140° C.

### 3.3.7. Calcolo della portata massima della linea MT

I cavi sono posati in trincee a cielo aperto senza protezione meccanica supplementare (posa diretta).

Al momento a seguito di analisi a vista dello stato dei luoghi non sono stati rilevati lungo il percorso del cavo MT altri sotto servizi. È tuttavia possibile che nell'ambito dell'iter autorizzativo società o enti segnalino la presenza di condotte e/o cavidotti interferenti e che si debba ricorrere ad attraversamenti in TOC. L'utilizzo della TOC non è peraltro strettamente necessario per risolvere incroci o interferenze dal momento che si potrebbe in ogni caso utilizzare scavi a cielo aperto. Ad ogni modo solo in corrispondenza degli attraversamenti in TOC i cavi saranno posati all'interno di tubazioni (diametro 225/250 mm). Tali condizioni di posa sono da considerare le più gravose dal punto di vista termico, poiché abbiamo quattro terne che viaggiano all'interno di quattro tubazioni fra loro affiancate.

Tuttavia nel calcolo delle perdite che segue, atteso che i tratti in TOC qualora presenti saranno di lunghezza limitata, si farà riferimento alle modalità di posa prevalenti ovvero **posa direttamente interrata ad intimo contatto con il terreno senza l'utilizzo di sabbia.**

Il calcolo delle portate dei cavi è stato calcolato facendo riferimento alle tabelle sotto riportate.

In particolare la portata è stata calcolata partendo dalla seguente tabella.

Il costruttore dichiara che la portata di corrente espressa in Ampere è calcolata secondo il metodo della IEC 60287, ed i calcoli sono riferiti alle seguenti condizioni di riferimento:

- 1) Temperatura ambiente per posa interrata: 20°C
- 2) Profondità di posa per tensione di esercizio di 30 KV: 1,0 m
- 3) La resistività termica 1°C m/W per terreno o sabbia con normale contenuto di umidità
- 4) Schermi metallici collegati a terra e messi a terra ad entrambe le estremità.

La portata effettiva del cavo è stata poi calcolata in relazione alle condizioni di posa effettive facendo riferimento ai coefficienti di correzione riportati dal costruttore nel documento [1], ed alla formula (norma IEC 60502-2):

$$I_z = I_0 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4$$

Dove

$I_0$  = portata del conduttore dichiarata dal costruttore

$k_1$  = coefficiente di correzione per posa di più terne affiancate

$k_2$  = coefficiente di correzione per temperatura del terreno diversa da quella di riferimento

$k_3$  = coefficiente di correzione per profondità di posa diversa da quella di riferimento

$k_4$  = coefficiente di correzione per resistività termica del terreno diversa da quella di riferimento

#### Conduttore di alluminio / Aluminium conductor - ARP1H5(AR)E

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	
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation trefoil	p=1 °C m/W	p=2 °C m/W
(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(A)	(A)	(A)
								p=1 °C m/W	p=2 °C m/W

#### Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV

50	8,2	24,8	38	1060	540
70	9,7	25,1	38	1110	550
95	11,4	26,0	39	1200	560
120	12,9	26,9	40	1300	580
150	14,0	27,6	41	1390	580
185	15,8	29,0	42	1540	610
240	18,2	31,4	45	1790	630
300	20,8	34,6	49	2160	690
400	23,8	37,8	53	2570	750
500	26,7	40,9	56	3020	790
630	30,5	45,5	61	3640	860

#### Caratt. elettriche / Electrical charact. - 18/30 kV

50	195	173	129
70	242	212	158
95	293	254	190
120	339	290	217
150	382	324	242
185	439	368	275
240	519	428	320
300	599	486	363
400	700	557	416
500	812	636	475
630	943	725	541

Come detto la posa sarà diretta, ovvero i cavi saranno posati direttamente sul fondo dello scavo. Solo per brevi tratti i cavi saranno eventualmente posati in tubazioni: in corrispondenza in corrispondenza delle TOC.

Abbiamo considerato il tratto di cavidotto che ospiterà tutte e 4 le terne di cavi insieme ciascuna ad una distanza di 13 cm dall'altra.

Per il coeff. K1 abbiamo quindi:

numero di cavi (in orizzontale)				
<i>number of cables (horizontally)</i>				
1	2	3	6	9
0,95	0,90	0,88	0,85	0,84

Pertanto, considerando la media tra i coefficienti relativi a 3 e 6:

$$k_1 = 0,86$$

La temperatura del terreno si pone pari a 20°C ovvero uguale a quella di riferimento indicata dal costruttore, pertanto:

$$k_2 = 1$$

La profondità di posa è pari a 1,2 m, abbiamo:

Cavi posati in terra / Buried cables			
profondità di posa (m)			
<i>laying depths (m)</i>			
0,80	1,00	1,2	1,5
1,02	1,00	0,98	0,96

Pertanto

$$k_3 = 0,96$$

Per quanto attiene la resistenza termica, abbiamo

resistenza termica			
thermal resistivity (K m/W)			
0,80	1,0	1,2	1,5
1,08	1,00	0,93	0,85

Inoltre sempre il costruttore dichiara che le resistività termiche sono intese uniformi e:

- Resistenza termica = 1°C m/W per terreno o sabbia con normale contenuto di umidità
- Resistenza termica = 1,2°C m/W per terreno o sabbia poco umidi
- Resistenza termica = 1,5 °C m/W per terreno o sabbia scarsamente umidi

Il terreno dell'area è in linea generale di tipo roccioso con normale contenuto di umidità, pertanto possiamo considerare che il valore della resistenza termica sia pari a 1°C m/W, e pertanto

$$k_d = 1,00$$

In definitiva abbiamo che il coefficiente di riduzione totale è pari a:

$$k_{tot} = 0,86 \times 1 \times 0,96 \times 1,00 = 0,82$$

Come detto si è scelto di utilizzare per i cavi, una sezione di 500 mm<sup>2</sup> posati a trifoglio a cui corrisponde una portata nominale pari a **636 A**

### Conduttore di alluminio / Aluminium conductor - ARP1H5(AR)E

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	peso del cavo	raggio minimo di curvatura
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	weight	minimum bending radius
(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)

sezione nominale	posa in aria a trifoglio	posa interrata a trifoglio $\rho=1\text{ }^{\circ}\text{C m/W}$	posa interrata a trifoglio $\rho=2\text{ }^{\circ}\text{C m/W}$
conductor cross-section	open air installation trefoil	underground installation trefoil $\rho=1\text{ }^{\circ}\text{C m/W}$	underground installation trefoil $\rho=2\text{ }^{\circ}\text{C m/W}$
(mm <sup>2</sup> )	(A)	(A)	(A)

#### Dati costruttivi / Construction charact. - 12/20 kV

50	8,2	18,0	31	720	440
70	9,7	19,1	32	810	450
95	11,4	20,6	34	920	480
120	12,9	22,1	35	1040	490
150	14,0	23,4	37	1150	520
185	15,8	25,6	39	1330	550
240	18,2	27,8	41	1570	580
300	20,8	31,0	45	1840	630
400	23,8	34,9	49	2310	690
500	26,7	37,1	52	2720	730
630	30,5	41,5	57	3300	800

#### Caratt. elettriche / Electrical charact. - 12/20 kV

50	193	173	129
70	240	213	157
95	292	255	190
120	338	291	217
150	381	325	243
185	439	369	276
240	520	430	321
300	601	487	363
400	703	558	417
500	816	637	476
630	949	726	542

#### Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV

50	8,2	24,8	38	1060	540
70	9,7	25,1	38	1110	550
95	11,4	26,0	39	1200	560
120	12,9	26,9	40	1300	580
150	14,0	27,6	41	1390	580
185	15,8	29,0	42	1540	610
240	18,2	31,4	45	1790	630
300	20,8	34,6	49	2160	690
400	23,8	37,8	53	2570	750
500	26,7	40,9	56	3020	790
630	30,5	45,5	61	3640	860

#### Caratt. elettriche / Electrical charact. - 18/30 kV

50	195	173	129
70	242	212	158
95	293	254	190
120	339	290	217
150	382	324	242
185	439	368	275
240	519	428	320
300	599	486	363
400	700	557	416
500	812	636	475
630	943	725	541

Tabella per la scelta delle sezioni dei cavi MT tipo ARP1H5(AR)E

Tenuto conto dei coefficienti  $k$  sopra calcolati, la portata effettiva della terna MT sarà pari a:

Sezione nominale	Portata nominale $I_0$ (A)	Coeffi $K_{tot}$	Portata reale $I_z$ (A)
500 mm <sup>2</sup>	636	0,82	521,52

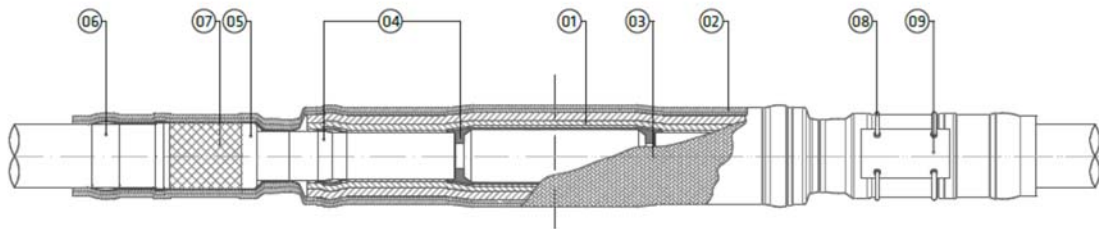
Ciascuna terna di cavi (come detto saranno utilizzate 4 terne da 500 mm<sup>2</sup>), dovrà trasportare 1.767,40 / 4 A (calcolata con la 1 prima vista) = **441,85 A**. Come evidente dalla tabella sopra riportata, una tale sezione è in grado di trasportare 521,52 A, quindi risulta idonea e verificata per il trasporto della corrente data.

### 3.4. Giunti cavi MT

Per le tratte non coperte interamente dalle pezzature di cavo MT disponibile (circa 1.000 m), si dovrà provvedere alla giunzione di due spezzoni.

In linea generale definiamo “*giunzione*” la giunzione tripolare delle tre fasi del conduttore più la messa a terra dello schermo. Quindi la giunzione sarà costituita da tre terminali unipolari (connettore di interconnessione) e tre corredi per terminazione unipolare. Le giunzioni elettriche saranno realizzate mediante l'utilizzo di connettori del tipo diritto, a compressione (giunto), adeguati alle caratteristiche e tipologie dei cavi sopra detti.

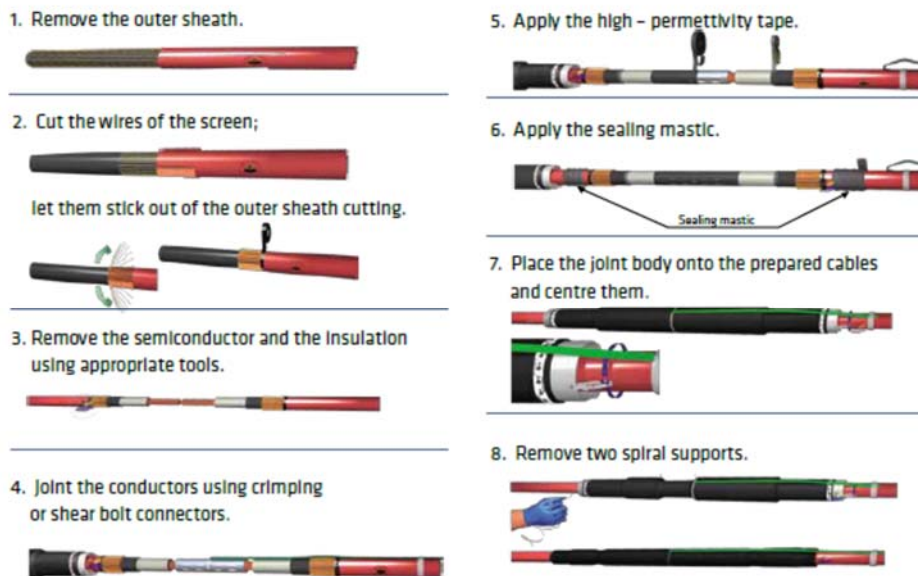
Le giunzioni saranno effettuate in accordo con la norma CEI 20-62 seconda edizione ed alle indicazioni riportate dal Costruttore dei giunti. Saranno realizzati con guaine auto-restringenti montate in fabbrica su tubo di supporto, che assicurano la ricostruzione dell'isolamento e della protezione meccanica, e il mantenimento delle caratteristiche elettriche del cavo.



Pos.	Descrizione	Pos.	Descrizione
1	Manica a tre strati	6	Nastro in mastice auto sigillante
2	Guaina a due strati	7	Nastro in rame in rilievo
3	Rete in rame	8	Striscia in pvc
4	Nastro ad alta permittività	9	Etichetta di identificazione
5	Nastro in pvc		

Si riporta una descrizione grafica della procedura di esecuzione del giunto:



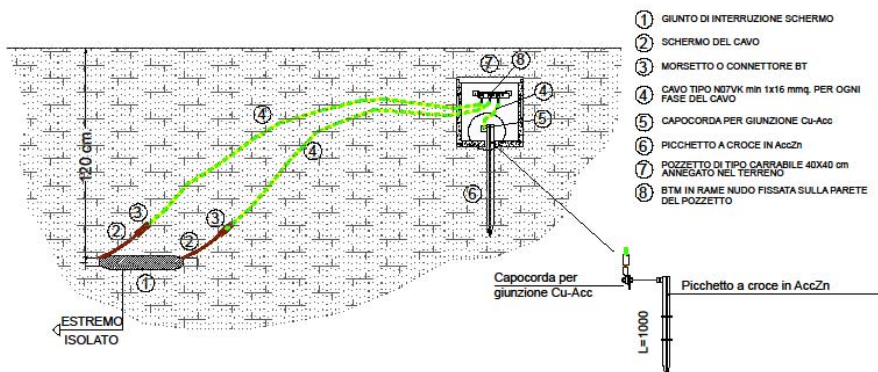


Eseguito il giunto sarà posto in opera un "ball-marker" passivo non deteriorabile interrato con codice di riconoscimento a cui si assoceranno le informazioni relative al giunto. Inoltre il giunto, prima del rinterro, sarà coperto con una protezione meccanica da realizzare con tegoli in pvc o in cav e un letto di sabbia in cui annegare il giunto di almeno 20 cm.

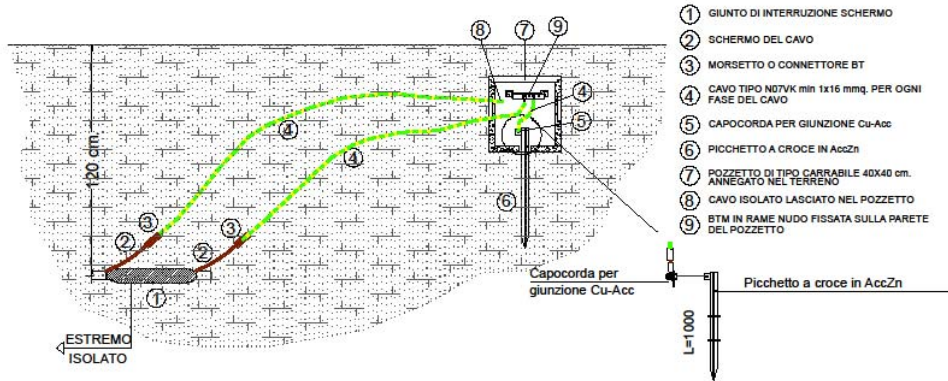
Infine la posizione dei giunti sarà individuata su cartografia in scala 1:5.000, sulla quale saranno riportate le coordinate WGS84 di ciascuno di essi.

Inoltre in corrispondenza della buca giunti, per le terne di cavi unipolari non avvolti ad elica visibile sarà esegui

## GIUNTO TERRA-SCHERMO



## GIUNTO DI INTERRUZIONE SCHERMO



Per il cavidotto interno di collegamento fra i *sotto-campi*, la messa a terra degli schermi sarà eseguita solo sui terminali, dal momento che i tratti sono molto brevi.. In pratica lo schermo dei cavi sarà collegato al collettore di terra di ciascuna Cabina di Campo, così come il quadro MT ove si attestano i cavi.

La messa a terra degli schermi unitamente alla trasposizione delle fasi permette di annullare di fatto la corrente indotta negli schermi dei cavi. Questo in base alle seguenti considerazioni:

- 1) Per attribuire ad ogni fase la stessa reattanza i conduttori devono essere disposti ai vertici di un triangolo equilatero ed in tal caso non c'è bisogno di ruotare ciclicamente i conduttori, sia che si tratti di corde di linee aeree che di cavi unipolari interrati. Se le corde od i cavi unipolari non sono a disposizione equilatera (come nel caso in esame, in cui difficilmente potrà essere rispettata la disposizione a trifoglio) si deve effettuare la rotazione in modo che mediamente ogni conduttore venga a trovarsi nella stessa posizione rispetto agli altri due.
- 2) Gli schermi se messi a terra permettono di abbassare la reattanza d'esercizio del cavo. Contemporaneamente però si aumenta la resistenza apparente di fase, quindi le perdite di potenza a parità di corrente trasportata, a causa delle perdite dovute alle correnti indotte negli schermi. Per ridurre tali correnti in linee lunghe, indipendentemente dalla disposizione dei cavi, si tagliano gli schermi e si ricorre alla rotazione dei collegamenti, o trasposizione. In ogni schermo in tal modo sono indotte correnti dalle correnti di tutte e tre le fasi e non di una sola, come con lo schermo integro, e poiché la somma delle correnti di fase è nulla, anche la totale corrente indotta in ciascuno schermo è nulla.

Inoltre la trasposizione delle fasi permette di minimizzare l'induzione magnetica già a breve distanza dall'asse della linea: infatti i campi di induzione prodotti dalle diverse fasi tendono a cancellarsi ad una certa distanza, in modo più marcato di quanto non avvenga in un elettrodotto posato a trifoglio.

### 3.5. CAVIDOTTO AT (di collegamento tra la SSE Utente e la SE Terna "Porto Torres 1")

Per la connessione della SSE di trasformazione MT/AT alla SE Terna sarà utilizzato un cavo AT, anche esso interrato che partendo dallo stallo di condivisione sbarre con gli altri produttori, correrà lungo un percorso di 615 m circa, su terreni agricoli o su strada asfaltata.

Il cavo avrà le seguenti principali caratteristiche:

In particolare:

- larghezza scavo: 0,70 m; profondità scavo 1,30 m
  - su terreno vegetale: 600 m;
  - su strada sterrata: 0 m;
  - su strada asfaltata: 15 m;
  - totale: 615 m.
- Conduttore: Alluminio
- Isolamento: XLPE
- Guaina: Alluminio termofuso
- Diametro conduttore 48,9 mm
- Sezione del conduttore: **1.600 mm<sup>2</sup>**
- Spessore del semiconduttore interno: 2 mm
- Spessore medio isolante: 15,8 mm
- Spessore del semiconduttore esterno: 1,3 mm
- Spessore guaina metallica (circa): 0,6 mm
- Spessore guaina: 4 mm
- Diametro esterno nominale: 100 mm
- Sezione schermo: 180 mmq
- Peso approssimativo: 10 kg/m
- Massima tensione di funzionamento: 170 kV
- Messa a terra degli schermi – posa a trifoglio o posa in piano: assenza di circolazioni
- Portata di corrente posa a trifoglio, cavi interrati a 30°C: 970 A
- Portata di corrente posa in piano, cavi interrati a 30°C: 1050 A




- Massima elettrica del conduttore a 20°C in c.c.: 0,019 Ohm/km
- Capacità nominale: 0,3 microF/km
- Corrente ammissibile di corto circuito: 20 kA
- Tensione operativa 150 kV

La terna AT sarà posata all'interno di una trincea avente profondità di 1,3 m, posizionando i cavi su letto di sabbia e completamente annegati in essa.

Data la brevità del percorso non sono previsti giunti intermedi.

I terminali saranno realizzati con schermi messi a terra da entrambi i lati (SSE e SE Terna).

Dalla tabella sottostante si ha che un tale valore di corrente può essere trasportato da un cavo con sezione peri a 1.600 mm<sup>2</sup>.

Nominal section area mm <sup>2</sup>	Laying conditions : Trefoil formation				Laying conditions : Flat formation				Nominal section area mm <sup>2</sup>	
	Earthing conditions induced current in the metallic screen	Direct burial	In air, in gallery		Earthing conditions induced current in the metallic screen	Direct burial	In air, in gallery			
		 $\rho_T$ en K.m/W		$T = 30^\circ\text{C}$		$T = 50^\circ\text{C}$	 $\rho_T$ en K.m/W	$T = 30^\circ\text{C}$		$T = 50^\circ\text{C}$
		$\rho_T = 1,0$ $T = 20^\circ\text{C}$	$\rho_T = 1,2$ $T = 30^\circ\text{C}$			$\rho_T = 1,0$ $T = 20^\circ\text{C}$	$\rho_T = 1,2$ $T = 30^\circ\text{C}$			
400 R	Without circulating current	525	455	675	540	555	480	750	600	400 R
500 R		600	520	780	625	630	545	870	700	500 R
630 R		680	585	910	725	725	625	1 025	820	630 R
800 R		765	660	1 045	830	820	705	1 200	960	800 R
1000 R		850	730	1 180	935	920	790	1 360	1 090	1000 R
1200 R		910	780	1 280	1 015	995	855	1 490	1 190	1200 R
1600 S		1 095	935	1 590	1 260	1 200	1 030	1 850	1 480	1600 S
2000 S		1 210	1 035	1 785	1 420	1 345	1 155	2 100	1 680	2000 S
2500 S	1 345	1 145	2 050	1 625	1 520	1 300	2 455	1 960	2500 S	

#### **4. Dimensionamento preliminare della rete di terra (Impianto fotovoltaico)**

Costituiscono parte integrante della presente relazione gli elaborati di progetto definitivo relativi a *Rete di terra parco fotovoltaico* a cui si rimanda.

##### **4.1. Rete di terra di impianto fotovoltaico**

L'impianto di terra dell'Impianto fotovoltaico sarà quindi costituito da:

- un anello perimetrale in corda nuda di rame 50 mm<sup>2</sup>, posata ad una quota non inferiore a 0,50 m da piano di campagna;
- un anello perimetrale in corda nuda di rame 50 mm<sup>2</sup> posizionato sul perimetro di ciascuna Cabina di Campo della Cabina di Smistamento, collegato poi all'anello perimetrale di cui al punto precedente;
- una rete di corda di rame 50 mm<sup>2</sup> per il collegamento a terra delle strutture di supporto dei moduli fotovoltaici nonché degli inverter. La corda di rame sarà posata sul fondo dello scavo della rete interna alle vie cavi BT, quindi seguirà il suo stesso schema;

Quanto sopra riportato è dettagliatamente descritto negli elaborati grafici di progetto concernenti la rete di terra dell'impianto fotovoltaico.

##### **4.1.1. Verifiche di idoneità dell'impianto**

Lo scopo per il quale viene realizzato l'impianto di terra è duplice:

- protezione delle persone e delle apparecchiature in caso di guasti a terra del sistema elettrico;
- dispersione a terra della corrente indotta da scariche atmosferiche in caso di fulminazioni sulle strutture metalliche di sostegno dei moduli.

Per il dispersore di impianto fotovoltaico, la definizione numerica dei valori di progetto non è definibile con certezza, in assenza delle indicazioni tecniche del Gestore di Rete. In particolare solo con specifica comunicazione da parte di ENEL saranno disponibili i dati relativi alla corrente di guasto a terra ed al tempo di intervento delle protezioni, sulla scorta dei quali è possibile verificare la tensione di contatto ammissibile.

Si procederà anche in questo caso ad un dimensionamento standard sulla base delle caratteristiche delle strutture, delle apparecchiature in campo e del terreno di fondazione e, nel corso d'opera, all'esecuzione di misure in campo. Nel caso di esito insufficiente di tali misure si procederà ad integrare i singoli dispersori di terra, estendendone la superficie con ulteriori anelli

concentrici a quello in progetto, opportunamente collegati, ed aggiungendo dispersori puntuali, a piastra o a picchetto a seconda della tipologia del terreno di posa.

#### **4.1.2. Efficienza dell'impianto di terra per tensioni di contatto**

La Norma CEI 99-3 definisce le tensioni contatto ammissibili ( $U_{Tp}$ ) in funzione della durata del guasto a terra. L'efficienza dell'impianto di terra è verificata dal confronto tra la tensione di terra ( $U_E$ ) e tensioni contatto ammissibili ( $U_{Tp}$ ), in particolare, se

$$U_E < U_{Tp}$$

la Norma CEI 99-3 stabilisce che l'impianto di terra è sicuramente efficiente in termini di protezione delle persone da tensioni di contatto determinate dal funzionamento degli impianti di terra per effetto delle correnti di guasto a terra.

Si fa presente che la Norma CEI 99-3 fa riferimento in realtà alla relazione:

$$U_T < U_{Tp}$$

dove  $U_T$  è la tensione di contatto effettiva. Tuttavia poiché risulta  $U_E > U_T$ , la condizione  $U_E < U_{Tp}$  è sicuramente a favore della sicurezza.

#### **4.2. Rete di terra Cabine di Raccolta e delle Cabine di Campo**

La realizzazione dell'impianto di terra dei fabbricati Cabine Elettriche, consisterà nelle seguenti attività:

- Installazione di collettori di terra in piatto di rame 60x6mm sulle pareti;
- Esecuzione delle derivazioni di messa a terra delle masse metalliche fisse verso i collettori, con piatto di rame 40x3mm;
- Connessioni di continuità elettrica delle carpenterie mobili, con conduttori flessibili di sezione:
  - 50mm<sup>2</sup> per la messa a terra dei pannelli mobili (ante di celle ed armadi);
  - 70mm<sup>2</sup> per la messa a terra delle parti mobili tipo aste di manovra.
- Posa e collegamento, con doppio cavo in rame da 70mm<sup>2</sup>, alla rete di terra del fabbricato che sarà, a sua volta, così costituita:

- anello perimetrale di forma rettangolare in corda di rame nudo di sezione 50 mmq a 7 fili elementari posata a quota -0,65 m, con sviluppo totale  $L_P$  del conduttore perimetrale pari a:

$$L_P = 40 \text{ m}$$

- n. 4 dispersori puntuali a picchetto in profilato di acciaio, di lunghezza pari a 1,5 m, posizionati in prossimità dei vertici dell'anello. In alternativa potranno essere utilizzati n. 4 dispersori a piastra in acciaio zincato di lato pari a 0,6 m.

L'installazione dei collettori di terra e delle derivazioni alle masse metalliche dovrà essere opportunamente distanziata dalla parete mediante interposizione di distanziali in resina autoestingente, ed il fissaggio a parete dovrà essere eseguito con viti in acciaio e tasselli in PVC. Le sbarre in rame dell'impianto di terra interno ai fabbricati dovranno essere verniciate sulle parti a vista, in GIALLO con strisce VERDI, oppure con il simbolo di terra (verniciato o prestampato, ben adesivo e resistente).