

<b>REGIONE PUGLIA</b> 		<b>PROVINCIA DI TARANTO</b> 		<b>COMUNE DI CASTELLANETA</b> 		<b>COMUNE DI GINOSA</b> 	
Denominazione impianto:		<b>CONCA D'ORO</b>					
Ubicazione:		Comune di Castellaneta (TA) – Contrada "CHIULLI"			Foglio: 100 - 101 - 102 - Agro di Castellaneta (Impianto FTV) - Particelle: Varie		
		Comune di Ginosa (TA) – Contrada "LAMA DI POZZO"			Foglio: 119 - Agro di Ginosa (Area stazione Utente) - Particelle: Varie		
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>IMPIANTO AGRI-FOTOVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE DI POTENZA NOMINALE P=84,324240 MW, DELLE RELATIVE OPERE NECESSARIE ALLA CONNESSIONE ALLA RETE AT-150 kV DI "RTN", RICADENTI NEI COMUNI DI CASTELLANETA (TA) E DI GINOSA (TA) E PIANO AGRONOMICO PER LA RIQUALIFICAZIONE A SCOPI AGRICOLI DELL'AREA</b>							
PROPONENTE		<b>NEXT SOL PV II S.R.L.</b> Via Eugenio Montale, 78 - 85025 Melfi (PZ) P.IVA: 02040540763 - PEC: nextsolpv2@pec.it					
<b>CODICE AUTORIZZAZIONE IMPIANTO: A1QVGF1</b>							
ELABORATO RELAZIONE DI CALCOLO CAVI SOLARI - CAVI DI BASSA TENSIONE					Tav. N° FV-CS-IE.32-00		
					Codice Pratica: STMG 201900895		
Aggiornamenti	Numero	Data	Motivo		Eseguito	Verificato	Approvato
	Rev 0	Ottobre 2023	Istanza per l'avvio al procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale ai sensi dell' Art. 23 del D.Lgs 152-2006 e ss.mm.ii.		G.P.	S.M.	S.M.
<b>PROJECT MANAGER</b> <b>ING. SERGIO MARTANO</b> <b>GEOM. FELICE SASSI</b>				<b>Spazio riservato agli Enti</b>			
<input checked="" type="checkbox"/> <b>IMPIANTI ELETTRICI E SPECIALI</b> <b>ING. SERGIO MARTANO</b> <b>ING. ROSSELLA MUSCI</b>				  <b>I TECNICI:</b>			
<input type="checkbox"/> <b>AREA TOPOGRAFICA</b> <b>GEOM. FELICE SASSI</b>				 			
<input type="checkbox"/> <b>AREA VIA - VAS</b> <b>D.SSA WANDA GALANTE</b> <b>ARCH. IVAN RISIMINI</b>							
<input type="checkbox"/> <b>AREA AGRONOMICA - PAESAGGISTICA</b> <b>D.SSA WANDA GALANTE</b> <b>ARCH. IVAN RISIMINI</b>							
<input type="checkbox"/> <b>AREA GEOLOGICA - IDRAULICA</b> <b>DR. FRANCO SOZIO</b>							
<input type="checkbox"/> <b>AREA ARCHEOGICA</b> <b>DR. COSIMO PACE – NOVELUNE SRL</b>							
<input type="checkbox"/> <b>AREA RILIEVI FONOMETRICI</b> <b>ING. MICHELE BUNGARO</b>							

**IMPIANTO AGRI-FOTOVOLTAICO DI PRODUZIONE DI  
ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE  
FOTOVOLTAICA P=84,324240 MWp (DC) E P=81,725  
MW (AC) DENOMINATO “ CONCA D’ORO “  
CASTELLANETA – TARANTO**

**RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA DI  
CALCOLO DELLE LINEE ELETTRICHE IN CAVO**

- **SOLARE**
- **DI BASSA TENSIONE A 800 V**

## INDICE

### Parte A

#### **Dimensionamento dei cavi in corrente continua di stringa e di collegamento tra stringhe ed inverter di campo.**

	Pag. 2
A.1 Moduli Fotovoltaici	Pag. 2
A.2 Stringhe	Pag. 4
A.3 Cavi solari previsti	Pag. 5
A.4 Dimensionamento dei cavi solari	Pag. 7
A.4.1 Cavi solari di stringa	Pag. 7
A.4.2 Cavi solari di collegamento stringhe all'inverter	Pag. 9

### Parte B

#### **Dimensionamento delle linee interrate in cavo BT – 800 V tra gli inverter di campo e le cabine di trasformazione elevatrici di campo.**

	Pag. 11
B.1 Premessa	Pag. 11
B.2 Calcolo della portata reale	Pag. 14
B.3 Calcolo delle cadute di tensione	Pag. 22
B.4 Verifica della tenuta alle correnti di corto circuito	Pag. 24
B.5 Conclusioni	Pag. 25

## **A. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN CORRENTE CONTINUA DI STRINGA E DI COLLEGAMENTO TRA STRINGHE ED INVERTER DI CAMPO.**

Questa parte attiene al dimensionamento dei cavi in corrente continua, di collegamento tra i moduli fotovoltaici per la formazione delle stringhe, e tra quest'ultime e gli inverter di campo di pertinenza.

Le condizioni ambientali particolarmente gravose, tipiche dei luoghi di installazione di impianti fotovoltaici ( elevate temperature, precipitazioni atmosferiche, radiazioni ultraviolette, azioni di roditori o di animali in genere, ecc ) impongono particolari criteri per la scelta e per la posa dei cavi al fine di poterne garantire le prestazioni richieste per un periodo di almeno 25 anni.

La tensione nominale dei cavi deve essere compatibile con il sistema elettrico ed è espressa dall'insieme di due valori di tensione,  $U_0/U$ , ove  $U_0$  è la tensione verso terra ed  $U$  la tensione tra le polarità positiva e negativa.

Prima dei calcoli necessari è opportuno richiamare alcune caratteristiche dei moduli, delle stringhe e degli inverter ipotizzati.

### **A.1 MODULI FOTOVOLTAICI**

I moduli fotovoltaici previsti sono del tipo in silicio mono-cristallino, modello JKM585M – 7RL4-V di produzione JINKO SOLAR, aventi le seguenti caratteristiche:

#### **a) Caratteristiche meccaniche**

- Mono facciale
- Tipo di celle: silicio mono-cristallino
- Numero di celle elementari: 156
- Dimensioni esterne LxHxP = 1134 x 2411 x 35 mm
- Peso del modulo: 31,1 kg
- Vetro frontale: spessore 3,2 mm; antiriflesso; alta trasmissione
- Cornice in alluminio anodizzato
- Cassetta di connessione: grado IP 68 ; cavi solari S= 4 mmq

## b) Specifiche tecniche prestazionali

- Potenza massima ( STC ): 585 Wp
- Tensione alla massima potenza (Vmp): 44,22 V
- Corrente alla massima potenza (Imp): 13,23 A
- Tensione a circuito aperto (Voc): 53,42 A
- Corrente di corto circuito Isc: 13,91 A
- Efficienza del modulo (STC): 21,40 %
- Temperatura di funzionamento: da  $-40^{\circ}$  a  $+85^{\circ}$  C
- Tensione massima del sistema: 1500 Vdc
- Corrente massima del fusibile di protezione: 25 A
- Tolleranza sulla potenza: 0% (-) + 3%
- Coefficiente di temperatura di Pmax:  $-0,35\% / ^{\circ}\text{C}$
- Coefficiente di temperatura della Voc:  $-0,28\% / ^{\circ}\text{C}$
- Coefficiente di temperatura della Isc:  $-0,048\% / ^{\circ}\text{C}$

I riferimenti sono quelli dettati dalla STC ( Standard Test Condition ):

- Irraggiamento:  $1000 \text{ W} / \text{m}^2$
- Temperatura della cella:  $25^{\circ}\text{C}$
- Massa d'aria: AM 1,5

## A.2 STRINGHE

Le stringhe previste sono composte da N°26 moduli collegati in serie tra di loro. Per il corretto dimensionamento di ciascuna stringa sono stati considerati i seguenti parametri, sia dei moduli che dell'inverter, in ossequio alle raccomandazioni della Norma CEI 82 – 25.

### Moduli Fotovoltaici

Le caratteristiche dei moduli sono riportate nel paragrafo A.1

### Parametri in funzione della temperatura

Voc = 53,42 V

a 15 ° C la Voc diventa

$$Voc (15) = 53,42 + 0,28 ( 25 - 15 ) \cdot \frac{53,42}{100} = 54,91 \text{ Volt}$$

Le tensioni VMPP alle temperature di 15° C e di 70° C sono:

$$VMPP \text{ min } ( 70 ) = 44,22 + 0,28 ( 25 - 70 ) \cdot \frac{44,22}{100} = 38,65 \text{ Volt}$$

$$VMPP \text{ min } ( 15 ) = 44,22 + 0,28 ( 25 - 15 ) \cdot \frac{44,22}{100} = 45,46 \text{ Volt}$$

### Dimensionamento stringa

- Numero moduli per ciascuna stringa: 26
- Potenza stringa:  $P = 26 \cdot 585 \text{ W} = 15,21 \text{ kW}$
- Vmp  $26 \cdot 44,22 = 1.149,72 \text{ V}$
- Imp 13,23 A
- Isc 13,91 A
- Corrente di corto circuito massima:  $Isc \cdot \text{max} = 1,25 \times Isc = 17,39 \text{ A}$
- Voc  $26 \cdot 53,42 = 1.388,92 \text{ V}$
- Voc ( max – 15° )  $26 \cdot 54,91 = 1.427,66 \text{ V}$
- VMPP ( min – 70 )  $26 \cdot 38,65 = 1.004,90 \text{ V}$
- VMPP max ( 15 )  $26 \cdot 45,44 = 1.181,44 \text{ V}$

## **Inverter**

I dati necessari per la verifica del dimensionamento sono:

- Massima tensione in ingresso  $V_{\max - \text{ing}} = 1.500 \text{ V}$
- Minima tensione di funzionamento MPPT  $V_{\text{MPPT} - \text{min} - \text{inv}} = 500 \text{ V}$
- Massima tensione di funzionamento MPPT  $V_{\text{MPPT} - \text{max} - \text{inv}} = 1.500 \text{ V}$
- Massima corrente per MPPT  $I_{\max - \text{MPPT}} = 40 \text{ A}$

## **Verifica dimensionamento stringa**

Si dovranno verificare le condizioni seguenti affinché le stringhe previste siano compatibili con i dati dell'inverter.

1.  $V_{\text{oc max}} < V_{\max - \text{inv}}$   
 $1.427,66 \text{ V} < 1.500 \text{ V}$  condizione verificata
2.  $V_{\text{MPPT} - \text{min stringa}} > V_{\text{MPPT} - \text{min} - \text{inv}}$   
 $1.004,90 > 500 \text{ V}$  condizione verificata
3.  $V_{\text{MPPT} - \text{max} - \text{stringa}} < V_{\text{MPPT} - \text{max} - \text{inv}}$   
 $1.181,44 < 1.500 \text{ Volt}$  condizione verificata
4.  $2 I_{\text{sc}} < I_{\max \text{ MPPT}}$   
 $34,78 \text{ A} < 40 \text{ A}$  condizione verificata

## **Conclusioni**

**Le stringhe così previste sono coerenti con le caratteristiche dei moduli e dell'inverter.**

### **A.3 CAVI SOLARI PREVISTI**

#### **Cavi solari per la formazione di stringa**

Le stringhe saranno realizzate mediante il collegamento in serie di 28 moduli; il cavo previsto sarà del tipo H1Z2Z2 – K, di caratteristiche:

- Anima costituita da conduttore in rame stagnato, formazione flessibile, classe 5
- Isolamento in mescola LS0H a base di gomma reticolata
- Guaina esterna in mescola LS0H
- Sezione  $S = 4 \text{ mm}^2$
- Colore guaina esterna ( rosso +, nero - )
- Tensione nominale di esercizio  $U_0/U \text{ 1000-1500 V in c.c.}$
- Massima tensione di esercizio  $U_m \text{ 1800 V c.c., anche verso terra}$
- Temperatura massima di esercizio  $+ 90^\circ\text{C}$
- Temperatura massima di c.to c.to  $+ 250^\circ\text{C per 5 sec}$
- Norma CEI di riferimento CEI -20-91
- In accordo con il Regolamento Europeo UE305 / 2011 – CPR ( EN 50575 ).

I cavi di stringa saranno posati in una idonea canalina in PVC, corredata di coperchio, posata sulla struttura del tracker.

La sezione prevista  $S=4 \text{ mm}^2$  è compatibile con i connettori a corredo dei moduli.

La linea di collegamento tra ciascuna stringa ed il corrispondente inverter sarà realizzato sempre con cavo solare H1Z2Z2 – K, ma di sezione  $S = 10 \text{ mm}^2$  per l'ottimizzazione della caduta di tensione e delle perdite.

Tali cavi saranno posati entro tubazioni in PVC interrate con interposizione di pozzetti di derivazione e/o transito.

Più avanti è descritto il dimensionamento elettrico, con verifica, delle linee in cavo costituenti la stringa e delle linee di collegamento con l'inverter.

#### **Congruità stringhe – tracher**

Ogni stringa si comporrà di N° 26 moduli, per cui l'accoppiamento stringhe tracker prevederà:

- Per tracker da 13 moduli:  
per ogni due tracker, si avrà una stringa
- Per tracker da 26 moduli:  
i moduli di un tracker costituiranno una stringa

- Per tracker da 52 moduli:  
i moduli di un tracker costituiranno due stringhe.

## **A.4 DIMENSIONAMENTO DEI CAVI SOLARI**

Ai fini di un corretto dimensionamento, sono importanti le condizioni ambientali, tra le più importanti, si menzionano:

### **Presenza di acqua**

I cavi possono venire a contatto con l'acqua per cui se non di tipo adatto, possono deteriorarsi; se posati in tubazioni la condensa che si genera può rovinare i cavi, per cui è buona norma installativa, dopo il collaudo finale e la messa in esercizio, sigillare le estremità.

### **Basse temperature**

Temperature troppo basse comportano un forte indurimento dell'isolante che corre il rischio di fessurazioni; in genere si scelgono cavi che possono funzionare anche - 30 °C

### **Alte temperature**

In corrispondenza dei pannelli, in certe stagioni si possono raggiungere temperature molto elevate, fino a 80 – 90 °C, per cui i cavi devono essere in grado di mantenere e sopportare tali valori senza che le proprie caratteristiche ne risultino compromesse.

### **Elementi corrosivi ed inquinanti**

I cavi con guaina risultano più resistenti.

### **Radiazioni solari**

Le radiazioni solari, specie quelle che ricadono nello spettro dell' ultravioletto, possono comportare deterioramenti con conseguenti perdite delle prestazioni.

#### **A.4.1 Cavi solari di stringa**

La connessione fra i moduli di una stringa è solitamente effettuata tramite i cavi di cui sono corredati i moduli stessi; con i moduli previsti la sezione di tali cavi è  $S=4 \text{ mm}^2$ .

Questi cavi sono quelli che formano la stringa; si può assumere cautelativamente una tensione di riferimento pari a  $1,2 U_{oc}$  ( in ossequio alla norma IEC-TS-62257-7-1 ) ove  $U_{oc}$  è la tensione a vuoto della stringa nelle condizioni di prova standard; la tensione a vuoto della stringa vale  $U_{oc}=1427,66 \text{ V}$ , per cui la condizione della tensione è soddisfatta in quanto  $1,2 \times 1427,66 \text{ V} = 1713,19 \text{ V}$  inferiore al valore limite di tensione di esercizio dei cavi proposti, che è  $V_e=1800 \text{ Vcc}$ .

Tali cavi sono posati entro canaline/tubazioni in PVC posate in aria libera, lungo le strutture metalliche di sostegno.

Il dimensionamento dei cavi ( CEI 64 - 8 ) viene condotto in modo da soddisfare le condizioni :

- La portata del cavo  $I_z$  non sia inferiore alla corrente di impiego  $I_b$ ;  $I_z \leq I_b$
- La caduta di tensione nel tratto compreso fra i moduli e l'inverter sia contenuta entro l'1%. Tale valore che può sembrare troppo cautelativo, è stato scelto perché si vuole limitare al massimo la perdita di energia prodotta per effetto Joule sui cavi stessi. Ad esempio, la caduta di tensione classica consigliata dalle Norme CEI del 4% comporta, di fatto, una perdita di potenza del 4%, infatti:

$$\Delta V\% = \Delta V / V_n = \Delta V \cdot I_n / V_n \cdot I_n = \Delta P / P_n = \Delta P\%$$

Nelle normali condizioni di funzionamento un modulo fornisce una corrente prossima a quella di cortocircuito. Se si indica con  $I_{sc}$  la corrente di cortocircuito del modulo in condizioni di prova standard possiamo assumere la corrente d'impiego per il circuito di stringa pari a  $I_B = 1,25 I_{sc}$ . La maggiorazione del 25% tiene prudenzialmente conto di valori di irraggiamento superiori a  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Per i moduli previsti  $I_{sc} = 13,91 \text{ A}$  per cui  $I_b = 17,39 \text{ A}$

**N.B. In ossequio alle norme citate non è richiesta la verifica della tenuta alle correnti di corto circuito.**

### Portata del cavo

La portata di un cavo, intesa come il valore massimo di corrente che un cavo può portare a regime termico senza che sia superata la temperatura massima di funzionamento, è indicata dai costruttori ed è riferita alla temperatura ambiente, usualmente  $30^\circ\text{C}$  in aria libera.

Le portate dei cavi non solari sono fornite dalle tabelle CEI UNEL 35024/1 per la posa in aria alla temperatura ambiente  $T_o = 30^\circ\text{C}$  e CEI UNEL 35026 per la posa interrata.

Per una temperatura ambiente di posa  $T_a$  diversa da quella di riferimento  $T_o$ , la portata di un cavo indicata nella tabella CEI UNEL 35024/1 va moltiplicata per un coefficiente:

$k_1 = 0,58$  per posa sulla parte posteriore del modulo dove la temperatura ambiente  $T_a$  può raggiungere valori di  $70^\circ\text{C}$  ed oltre.

La portata teorica  $I_o$  del cavo previsto è  $I_o = 52 \text{ A}$ , ad una temperatura ambiente di  $60^\circ\text{C}$  e temperatura massima del conduttore di  $120^\circ\text{C}$ ;

La portata reale è  $I_z = I_o \cdot K_1 = 52 \cdot 0,58 = 30,16 \text{ A}$

**$I_z > I_b$   $30,16 > 17,39 \text{ A}$  Condizione soddisfatta.**

### Caduta di tensione

La caduta di tensione è valutabile con la relazione

$$\Delta V = K \cdot I_b \cdot L \cdot R, \text{ ove}$$

$K = 2$  per la corrente continua

$I_b = 17,39 \text{ A}$

$L =$  lunghezza della linea = 30 mt

$R =$  resistenza elettrica = 5,09 ohm/km

Nel caso in esame risulta  $DV = 2 \cdot 17,39 \cdot 30 \cdot 5,09 / 1000 = 5,31 \text{ V}$

ed in termini percentuali

$\Delta V \% = 0,37 \%$

**Quindi il cavo solare di sezione  $S=4 \text{ mm}^2$  per la formazione della stringa è congruo in quanto sono soddisfatte le condizioni**

$I_z \leq I_b \quad \Delta V \% \leq 1\%$

#### **A.4.2 Cavi solari di collegamento della stringa all'inverter**

Questi cavi sono deputati al collegamento della singola stringa all'inverter di pertinenza; per tali cavi si può assumere cautelativamente una tensione di riferimento pari a  $1,2U_{oc}$  ( in ossequio alla norma IEC-TS-62257-7-1 ) ove  $U_{oc}$  è la tensione a vuoto della stringa nelle condizioni di prova standard; la tensione a vuoto della stringa vale  $U_{oc}=1427,66 \text{ V}$ , per cui la condizione della tensione è soddisfatta in quanto  $1,2 \times 1427,66 \text{ V} = 1713,19 \text{ V}$  inferiore al valore limite di tensione di esercizio dei cavi proposti, che è  $V_e=1800 \text{ Vcc}$ .

Tali cavi sono posati entro tubazioni in PVC interrate ad una profondità media di 80 cm.

Per i collegamenti in oggetto è stato previsto un cavo solare di sezione  $S=10 \text{ mm}^2$

Il dimensionamento dei cavi ( CEI 64-8 ) è stato condotto in modo da soddisfare le condizioni :

- La portata del cavo  $I_z$  non sia inferiore alla corrente di impiego  $I_b$  :  $I_z \leq I_b$
- La caduta di tensione nel tratto compreso fra i moduli e l'inverter sia contenuta entro l'1% . Tale valore che può sembrare troppo cautelativo, è stato scelto perché si vuole limitare al massimo la perdita di energia prodotta per effetto Joule sui cavi stessi. Ad esempio, la caduta di tensione classica consigliata dalle Norme CEI del 4% comporta, di fatto, una perdita di potenza del 4%, infatti :

$$\Delta V \% = \Delta V / V_n = \Delta V \cdot I_n / V_n \cdot I_n = \Delta P / P_n = \Delta P \%$$

Nelle normali condizioni di funzionamento un modulo, quindi la stringa, fornisce una corrente prossima a quella di cortocircuito. Se si indica con  $I_{sc}$  la corrente di cortocircuito del modulo in condizioni di prova standard possiamo assumere la corrente d'impiego per il circuito di stringa pari a  $I_B = 1,25 I_{sc}$ . La maggiorazione del 25% tiene prudenzialmente conto di valori di irraggiamento superiori a  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Per i moduli previsti  $I_{sc} = 13,91 \text{ A}$  per cui  $I_b = 17,39 \text{ A}$

#### **Portata del cavo**

La portata di un cavo, intesa come il valore massimo di corrente che un cavo può portare a regime termico senza che sia superata la temperatura massima di funzionamento, è indicata dai costruttori ed è riferita alla temperatura ambiente, usualmente  $30^\circ\text{C}$  in aria libera.

Le portate dei cavi non solari sono fornite dalle tabelle CEI UNEL 35024/1 per la posa in aria alla temperatura ambiente  $T_o = 30^\circ\text{C}$  e CEI UNEL 35026 per la

posa interrata.

Per una temperatura di posa  $T_a$  diversa da quella di riferimento  $T_o$ , la portata di un cavo indicata nella tabella CEI UNEL 35026 va moltiplicata per un coefficiente:

$k_1 = 0,91$  per posa sulla parte posteriore del modulo dove la temperatura ambiente  $T_a$  può raggiungere valori di  $70\text{ }^\circ\text{C}$  ed oltre.

In alcune tratte, in particolare nei pressi degli inverter, i cavi sono posati in fascio, per cui si dovrà applicare un ulteriore coefficiente di riduzione  $K_2$  della portata dipendente dal numero di cavi posati nella stessa tubazione; considerando 9 circuiti in ogni tubazione,  $K_2 = 0,50$

La portata teorica  $I_o$  del cavo previsto è  $I_o = 93\text{ A}$ , ad una temperatura ambiente di  $60\text{ }^\circ\text{C}$  e temperatura massima del conduttore di  $120\text{ }^\circ\text{C}$ ;

La portata reale è  $I_z = I_o \cdot K_1 \cdot K_2 = 93 \cdot 0,91 \cdot 0,5 = 42,31\text{ A}$

**$I_z > I_b \quad 42,31 > 17,39\text{ A}$  Condizione soddisfatta.**

### **Caduta di tensione**

La caduta di tensione è valutabile con la relazione

$$\Delta V = K \cdot I_b \cdot L \cdot R, \text{ ove}$$

$K=2$  per la corrente continua

$$I_b = 17,39\text{ A}$$

$L$  = lunghezza della linea =  $50\text{ mt}$

$R$  = resistenza elettrica =  $1,95\text{ ohm/km}$

$$\text{Nel caso in esame risulta } \Delta V = 2 \cdot 17,39 \cdot 50 \cdot 1,95 / 1000 = 3,39\text{ V}$$

ed in termini percentuali

$$\Delta V \% = 0,225 \%$$

**Quindi il cavo solare di sezione  $S = 10\text{ mm}^2$  per la connessione della stringa all'inverter è congruo in quanto sono soddisfatte le condizioni**

$$I_z \leq I_b \quad \Delta V \% \leq 1\%$$

**N.B. In ossequio alle norme citate non è richiesta la verifica della tenuta alle correnti di corto circuito.**

## **B. DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE INTERRATE IN CAVO BT – 800 V TRA GLI INVERTER DI CAMPO E LE CABINE DI TRASFORMAZIONE ELEVATRICI DI CAMPO.**

### **B.1 PREMESSA**

In tale parte sarà trattato il dimensionamento delle linee in cavo, interrate, ad un livello di tensione di 800 V, deputate al collegamento puntuale degli inverter di campo con i quadri di bassa tensione di “parallelo inverter” delle cabine di trasformazione elevatrici di campo a seconda della zona considerata.

Le cabine di trasformazione elevatrici di campo sono, in totale, N°26, così suddivise per zona di pertinenza; per ciascuna di esse sono riportati gli inverter di pertinenza.

**AREA 1** Totale N° 7 cabine di trasformazione di campo

#### **Anello 1.1**

N°5 cabine di trasformazione cadauna con 18 inverter

N°2 cabine di trasformazione cadauna con 16 inverter

**AREA 2** Totale N° 6 cabine di trasformazione di campo.

#### **Anello 2.1**

N°4 cabine di trasformazione cadauna con 18 inverter

N°1 cabine di trasformazione cadauna con 17 inverter

N°1 cabine di trasformazione cadauna con 16 inverter

**AREA 3** Totale N° 13 cabine di trasformazione di campo.

#### **Anello 3.1**

N°7 cabine di trasformazione cadauna con 18 inverter

#### **Anello 3.2**

N°6 cabine di trasformazione cadauna con 19 inverter

Il numero totale di inverter è N° 467 così suddiviso per area :

- Area 1 N° 122
- Area 2 N° 105
- Area 3 N° 240

Per ciascuna linea di collegamento il dimensionamento comprenderà i seguenti calcoli e verifiche:

- Calcolo della portata di corrente reale I<sub>z</sub>
- Calcolo della caduta di tensione, assoluta e percentuale
- Verifica della tenuta alle correnti di corto circuito.

Per il calcolo di dimensionamenti si è preso a campione, la Cabina 1.4 dell' area 1, denominata C.1.4 cui afferiscono N°18 inverter ( configurazione tipica ).

### **INVERTER FOTOVOLTAICI**

Sono stati previsti inverter fotovoltaici di “stringa”, modello SUN2000 – 185 KTL – H1 di produzione HUAWEI, di caratteristiche:

#### **Ingresso**

- Massima tensione di ingresso: 1.500 V
- Massima corrente per MPPT: 26 A
- Massima corrente di c.to c.to. per MPPT: 40 A
- Tensione di avvio: 550 V
- Range di riferimento MPPT: 500 – 1.500 V
- Tensione nominale di ingresso: 1080 V
- Numero di stringhe in ingresso: 18
- Numero di MPPT: 9

#### **Uscita**

- Potenza attiva nominale lato AC 185 kW a 25° C / 175 kW a 40° C
- Massima potenza attiva a  $\cos\phi = 1$  185 KVA
- Tensione nominale di uscita: 800 V, 3F + PE senza neutro
- Frequenza nominale: 50 – 60 Hz
- Corrente nominale di uscita: 135 A a 25°C / 126 A a 40° C
- Massima corrente in uscita: 135 A
- Distorsione armonica totale: < 3%

## Efficienza

- Efficienza massima 99,03%
- Efficienza europea 98,69%

## Protezioni

- Sezionamento generale
- Anti – islanding
- Sovracorrenti lato AC
- Inversione di polarità DC
- Monitoraggio guasti di stringa
- Scaricatore tipo II lato DC
- Scaricatore tipo II lato AC
- Controllo resistenza di isolamento lato DC
- Controllo correnti di dispersione

## Comunicazione

- Display con indicatori a LED
- Bluetooth
- USB
- Seriale RS 485 ModBus
- Gestione livello stringa
- Curve I – V; diagnosi.

## Generali

- Dimensioni L x H x P = 1035 x 700 x 365 mm
- Peso 84 kg
- Temperatura di esercizio: da – 25° C a 60° C
- Raffreddamento a mezzo aria
- Umidità di esercizio: 0 – 100%
- Grado di protezione: IP 66
- Connettori lato DC: Tipo MC4
- Connettori lato AC: stagni
- Tipologia senza trasformatore

## Rispondenza a Norme

- Conformità alle norme:  
EN 62109-1/2; IEC 62109, IEC 62920; EN 50530; IEC 62116; IEC 60068; IEC 61683;  
IEC 61727; IEC 62910.

## **B.2 CALCOLO DELLA PORTATA DI CORRENTE REALE**

Il calcolo della portata reale  $I_z$  di corrente è stata effettuata in ossequio alle raccomandazioni della norma **CEI 64 – 8 “IMPIANTI ELETTRICI UTILIZZATORI A TENSIONE NOMINALE NON SUPERIORE A 1000 V IN CORRENTE ALTERNATA E A 1500 V IN CORRENTE CONTINUA”**.

La portata reale  $I_z$  di un cavo, in una determinata condizione di installazione, si ricava con la relazione:

$$I_z = I_0 \cdot K_t$$

ove:

- $I_0$  = portata teorica dei cavi
- $K_t$  = coefficiente di correzione totale , è il prodotto di più coefficienti

Le portate di corrente si riferiscono a cavi funzionanti in sistemi trifasi equilibrati con frequenza di 50 Hz.

Le portate di corrente teoriche  $I_0$  indicate nella norma sono state calcolate considerando un funzionamento in regime permanente con un fattore di carico del 100%; la norma indica che se per alcune condizioni di funzionamento il carico risulta essere variabile o intermittente, le portate di corrente possono essere più elevate.

Si è considerato, come più avanti descritto, un incremento del 10%.

### **Condizioni di posa**

Le condizioni di posa delle linee in cavo oggetto del dimensionamento, sono:

- Cavi entro tubazioni interrate
- Lo spazio tra il cavo e la superficie interna della tubazione, si considera libero.

In ossequio alla norma CEI 64-8 la condizione di posa prevista è codificata con la tipologia

- Riferimento N°61 : cavi unipolari in tubazione interrata.

Le tubazioni previste sono in polipropilene, flessibili, corrugate, confezionamento in rotoli, corredate di manicotto terminale di giunzione; conformi alla norma CEI – EN – 50086 – 2 – 4 ( CEI 23 – 463 ) diametro esterno  $D_e = 160$  mm, resistenza allo sfilacciamento 40 J.

Conforme alla tabella di unificazione ENEL M5.1.

### **Portate teoriche**

Le portate teoriche, per conduttori in rame, con isolamento in EPR, per la tipologia prevista di posa, sono le seguenti, per le sezioni considerate:

#### **Sezione S = 150 mmq**

- Modalità di posa N°61  $I_0 = 287 \text{ A}$

#### **Sezione S = 185 mmq**

- Modalità di posa N°61  $I_0 = 323 \text{ A}$

#### **Sezione S = 240 mmq**

- Modalità di posa N°61  $I_0 = 379 \text{ A}$

Le portate indicate sono riferite alle seguenti condizioni:

- Temperatura massima del conduttore  $90^\circ \text{ C}$
- Temperatura del terreno  $20^\circ \text{ C}$
- Profondità di posa  $0,8 \text{ mt}$
- Resistività termica del terreno  $1,5 \text{ k} \cdot \text{m/W}$

### **Tipologia di cavo previsto**

I cavi previsti sono del tipo FG16M16 caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:

- Produttore  $\text{PRYSMIAN GROUP}$
- Tensioni nominali  $0,6/1 \text{ kV}$
- Norma di riferimento  $\text{CEI-UNEL 35324}$
- In accordo alla Normativa Europea  $\text{CPR-UE-305/11}$
- Temperatura massima del conduttore  $90^\circ \text{ C}$
- Temperatura massima in corto circuito  $250^\circ \text{ C}$
- Unipolari
- Isolante in gomma HEPR, qualità G16
- Rivestimento interno in riempitivo di materiale non igroscopico.
- Guaina esterna termoplastica di colore verde
- Posa: entro cunicoli; tubazioni interrate; interrato; in aria libera; interrato con protezione meccanica.

Le caratteristiche elettriche del cavo sono:

- Portate teoriche per posa interrata con resistività termica del terreno  $1,5 \text{ k} \cdot \text{m/W}$ :
- Sez. 150 mmq  $I_0 = 287 \text{ A}$
- Sez. 185 mmq  $I_0 = 323 \text{ A}$
- Sez. 240 mmq  $I_0 = 379 \text{ A}$

### Calcolo delle portate reali

La portata reale  $I_z$  dei cavi, in determinate condizioni, per le diverse sezioni previste, è data da:

$$I_z = I_0 \cdot K_t$$

ove:

- $I_0$  = portata teorica dei cavi
- $K_t$  = coefficiente di correzione totale , è il prodotto di più coefficienti

Il coefficiente totale di correzione  $k$  è:

$$K_t = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 , \text{ ove:}$$

- $K_1$ : coefficiente di correzione per la temperatura del terreno diversa da  $20^\circ \text{ C}$ .  
Alla profondità di posa del cavo si è prevista, molto verosimilmente, una temperatura di  $20^\circ \text{ C}$ ,  $K_1 = 1$ .
- $K_2$ : coefficiente di correzione che considera la diminuzione di portata di un cavo intubo interrato, posato sullo stesso piano di altri cavi, per effetto del mutuo riscaldamento tra di essi. Considerando più tubazioni a contatto  $K_2 = 0,6$ .
- $K_3$  : coefficiente di correzione che considera la variazione di portata per profondità di posa diversa dal valore preso come riferimento, pari a  $0,8 \text{ mt}$ .  $K_3=1$
- $K_4$  : coefficiente di correzione che considera la variazione di portata del cavo per resistività termica diversa dal valore preso come riferimento, pari a  $1,5 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ , cioè terreno secco.  $K_4=1$

$$\text{Quindi } K_t = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 1 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 = 0,6$$

Circa le portate reali dei cavi, facendo riferimento ai valori di portata teorica indicati, si ha:

**Sezione S = 150 mmq**

$$I_0 = 287 \text{ A}$$

$$I_z = 287 \cdot 0,6 = 172 \text{ A}$$

**Sezione S = 185 mmq**

$$I_0 = 323 \text{ A}$$

$$I_z = 323 \cdot 0,6 = 194 \text{ A}$$

**Sezione S = 240 mmq**

$$I_0 = 379 \text{ A}$$

$$I_z = 379 \cdot 0,6 = 227 \text{ A}$$

Nelle figure riportate sono indicate, rispettivamente:

- Fig. 2.1 Sezione Tipica S1 ( 1 cavo )
- Fig. 2.2 Sezione Tipica S2 ( 2 cavi )
- Fig. 2.3 Sezione Tipica S3 ( 6 cavi )
- Fig. 2.4 Sezione Tipica S4 – Ingresso Cavi Cabina di Campo

### SEZIONE TIPICA "S1"

- N° 1 LINEA IN CAVO BT - POSA SU STRADA STERRATA O TERRENO NATURALE AGRICOLO
- MODALITÀ DI POSA: IN TUBO PROTETTIVO INTERRATO (CEI 64-8 - CONDIZIONE DI POSA N. 61)
- CAVO IN FORMAZIONE 3x1x185 mmq
- CAVO TIPO FG16M16-0,6/1 kV

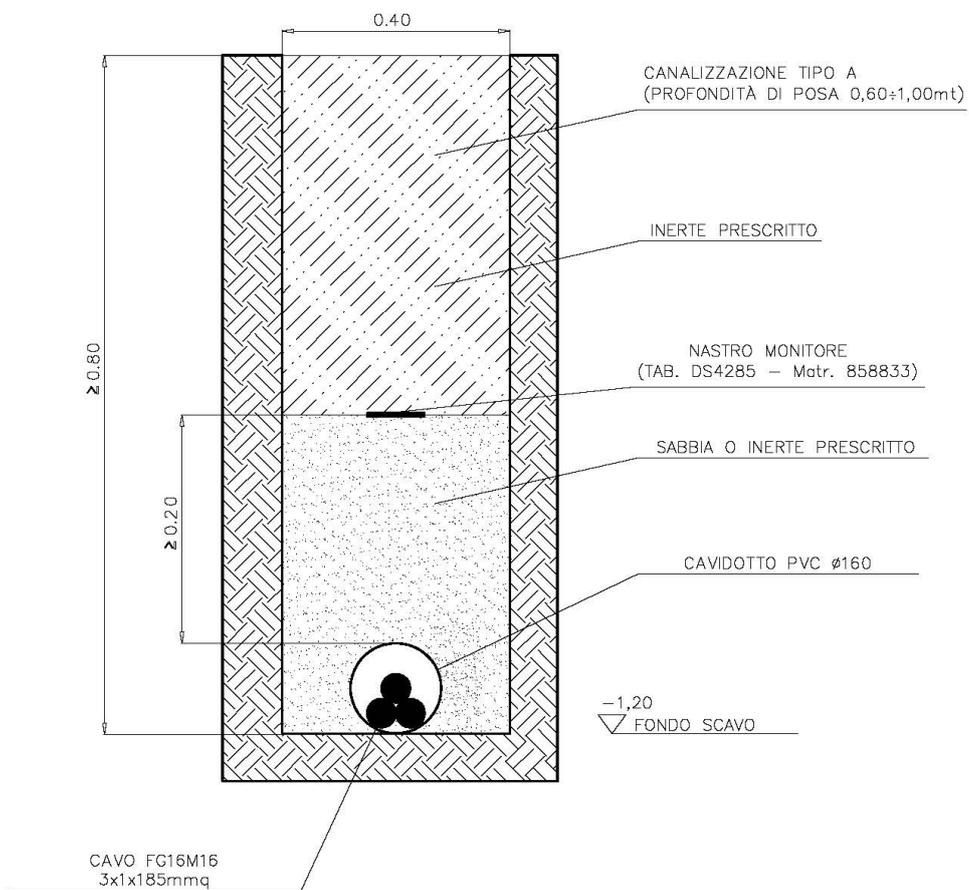


Fig. 2.1

## SEZIONE TIPICA "S2"

- N° 2 LINEE IN CAVO BT - POSA SU STRADA STERRATA O TERRENO NATURALE AGRICOLO
- MODALITÀ DI POSA: IN TUBO PROTETTIVO INTERRATO (CEI 64-8 - CONDIZIONE DI POSA N. 61)
- CAVO IN FORMAZIONE 3x1x185 mmq
- CAVO TIPO FG16M16-0,6/1 kV

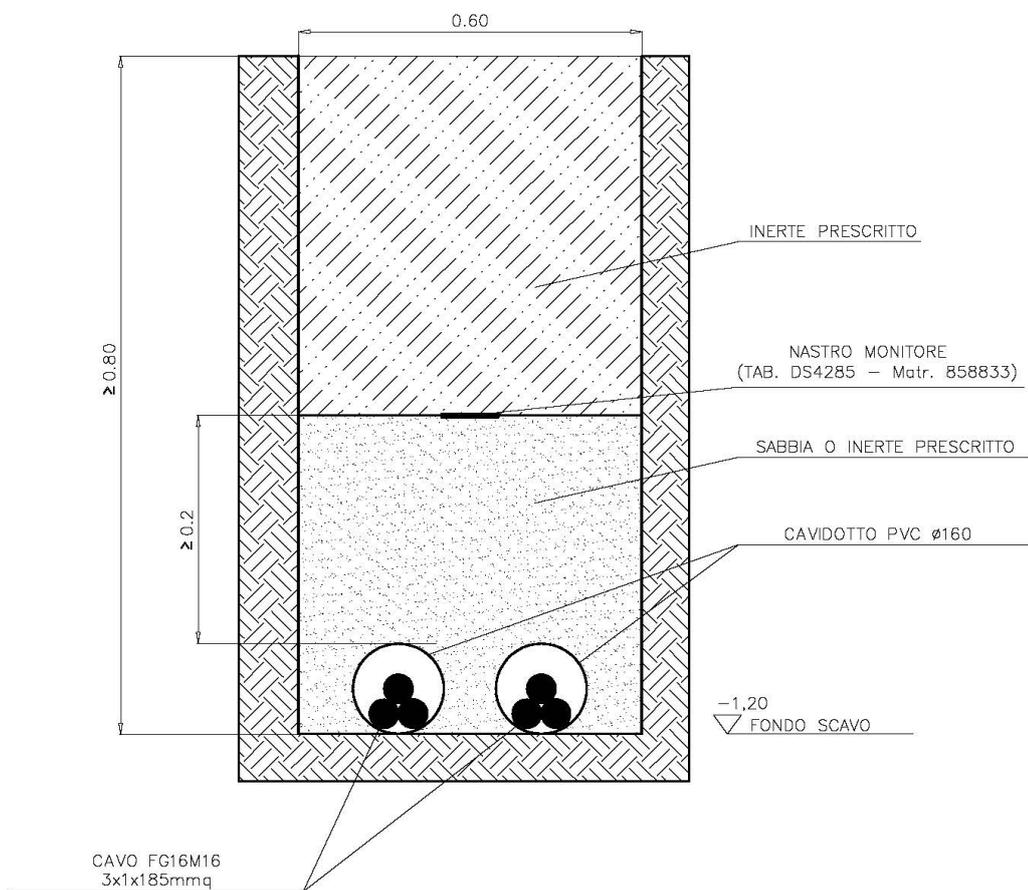


Fig. 2.2

### SEZIONE TIPICA "S3"

- N° 6 LINEE IN CAVO BT - POSA SU STRADA STERRATA O TERRENO NATURALE AGRICOLO
- MODALITÀ DI POSA: IN TUBO PROTETTIVO INTERRATO (CEI 64-8 - CONDIZIONE DI POSA N. 61)
- CAVO IN FORMAZIONE 3x1x185 mmq
- CAVO TIPO FG16M16-0,6/1 kV

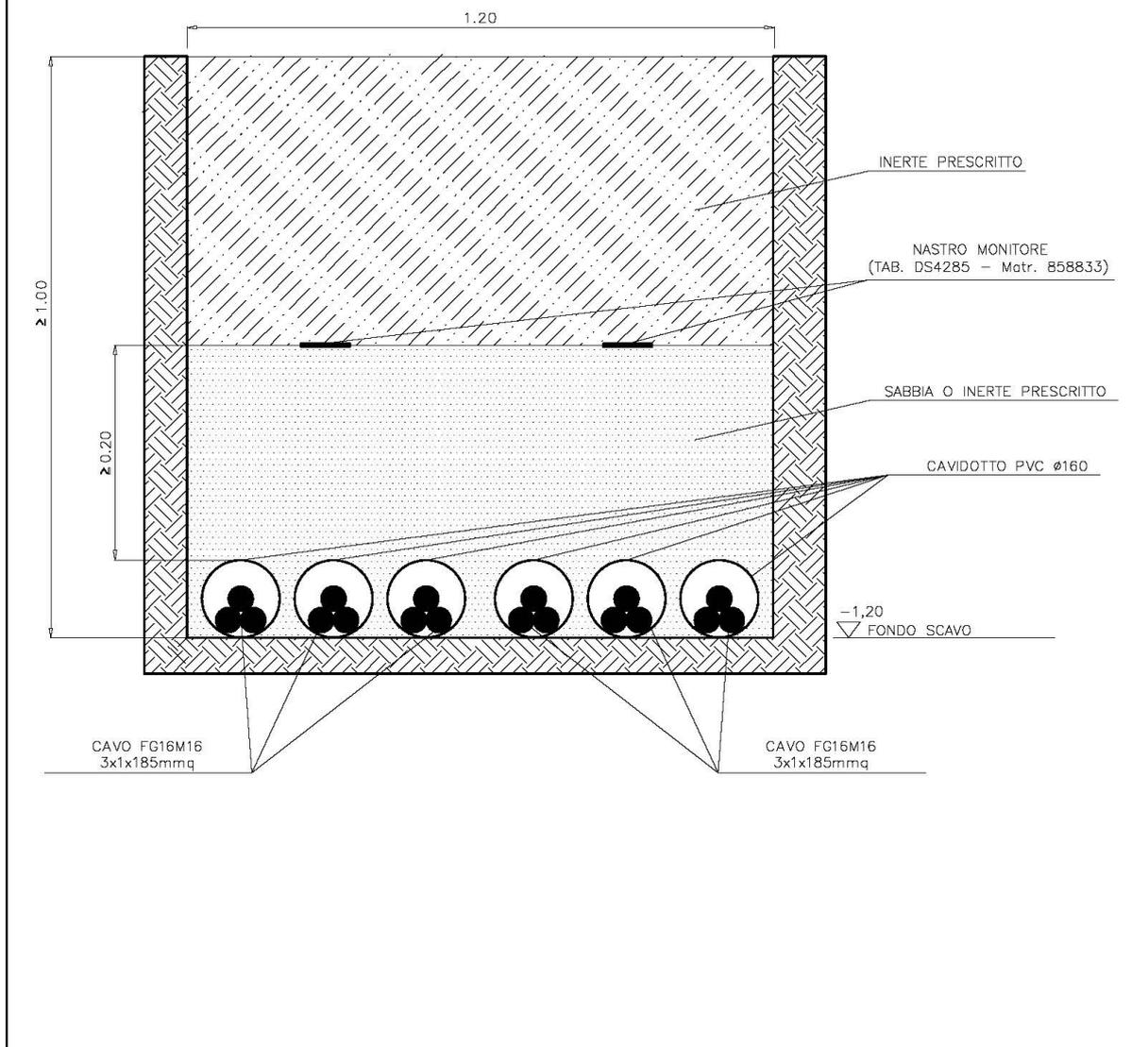
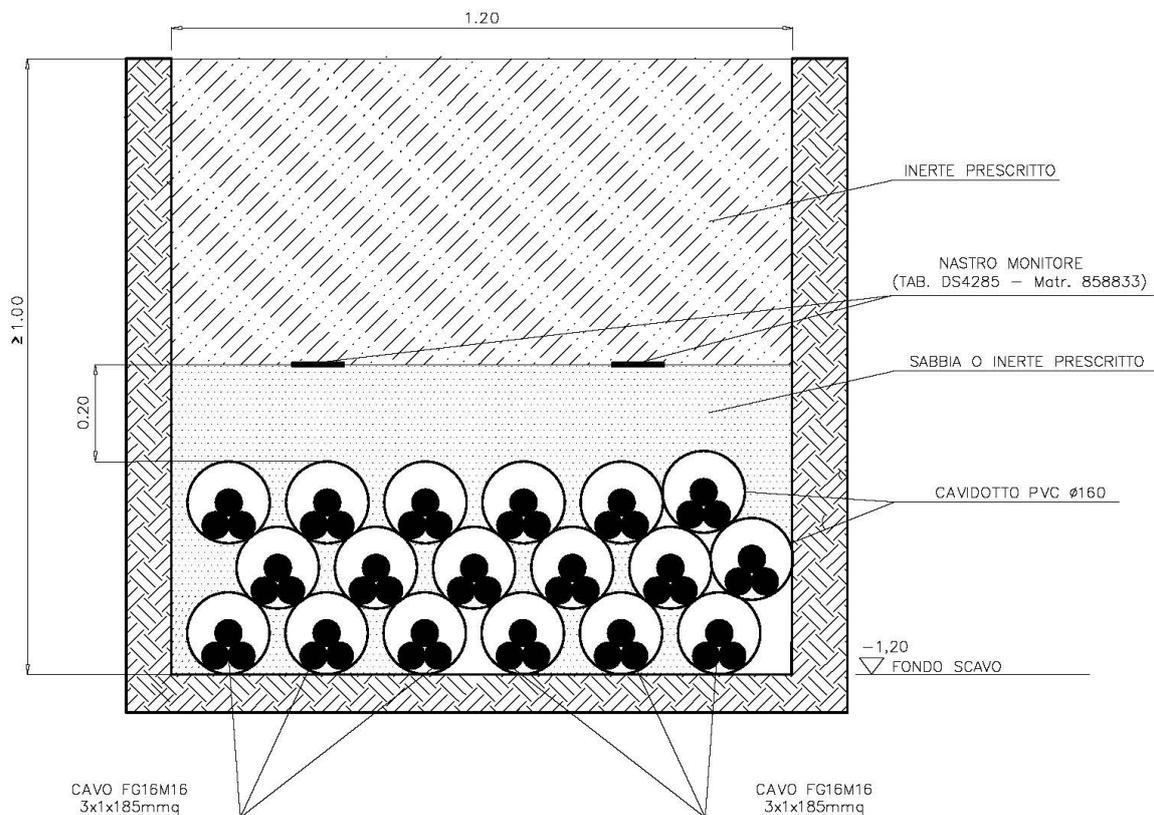


Fig. 2.3

**SEZIONE TIPICA "S4"**  
**SEZIONE INGRESSO CAVI BT-0,6/1 kV DA INVERTER**  
**IN PREFABBRICATO DI CAMPO**

- N° 18 LINEE IN CAVO BT - POSA SU STRADA STERRATA O TERRENO NATURALE AGRICOLO
- MODALITÀ DI POSA: IN TUBO PROTETTIVO INTERRATO (CEI 64-8 - CONDIZIONE DI POSA N. 61)
- CAVO IN FORMAZIONE 3x1x185 mmq
- CAVO TIPO FG16M16-0,6/1 kV



**Fig. 2.4**

### **Verifica congruità portate di corrente dei cavi previsti**

La corrente di impiego massima ( alla potenza di targa ), lato 800 Vac dell'inverter, è **I<sub>b</sub> = 135 A**

Come si evince, tutte le sezioni previste, da S = 150 mmq a S=240 mmq, presentano una portata I<sub>z</sub> superiore alla I<sub>b</sub>.

**Quindi circa le portate I<sub>z</sub>, le sezioni previste sono congrue.**

### **B.3 CALCOLO DELLE CADUTE DI TENSIONE**

Nel caso di corrente alternata la caduta di tensione è calcolata con la relazione

$\Delta V = K \cdot I \cdot L ( R \cdot \cos\varphi + X \sin\varphi )$ , ove:

K = 1,73 per linee trifasi

I = corrente di impiego; I<sub>b</sub> = 135 A

L = lunghezza della linea ( mt )

R = resistenza della linea alla temperatura massima di servizio ( ohm/km )

X = reattanza di fase della linea ( ohm/km )

Cosφ = fattore di potenza, posto pari a 0,95

I valori di R e di X sono forniti dal costruttore e valgono per:

#### **Resistenza R**

- S = 150 mmq                      R = 0,16 ohm/km
- S = 185 mmq                      R = 0,13 ohm/km
- S = 240 mmq                      R = 0,096 ohm/km

#### **Reattanza X**

- S = 150 mmq                      X = 0,080 ohm/km
- S = 185 mmq                      X = 0,080 ohm/km
- S = 240 mmq                      X = 0,078 ohm/km

Si è imposto un valore limite massimo di caduta di tensione, per i collegamenti di bassa tensione in esame, pari all' 1% .

Nella tabella allegata T.B.1 sono riportate le formazioni di ciascuna delle linee di collegamento tra i singoli inverter con il quadro di parallelo inverter della cabina di campo C.1.4.

Come si evince la massima caduta di tensione che si determina è pari all' 1%.

**TABELLA T.B.1 LINEE DI COLLEGAMENTO BT – 800 V TRA INVERTER  
E CABINA DI CAMPO C.1.4 – ANELLO 1.1 – AREA 1**

<b>INVERTER</b>	<b>LUNGHEZZA ( mt )</b>	<b>TIPO</b>	<b>FORMAZIONE SEZIONE ( mmq )</b>	<b>CADUTA TENSIONE <math>\Delta V</math> %</b>
I.1	125	FG16M16	3 x 1 x 185	0,5
I.2	80	FG16M16	3 x 1 x 150	0,4
I.3	60	FG16M16	3 x 1 x 150	0,35
I.4	160	FG16M16	3 x 1 x 185	0,70
I.5	130	FG16M16	3 x 1 x 185	0,5
I.6	105	FG16M16	3 x 1 x 150	0,54
I.7	85	FG16M16	3 x 1 x 150	0,40
I.8	60	FG16M16	3 x 1 x 150	0,35
I.9	210	FG16M16	3 x 1 x 185	0,90
I.10	180	FG16M16	3 x 1 x 185	0,78
I.11	130	FG16M16	3 x 1 x 185	0,50
I.12	315	FG16M16	3 x 1 x 240	1
I.13	290	FG16M16	3 x 1 x 240	0,97
I.14	330	FG16M16	3 x 1 x 240	1
I.15	315	FG16M16	3 x 1 x 240	1
I.16	290	FG16M16	3 x 1 x 240	0,97
I.17	410	FG16M16	2x ( 3 x 1 x 240 )	1
I.18	380	FG16M16	2x ( 3 x 1 x 240 )	0,97

#### B.4 VERIFICA DELLA TENUTA ALLE CORRENTI DI CORTO CIRCUITO

Come si evince dagli elaborati grafici , in ciascuna cabina di campo è previsto un trasformatore elevatore, di caratteristiche:

- Potenza nominale  $P = 3150 \text{ KVA}$
- Tensione primaria  $V_1 = 30 \text{ kV} \pm 2 \cdot 5\%$
- Tensione secondaria  $V_2 = 800 \text{ V}$  ( doppio secondario )
- Tensione di corto circuito  $V_{cc} = 6 \%$
- **Corrente nominale secondaria  $I_2 = 1138 \text{ A}$  ( per ciascuno secondario )**

La corrente di corto circuito, in corrispondenza di un secondario :

$$I_{cc} = \frac{I_2 \cdot 100}{V_{cc}} = \frac{1138 \cdot 100}{6} = 19,35 \text{ kA}$$

Circa la verifica delle sezioni delle linee in cavo di collegamento tra gli inverter e le cabine di campo , ci si è posti nella condizione peggiore, cioè di corto circuito che si verifica all'inizio della linea :

Deve essere soddisfatta la relazione

$$I^2 t \leq k^2 S^2$$

In pratica l'energia specifica lasciata fluire dall'interruttore generale di bassa tensione della sezione di pertinenza, in caso di corto circuito, è inferiore a quella sopportabile dal cavo.

$I$  = corrente di corto circuito presunta = 19,35 kA

$t$  = tempo di interruzione della corrente di corto circuito; si considera un ritardo intenzionale di intervento della funzione di protezione ANSI 50, pari a 50 msec.

$K$  = costante dipendente dalla natura dell'isolante; nel caso in esame  $k = 143$

$S$  = sezione della linea di bassa tensione; nel caso in esame  $S = 150 \text{ mm}^2$ ;  $S=185 \text{ mm}^2$  ed  $S=240 \text{ mm}^2$ , a seconda di quale linea si considera delle tipologie interessate.

**Verifica per sezione  $S=150 \text{ mm}^2$**

$$I^2 t = 19350^2 \cdot 0,05 = 1,872 \cdot 10^7$$

$$K^2 \cdot S^2 = 4,6 \cdot 10^8$$

**La condizione  $I^2 t \leq k^2 S^2$  è soddisfatta**

### **Verifica per sezione S=185 mmq**

$$I^2t = 19350^2 \cdot 0,05 = 1,872 \cdot 10^7$$

$$K^2 \cdot S^2 = 6,998 \cdot 10^8$$

**La condizione  $I^2t \leq k^2$  è soddisfatta**

### **Verifica per sezione S=240 mmq**

$$I^2t = 19350^2 \cdot 0,05 = 1,872 \cdot 10^7$$

$$K^2 \cdot S^2 = 1,177 \cdot 10^9$$

**La condizione  $I^2t \leq k^2$  è soddisfatta**

## **B.5 CONCLUSIONI**

Le linee in cavo di bassa tensione  $V_e=800$  V di collegamento tra gli inverter e le cabine di campo, individuate nella tipologia:

**Cavo unipolare tipo FG16M16 - 0,6/1 kV - 3 x 1 x 150 mmq; 3x1x185 mmq e 3x1x240 mmq**

sono idonee perché soddisfano contemporaneamente tutte le condizioni necessarie:

- **Portate reali  $I_z$  ( 151-194-227 A ) superiori alla corrente di impiego  $I_b = 135$  A**
- **Cadute di tensione, per qualunque linea, inferiori all'1%**
- **Verifica, positiva, della tenuta alle correnti di corto circuito.**