

PROGETTO DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO  
CON POTENZA NOMINALE DI 94 MW  
DA REALIZZARE NEL COMUNE DI VITTORIA (RG)  
E NEL COMUNE DI CHIARAMONTE GULFI (RG)  
DENOMINATO "CHIARAMONTE III"



## REL.CE

### Calcoli dei Circuiti Elettrici

Project Manager	 <p>Soluzioni Tecniche Multidisciplinari</p> <p>Via Giovanni Campolo, 92 90145 - Palermo Tel. 091-6818075 info@stmingegneria.it</p>	<p>Ing. Giuseppe Meli Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo N. 5355</p> <p><u>TEAM di Progettazione:</u> Ing. Davide Baldini Ing. Maurizio Savi Ing. Giovanni Termini Arch. Ilenia Zunino Arch. Filippo Piazza</p>	Consulenze Specialistiche	 <p>L'EFFICIENZA DEI MIGLIORI</p> <p><b>TecSolis S.r.l.</b> via Baraggino snc (Ex Cav) 10034 - Chivasso (TO) tel. 011-9173881 Email: info@tecsolis.com P.IVA 09657340015</p> <p>Ing. V. Chiarelli Ing. A. Garramone Ing. Luca Argano</p>	 <p><b>Sicilwind S.r.l.</b> Viale Croce Rossa, 25 90144 - Palermo (PA) tel. 0919763933</p> <p>Michele Ognibene (Geologo) Rosario Fria (Geologo) Marcello Militello (Geologo) Ivo Gulino (Ingegnere) Paolo Castelli (Agronomo) Corrado Castelli (Agronomo-Forestale) Filippo Ianni (Archeologo)</p>
	Visto Ente				
Rev.	Data	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato
0	30/11/2022	Prima emissione	F. Piazza	G. Termini	G. Meli

## Sommario

SCOPO DEL DOCUMENTO – ABSTRACT.....	3
PRESCRIZIONI NORMATIVE.....	4
SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO.....	4
AMBIENTE.....	5
DESCRIZIONE DELL’IMPIANTO.....	6
RETE MT.....	7
DIMENSIONAMENTO CAVI MT.....	7
SCELTA DELLA SEZIONE.....	8
CONCLUSIONI.....	10
SPECIFICHE TECNICHE.....	11

## SCOPO DEL DOCUMENTO – ABSTRACT

Scopo del presente documento è quello di analizzare i circuiti dell'impianto da fonte solare, individuare le soluzioni possibili, dimensionare i cavi ed i dispositivi di protezione. In particolare saranno valutati i cavi utilizzati AT, MT, BT e le perdite per effetto Joule associate.

L'impianto, di potenza di 94,0 MWp, da installarsi nei Comuni di Vittoria (RG) e Chiaramonte Gulfi (RG), è collegato alla stazione elettrica TERNA destinata all'immissione in rete dell'energia elettrica prodotta.

## PRESCRIZIONI NORMATIVE

Le apparecchiature, i componenti d'impianto e tutte le opere descritte sono progettate e saranno costruite e collaudate in conformità alle seguenti normative in vigore:

- norme CEI / IEC
- normative di unificazione UNI e UNEL
- prescrizioni ENPI - prescrizioni INAIL (ex ISPESL)
- D.L. n. 81/2008

L'impianto in oggetto, ove non diversamente specificato, sarà realizzato conformemente alla Norma CEI 11-1. Le aziende realizzatrici saranno certificate e impegnate a migliorare il proprio Sistema di Gestione della Qualità al fine di assicurare che i propri processi interni siano conformi ai requisiti specificati dalla norma UNI EN ISO 9001:2008.

## SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO

Norme applicabili

D.Lgs. 81/08 e s.m.i. – Testo unico sulla Salute e Sicurezza sul lavoro

- Accordo 21 Dicembre 2011 – Formazione alla sicurezza di lavoratori, preposti, dirigenti e datori di lavoro RSPP. - Accordo 22 febbraio 2012 – Individuazione delle attrezzature di lavoro per le quali è richiesta una specifica abilitazione degli operatori.

- D.Lgs. 276/03 e s.m.i. - Attuazione delle deleghe in materia di occupazione e mercato del lavoro.

- D.P.R. 177/11 – Decreto Spazi Confinati

- D.Lgs. 17/10 – Direttiva Macchine

- D.M. 11 aprile 2011 – Disciplina delle verifiche periodiche di cui all'allegato VII del D.Lgs. 81/08.

- D.Lgs. 475/92 e s.m.i. – Dispositivi di Protezione Individuale

- D.M. 2 maggio 2001 - Criteri per l'individuazione e l'uso dei dpi.

- Legge 136/10 – Piano straordinario contro le mafie.

- D.M. 37/08 e s.m.i. – Norme per la sicurezza degli impianti.

- D.P.R. 462/01 – Organismi abilitati alle verifiche.

- Legge 125/01 – Legge quadro in materia di Alcool e problemi correlati.

- D.Lgs. 624/96 – Industrie estrattive

- D.M. 10 marzo 1998 - Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro.

- D.P.R. 151/11 e s.m.i. – Nuove attività soggette.

- D.M. del 20 dicembre 2012 - Regola tecnica per la progettazione degli impianti antincendio di protezione attiva nelle attività soggette.

- D.M. 388/03 – Disposizione sul pronto soccorso aziendale.

## AMBIENTE

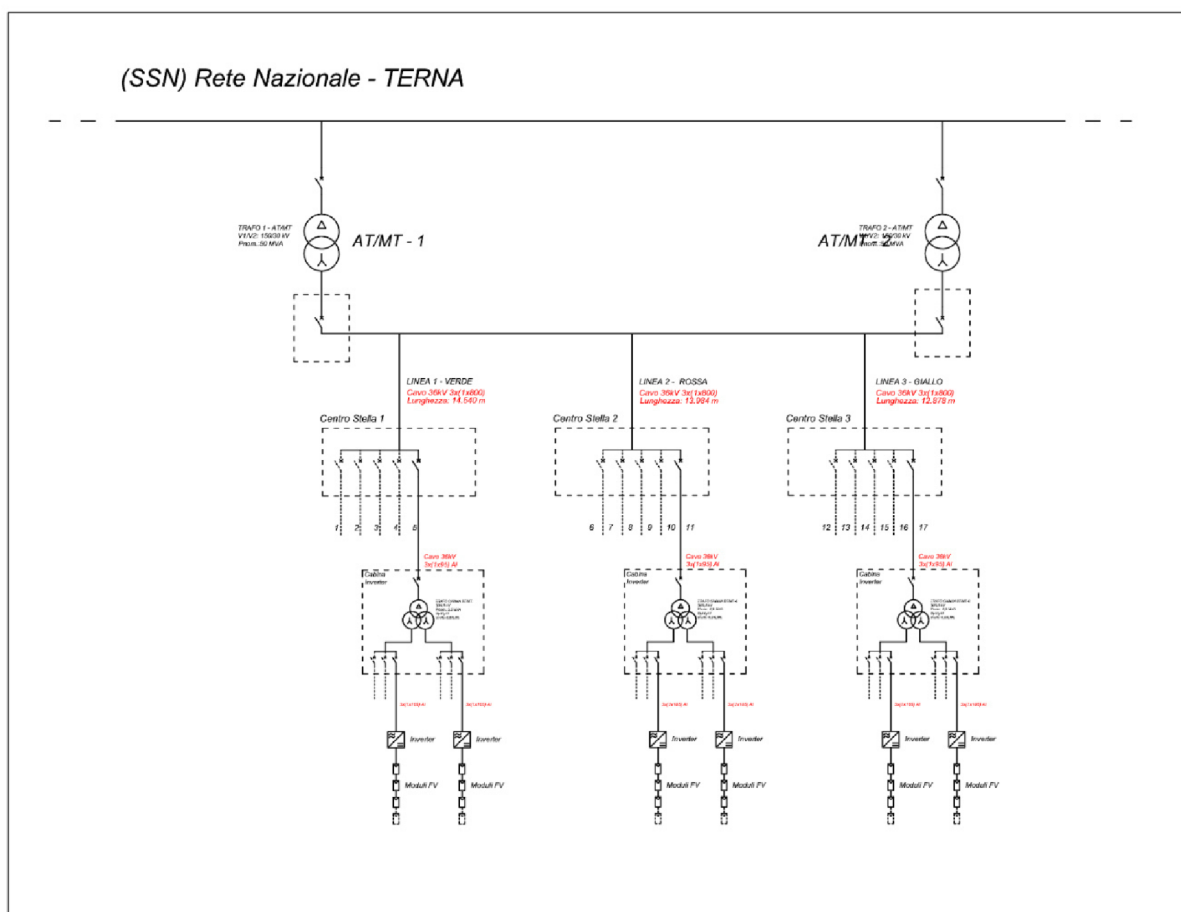
- D.Lgs. 152/06 – Testo unico Ambiente.
- D.M. 161/12 – Terre e rocce da scavo.
- DPCM 20 Dicembre 2012 – Approvazione del modello unico di Dichiarazione ambientale.
- D.Lgs. 36/03 e s.m.i. – Discariche di rifiuti.
- D.M. 27 Settembre 2010 - Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica.
- D.Lgs. 151/05 - Riduzione dell'uso di sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche, nonché allo smaltimento dei rifiuti.
- D.M. 65/10 - Modalità “semplificate” di gestione dei Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (denominate RAEE) da parte dei distributori, degli installatori e dei centri di assistenza tecnica.
- DPR 43/2012 – Regolamento gas fluorurati effetto serra.
- D.Lgs. 26/13 – Sanzioni Gas fluorurati. –
- Legge 447/95 - Legge quadro sull' inquinamento acustico.
- Regolamento (CE) n. 1907/2006 e s.m.i. - Registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione delle sostanze chimiche (REACH).
- D.Lgs. 133/09 – Sanzioni REACH - Legge 10/91 e s.m.i. - Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.
- Allegati Terna applicabili
- CEI 0-16
- CEI 0-21

## DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

L'impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare, per una potenza complessiva di 94,0 MW (dc), da realizzare nei Comuni di Vittoria (RG) e Chiamonte Gulfi (RG), in area "Chiamonte III", è collegato alla sottostazione Terna, sulla rete AT (Alta Tensione) a 150 kV.

Lo schema di principio dell'impianto è riportato nella figura seguente:

L'impianto solare è suddiviso in 3 sottocampi, collegati alla RTN tramite due trasformatori, a loro



volta collegati a tre cabine di distribuzione (una per sottocampo). La cabina di trasformazione di sottocampo è collegata alle power station (gruppi inverter/trasformatore) con una rete radiale MT. Gli inverter sono collegati, tramite cavi DC, ai quadri di stringa, e quindi ai pannelli.

Le opere elettriche necessarie al collegamento alla rete AT della RTN dei gruppi di generazione sono le seguenti:

1. Rete in cavo interrato MT (Vn 30 kV), una per sottocampo, per il collegamento dei trasformatori AT/MT alle stazioni di distribuzione – cavi interrati-
2. Rete MT dalla cabina di distribuzione alle singole power station -cavi interrati-
3. Rete BT (1500Vdc max) dalle power station ai quadri di stringa

Per maggiori dettagli tecnici delle suddette opere si rimanda allo schema unifilare.

## RETE MT

I 3 cavi di collegamento tra i trasformatori AT/MT ed i centri-stella, con tensione pari a 30 kV, sono posati in cavidotto interrato. La potenza ac dei gruppi inverter è pari a 79,65,00MVA (26,32+28,12+25,20) per cui la corrente massima di ogni singolo cavo è pari o inferiore a 542 A .

I centri stella sono collegati alle cabine di trasformazione dei sottocampi con cavi MT interrati, la cui corrente massima è pari a 125 A.

## DIMENSIONAMENTO CAVI MT

Il trasporto dell'energia avviene mediante l'utilizzo di cavi interrati posati in trincea, sul letto di sabbia secondo quanto descritto dalla modalità M delle norme CEI 11-17. Per i cavi interrati le Norme CEI 11-17 prevedono una protezione meccanica che può essere intrinseca al cavo stesso oppure supplementare, a seconda del tipo di cavo e della profondità di posa. Nel caso specifico, nella posa di cavi in trincea a cielo aperto si esegue, quale protezione meccanica, la disposizione di un apposito tegolino in PVC posto ad almeno 20 cm rispetto al cavo stesso. Inoltre, sovrastante il sopradetto tegolino di protezione, viene sistemato un nastro di segnalazione di colore rosso con l'indicazione: CAVI ELETTRICI.

Per i calcoli seguenti si utilizza una resistività termica del terreno media ossia pari a 1,5°Cm/W.

Gli elementi essenziali che costituiscono un cavo sono il conduttore, il quale deve assolvere la funzione del trasporto della corrente elettrica, e l'isolamento, destinato ad isolare elettricamente la parte attiva (il conduttore) dall'ambiente di posa e sostenere, nel tempo, la tensione di esercizio. I cavi MT scelti per posa interrata sono unipolari.

I cavi utilizzati sono con conduttore in alluminio a corda rigida rotonda, isolati con una mescola isolante a base di polietilene reticolato, schermati per mezzo di materiale conduttore. Vedi fig. 1

La sezione dei cavi di ciascun tronco di linea è stata calcolata in modo da essere adeguata ai carichi da trasportare nelle condizioni di massima produzione di tutti i generatori e minimizzare le perdite. Tutti i cavi MT, sono stati dimensionati in modo tale che risultino soddisfatte le seguenti relazioni:

a)  $I_c \leq I_n$

b)  $\Delta V\% \leq 5\%$

Dove

-  $I_c$  è la corrente di impiego del cavo;

-  $I_n$  è la portata del cavo, calcolata tenendo conto del tipo di cavo e delle condizioni di posa;

-  $\Delta V\%$  è la massima caduta di tensione. Per il calcolo della portata  $I$  è stato assunto un coefficiente di correzione variabile "K" a seconda della modalità di posa. La portata dei cavi, direttamente interrati ad una profondità non inferiore ad 1,2 m con temperatura del terreno di 20° C e resistività termica del terreno stesso pari a 1,5° C m/W, è indicata nel prospetto seguente:

Sez. (mmq)	Posa interrata		T. funzionam.		T=90°C	
	1°Cm/W In (A)	1,5 °Cm/W In (A)	R ohm/Km	X ohm/Km	R ohm/Km	X ohm/Km
70	212	186,56	0,442	0,133	0,576	0,15
95	252	221,76	0,316	0,125	0,415	0,14
120	288	253,44	0,250	0,119	0,329	0,14
150	321	282,48	0,207	0,115	0,269	0,13
185	364	320,32	0,162	0,11	0,217	0,12
240	422	371,36	0,11	0,107	0,168	0,12
300	475	418	0,100	0,103	0,134	0,12
400	543	477,84	0,083	0,101	0,109	0,11
500	618	543,84	0,060	0,097	0,1	0,11
630	703	618,64	0,048	0,095	0,1	0,1

Il progetto delle linee elettriche si basa sul criterio della perdita della potenza e della caduta di tensione ammissibile.

## SCELTA DELLA SEZIONE

I generatori del campo fotovoltaico sono state suddivise in tre gruppi 1-2-3, la potenza massima (ac) generabile dalla singola sottosezione (max 30 MW) viene individuata la corrispondente corrente nominale massima (In), verificando se questo valore è inferiore al valore massimo ammissibile, ipotizzando un coefficiente del terreno pari a 1,5°C/m/W (Kt in tabella).

Formula utilizzata per perdite di tensione (in un sistema trifase):

$$dV = 1.73 \rho L I / S$$

con  $\rho$  la resistività elettrica del conduttore espressa in  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ;

L la lunghezza della linea in metri;

I la corrente nominale trasportata;

S la sezione del cavo in  $\text{mm}^2$ ;



CAVO MT – TRASFORMATORI AT/MT - - - CABINE DI DISTRIBUZIONE-

MODELLO	PORTATA A	IMPIEGO	LUNGHEZZA	dV	TENSIONE
	In [A]	Ic [A]	[m]	%	[kV]
AL/XLPE/LAT/MDPE – 800-	836	507	14540	0.30	30
AL/XLPE/LAT/MDPE – 800-	836	542	13984	0.31	30
AL/XLPE/LAT/MDPE – 800-	836	485,5	12878	0.25	30
				0.29	

CAVO MT - CABINE DI DISTRIBUZIONE - - - POWER STATION-

SOTTOCAMPO	MODELLO	PORTATA	IMPIEGO	LUNGHEZZA	dV	TENSIONE
		In [A]	Ic [A]	[m] val. medio	%	[kV]
1	ARP1H5(AR)E -95-	254	101	951	0.019	30
2	ARP1H5(AR)E -95-	254	90	406	0.008	30
3	ARP1H5(AR)E -95-	254	81	1244	0.021	30
					0.016	

CAVO BT ( DC) POWER STATION- - - QUADRI DI STRINGA

SOTTOCAMPO	MODELLO	PORTATA	IMPIEGO	LUNGHEZZA	dV	TENSIONE
		In [A]	Ic [A]	[m] val. medio	%	[kV]
1	ARE4M1-240-	436	162	3726	<2	0.8
2	ARE4M1-240-	436	162	4139	<2	0.8
3	ARE4M1-240-	436	162	2986	<2	0.8
					2	

## CONCLUSIONI

La somma delle cadute di tensione sui cavi AT-MT-BT è inferiore al 3,6%, misurata nel punto di massima potenza teorica di funzionamento dell'impianto.

Infatti un impianto fotovoltaico genera la potenza massima quando:


- l'irraggiamento è al valore massimo (1000W/mq)
- Il sole è perpendicolare al piano dei moduli
- la temperatura delle celle è pari a 25°C
- Il rendimento del gruppo inverter/trasformatore è pari al 100%

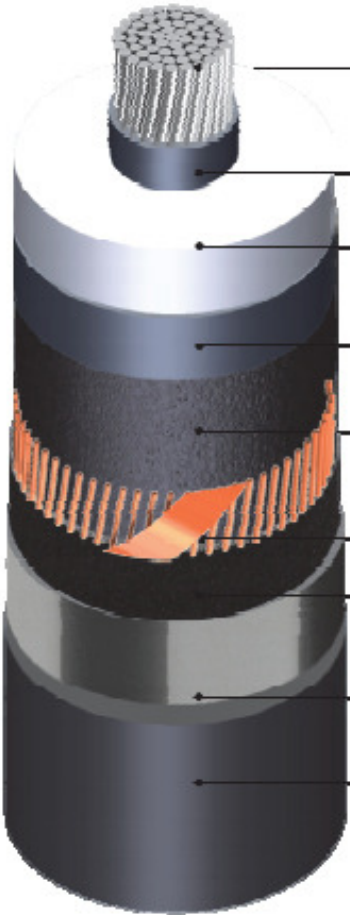
Queste condizioni non sono mai verificate contemporaneamente. Ad esempio con temperatura ambiente di 35°C, la temperatura dei moduli è di circa 65°C, con una perdita di potenza vicina al 15%, rispetto al valore di targa dei moduli. Si raggiunge il valore nominale di potenza solo in giornate primaverili assolate, fredde, durante il passaggio delle nuvole e per pochi secondi.

## SPECIFICHE TECNICHE

### Scheda Technica del cavo

Type: XDRCU-ALN 1x630 AL mm<sup>2</sup> 220/127 kV (245 kV)





**Conduttore in Alluminio, compatto, round**  
Diametro: 30.7 mm

**Schermo semi-cond., estruso**  
Spessore: 1.0 mm    Diametro: 32.0 mm

**Isolamento in XLPE, estruso**  
Spessore: 18.1 mm    Diametro: 60.1 mm

**Schermo semi-cond., estru. dell'isolam.**  
Spessore: 1.0 mm    Diametro: 71.1 mm

**Nastri igroespand.**  
Spessore: 0.9 mm

**Schermo a fili di rame, ad elica contraria**  
Sezione totale : 200 mm<sup>2</sup>

**Nastri igroespand.**  
Spessore: 0.9 mm    Diametro: 78.1 mm

**Guaina lamin.:**  
Guaina metal. in allum., resina di copolim.  
Spessore: 0.20 mm    Diametro: 78.6 mm

**Guaina est. in PE resistente al fuoco, nera, estru**  
Spessore: 4.2 mm    Diametro: 87.8 mm

**Guaina est. semi-cond., nera**

**Dati tecnici:**

Peso del cavo:	8.8 kg/m	Capacità specifica	0.180 uF/km
		Raggio min. di curvatura:	1.8 m
		Mass. forza di trazione:	18.9 kN
C-circuito n. schermo:	45kA/0.5s	Resist. max. DC @ 20°C:	0.0469 Ω/km

Tutti i dati tecnici sono indicativi e soggetti a modifiche.

Disegnato: ROD-9912  
Data: 08.03.2019  
Referenza: 83-SJ-5335

Disegno della sezione  
Cavo XLPE a Tensione Altissima

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

**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
<i>conductor cross-section</i>	<i>conductor diameter</i>	<i>diameter over insulation</i>	<i>nominal outer diameter</i>	<i>weight</i>	<i>minimum bending radius</i>
(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)

sezione nominale	posa in aria a trifoglio	posa interrata a trifoglio	
		p=1 °C m/W	p=2 °C m/W
<i>conductor cross-section</i>	<i>open air installation trefoil</i>	<i>underground installation trefoil</i>	
(mm <sup>2</sup> )	(A)	p=1 °C m/W	p=2 °C m/W

**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	400
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

## ARE4M1 0,6/1 kV



## ARE4M1

sezione nominale	diametro conduttore	spessore nominale isolante	diametro esterno nominale	peso indicativo del cavo	resistenza massima a 20 °C in c. c.	portata di corrente (A) con temperatura ambiente di		raggio minimo di curvatura
<i>conductor cross-section</i>	<i>conductor diameter</i>	<i>nominal insulation thickness</i>	<i>nominal outer diameter</i>	<i>approximate weight</i>	<i>maximum DC resistance at 20 °C</i>	<i>permissible current rating (A)</i>		<i>minimum bending radius</i>
(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(Ω/km)	30 °C in aria <i>in open air at 30 °C</i>	20 °C interrato <i>buried at 20 °C</i>	(mm)
						ρ=1°C m/W		

## 1 conduttore / Single core

16	4,75	0,7	10,5	140	1,91	83	96	126
25	6,0	0,9	11,5	165	1,20	110	127	138
35	7,0	0,9	11,5	175	0,868	131	151	138
50	8,2	1,0	13,0	220	0,641	160	179	156
70	9,7	1,1	14,5	295	0,443	203	219	174
95	11,4	1,1	16,5	385	0,320	252	261	198
120	12,9	1,2	18,0	475	0,253	296	297	216
150	14,0	1,4	20,0	575	0,206	339	332	240
185	15,8	1,6	22,0	720	0,164	397	376	264
240	18,2	1,7	24,5	905	0,125	476	436	294
300	20,8	1,8	27,5	1120	0,100	557	493	330
400	23,8	2,0	31,5	1455	0,0778	660	564	378
500	26,7	2,2	34,5	1815	0,0605	774	642	414
630	30,5	2,4	40,0	2350	0,0469	910	731	480