

COMUNE di CARPIGNANO SALENTINO(LE)

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO AGRI-FOTOVOLTAICO IMPIANTO DI PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE DI TIPO FOTOVOLTAICO INTEGRATO DA RIQUALIFICAZIONE AGRICOLA

Committente:

URBA - I 130115 S.R.L

Via G. Giulini,2
20123 Milano (MI)



Nuova Tutela s.r.l.

Via Ernesto Simini, 36 - 73100 - Lecce (LE)

Mail: amministrazione.nuovatutela@gmail.com

Spazio Riservato agli Enti:

REV	DATA	ESEGUITO	VERIFICA	APPROV	DESCRIZ
R0	12/09/2022	EC	EC	GP	Emissione VIA AU

Numero Commessa:

C 4184

Data Elaborato:

12/09/2022

Revisione:

R1

Titolo Elaborato:

Relazione di calcolo elettrico

Progettista:

Ing. Eugenio CASCELLI

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.6710
Via Aristosseno 21, 70126 Bari
Mail e.cascelli@energycube.info
Cell 3382661982

Elaborato:

Rel_20

1 INDICE

1.	GENERALITA' E SCOPO DEL DOCUMENTO	3
1.1	Inquadramento del sito dell'impianto fotovoltaico	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3.	DESCRIZIONE DELLA DISTRIBUZIONE ELETTRICA	7
3.1	Media tensione	7
3.2	Bassa tensione in AC	10
3.3	Bassa tensione in corrente continua	14
4.	CRITERI DI CALCOLO CAVI IN AC	17
4.1	Calcolo delle correnti di impiego	17
4.2	Dimensionamento dei cavi	18
4.3	Integrale di Joule	19
4.4	Dimensionamento dei conduttori di neutro	21
4.5	Dimensionamento dei conduttori di protezione	22
4.6	Calcolo della temperatura dei cavi	23
4.7	Cadute di tensione	23
4.8	Fornitura in media tensione	24
4.9	Trasformatori	25
4.10	Calcolo dei guasti	27
4.11	Calcolo delle correnti massime di cortocircuito	27
4.12	Calcolo delle correnti minime di cortocircuito	30
4.13	Guasti monofasi a terra linee MT	31
5.	CRITERI DI CALCOLO CAVI IN CORRENTE CONTINUA	34
5.1	Caduta di tensione	34
5.2	Perdita di potenza	35
6.	CONCLUSIONI	35

1. GENERALITA' E SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione intende illustrare i criteri di calcolo elettrico del parco "agri-foto-voltaico" per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile di tipo fotovoltaico integrato da riqualificazione agricola, avente una potenza di 10.719,22kWp e 9.900kW in immissione alla rete elettrica nazionale, da realizzarsi in agro di Carpignano Salentino (LE).

1.1 Inquadramento del sito dell'impianto fotovoltaico

Il sito interessato dal progetto ricopre una superficie di circa 11 ettari, posta in agro di Carpignano Salentino (LE) a circa 3km a nord dal centro abitato.

I terreni son catastalmente individuati dalle particelle indicate nella seguente tabella:

Comune di Carpignano Salentino (LE)			
Foglio	Particella	Superficie	Qualità
8	39	2ha 17are 70ca	ULIVETO
8	68	1ha 08are 60ca	ULIVETO
8	70	3ha 20are 13ca	ULIVETO
8	197	0ha 83are 90ca	ULIVETO
8	198	2ha 49are 08ca	ULIVETO
8	199	1ha 32are 79ca	ULIVETO

Tabella 1 - riferimenti catastali dei terreni



Figura 1 - ortofoto dell'area oggetto di intervento

L'area oggetto del presente progetto è interamente coltivata con circa 1740 alberi di ulivo.

A partire dal 2014 le piante di ulivo della zona salentina sono state colpite dal batterio Xylella Fastidiosa che ha portato in breve tempo al Disseccamento Rapido e poi alla morte della quasi totalità delle piante delle varietà più diffuse che erano la Cellina di Nardò e l'Ogliarola Leccese. Tutte le piante di ulivo presenti risultano colpite dal batterio Xylella, sono oramai completamente defogliate e non più in grado di offrire produzione di olive perché secche.

Il sito costeggia nei confini a sud ed est con due strade provinciali, rispettivamente la SP147 a sud e la SP146 ad est. Da queste strade si è lasciato un buffer di 30metri entro il quale non sono state previste installazioni a meno delle cabine elettriche, strade interne e recinzione.

L'accesso ai terreni è realizzato a sud sulla SP147.

Il progetto prevede l'installazione di 757 strutture metalliche per l'installazione di 24 moduli in silicio monocristallino. Complessivamente saranno installati n°18.168 moduli della potenza di 590Wp per una potenza complessiva in corrente continua di 10.719,12kWp.

I pannelli saranno organizzati in stringhe da 24 e saranno collegati a 44 inverter di stringa distribuiti sul perimetro dell'impianto. Questi ultimi saranno connessi a tre distinte cabine di trasformazione. L'energia prodotta sarà inviata in media tensione alla cabina di consegna, posto sul lato sud dell'impianto, e ceduta alla rete del distributore ad una tensione di 20kV.

Nell'immagine seguente è riportato il layout dell'impianto:



Figura 2 - layout dell'impianto fotovoltaico

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Norme di riferimento per la Bassa tensione:

- CEI EN 60909-0 IIIa Ed. (IEC 60909-0:2016-12): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- IEC 60090-4 First ed. 2000-7: Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 4: Esempi per il calcolo delle correnti di cortocircuito.
- CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI EN 60947-2 (CEI 17-5) VIIIa Ed. 2007-07: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 20-91 2010: Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogenuri non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici.

- CEI EN 60898-1 (CEI 23-3/1 Ia Ed.) 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- CEI EN 60898-2 (CEI 23-3/2) 2007: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari Parte 2: Interruttori per funzionamento in corrente alternata e in corrente continua.
- CEI 64-8 VIIa Ed. 2012: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- IEC 60364-5-52 IIIa Ed. 2009: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35016 2016: Classe di Reazione al fuoco dei cavi in relazione al Regolamento EU "Prodotti da Costruzione" (305/2011).
- CEI UNEL 35023 2012: Cavi di energia per tensione nominale U uguale ad 1 kV - Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.
- CEI EN 61439 2012: Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT).
- CEI 17-43 IIa Ed. 2000: Metodo per la determinazione delle sovratemperature, mediante estrapolazione, per apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) non di serie (ANS).
- CEI 23-51 2016: Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare.
- NF C 15-100 Calcolo di impianti elettrici in bassa tensione e relative tabelle di portata e declassamento dei cavi secondo norme francesi.
- UNE 20460 Calcolo di impianti elettrici in bassa tensione e relative tabelle di portata e declassamento (UNE 20460-5-523) dei cavi secondo regolamento spagnolo.

Norme di riferimento per la Media tensione

- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 99-2 (CEI EN 61936-1) 2011: Impianti con tensione superiore a 1 kV in c.a.
- CEI 11-17 IIIa Ed. 2006: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.
- CEI-UNEL 35027 IIa Ed. 2009: Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV.
- CEI 99-4 2014: Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale.
- CEI 17-1 VIIa Ed. (CEI EN 62271-100) 2013: Apparecchiatura ad alta tensione Parte 100: Interruttori a corrente alternata.

- CEI 17-130 (CEI EN 62271-103) 2012: Apparecchiatura ad alta tensione Parte 103: Interruttori di manovra e interruttori di manovra sezionatori per tensioni nominali superiori a 1 kV fino a 52 kV compreso.
- IEC 60502-2 2014: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV up to 30 kV – Part 2.
- IEC 61892-4 Ia Ed. 2007-06: Mobile and fixed offshore units – Electrical installations. Part 4: Cables.

3. DESCRIZIONE DELLA DISTRIBUZIONE ELETTRICA

3.1 Media tensione

L'impianto sarà collegato alla rete a 20kV di E-Distribuzione.

A sud della recinzione è prevista l'installazione della cabina di consegna all'interno del quale sarà installato il quadro generale di media tensione.

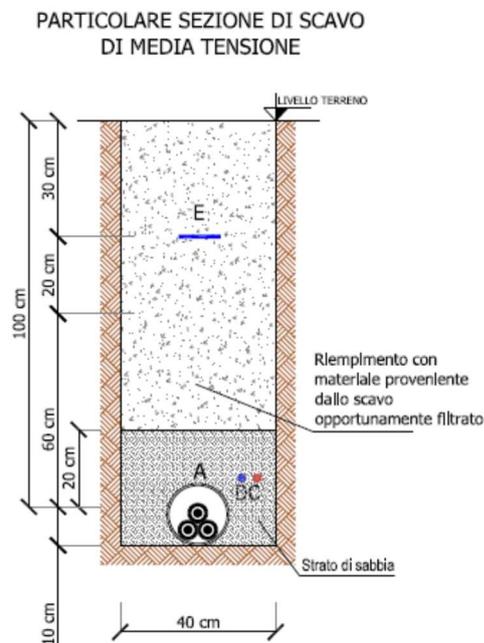
Da questo partiranno due linee di media tensione:

- MT1, per il collegamento della Cabina di Trasformazione 1;
- MT2, per il collegamento della Cabina di Trasformazione 2.

Dalla cabina di trasformazione 2, sarà derivata una terza linea:

- MT3, per il collegamento della Cabina di Trasformazione 3.

I cavi di media tensione saranno installati all'interno di un cavidotto interrato, posato a 110cm di profondità:



Di seguito si riporta la scheda tecnica dei cavi previsti in progetto:

CAVI MEDIA TENSIONE - PER IMPIANTI EOLICI
MEDIUM VOLTAGE CABLES - WIND POWER PLANTS

ARE4H1R 12/20 kV - 18/30 kV

MEDIA TENSIONE - SENZA PIOMBO
MEDIUM VOLTAGE - LEAD-FREE



NON PROPAGANTE
LA Fiamma
FLAME RETARDANT



PER IMPIANTI EOLICI
FOR WIND POWER PLANTS



SENZA PIOMBO
LEAD-FREE

RIFERIMENTO NORMATIVO/STANDARD REFERENCE

Costruzione e requisiti/Construction and specifications	IEC 60502-2 CEI 20-13
Propagazione fiamma/Flame propagation	CEI EN 20-35
Misura delle scariche parziali/Measurement of partial discharges	CEI 20-16 IEC 60885-3
Prove a impulso/Prove a impulse	IEC 60230
Gas corrosivi o alogenidrici/Corrosive gases or halogens	CEI EN 502.67-2-1



La Immagine può essere illustrata e usata da copyright

DESCRIZIONE:

Cavi unipolari isolati in XLPE senza piombo, sotto guaina di PVC.

DESCRIPTION:

Single-core cables, insulated with XLPE cross-linked polyethylene, under PVC sheath.

CARATTERISTICHE FUNZIONALI:

- Tensione nominale U_0/U : 12/20 kV + 18/30 kV
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Resistenza elettrica massima dello schermo: 3 Ω /km
- Temperatura minima di posa: 0°C
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 12 volte il diametro del cavo.
- Massimo sforzo di trazione consigliato: 60 N/mm² di sezione del rame

FUNCTIONAL CHARACTERISTICS

- Nominal voltage U_0/U : 12/20 kV + 18/30 kV
- Maximum operating temperature: 90°C
- Min. operating temperature: -15°C (without mechanical shocks)
- Max. electrical resistance of the screen: 3 Ω /km
- Minimum installation temperature: 0°C
- Maximum short circuit temperature: 250°C
- Recommended minimum bending radius: 12 times the cable diameter.
- Recommended maximum tensile stress: 60 N/mm² of the cross-section of the copper

CONDIZIONI DI IMPIEGO:

Adatto per il trasporto di energia tra le cabine di trasformazione e le grandi utenze. Per posa in aria libera, in tubo o canale.
 Ammessa la posa interrata, in conformità all'art. 4.3.11 della norma CEI 11-17.

USE AND INSTALLATION

Suitable for energy transmission between transformer rooms and big power users. For laying on air, into tube or open pass.
 Can be laid underground, also if not protected, complying with art. 4.3.11 of CEI 11-17 standard.

CAVI MEDIA TENSIONE - PER IMPIANTI EOLICI
MEDIUM VOLTAGE CABLES - WIND POWER PLANTS

ARE4H1R 12/20 kV

Caratteristiche tecniche/Technical characteristics
U max: 24 kV

Formazione Size	Ø indicativo conduttore Approx. conduct. Ø	Ø indicativo isolante Approx. insulation Ø	Ø esterno max Max. outer Ø	Peso indicativo cavo Approx. cable weight	Portata di corrente Current rating			
					A			
					in aria In air		interrato* buried*	
n° x mm ²	mm	mm	mm	kg/km	a trifoglio trefoil	in piano flat	a trifoglio trefoil	in piano flat
1 x 35	7,1	18,70	26,2	590,0	154,0	185,0	129,0	134,0
1 x 50	8,2	19,80	27,4	650,0	184,0	222,0	152,0	157,0
1 x 70	9,9	21,50	29,2	750,0	230,0	278,0	186,0	192,0
1 x 95	11,4	23,00	31,0	880,0	280,0	338,0	221,0	229,0
1 x 120	13,1	24,70	32,8	1010,0	324,0	391,0	252,0	260,0
1 x 150	14,4	26,00	34,5	1150,0	368,0	440,0	281,0	288,0
1 x 185	16,2	27,80	36,4	1290,0	424,0	504,0	317,0	324,0
1 x 240	18,4	30,00	38,9	1520,0	502,0	593,0	367,0	373,0
1 x 300	20,7	32,25	41,6	1780,0	577,0	677,0	414,0	419,0
1 x 400	23,6	35,20	44,9	2253,0	673,0	769,0	470,0	466,0
1 x 500	26,5	38,10	48,3	2580,0	781,0	890,0	550,0	540,0
1 x 630	30,2	41,80	52,4	3110,0	909,0	1030,0	710,0	700,0

*Resistività termica del terreno 100°C cm/W
 * Ground thermal resistivity 100°C cm/W

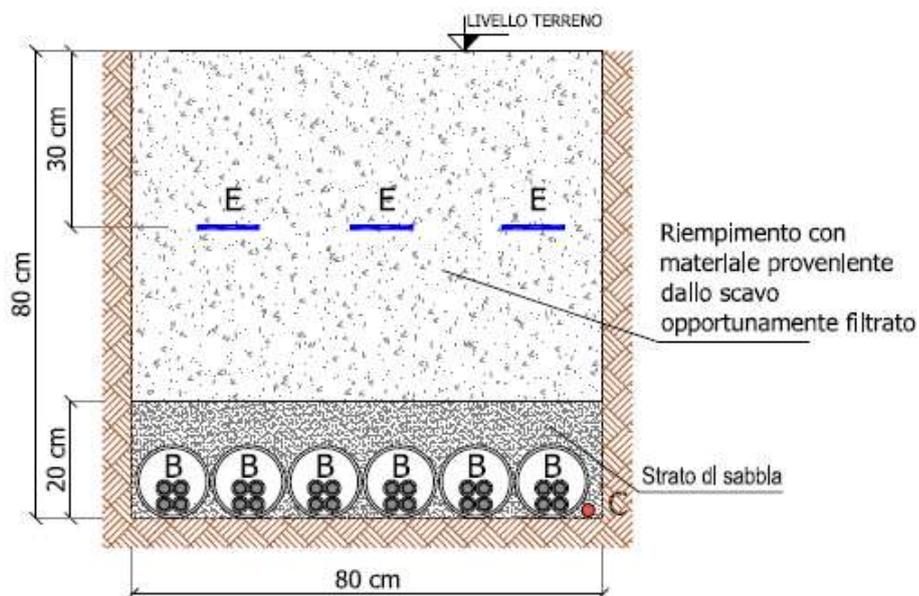
Caratteristiche elettriche/Electrical characteristics

Formazione Size	Resistenza elettrica a 20°C Max. electrical resistance at 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz Conductor apparent resistance at 90°C and 50Hz		Reattanza di fase Phase reactance		Capacità a 50Hz Capacity at 50Hz
		Ω/Km		Ω/Km		
		a trifoglio trefoil	in piano flat	a trifoglio trefoil	in piano flat	
n° x mm ²	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	µF/km
1 x 35	0,868	1,113	1,113	0,14	0,15	0,170
1 x 50	0,641	0,822	0,822	0,13	0,14	0,186
1 x 70	0,443	0,568	0,568	0,13	0,13	0,211
1 x 95	0,320	0,411	0,411	0,12	0,13	0,232
1 x 120	0,253	0,325	0,325	0,12	0,12	0,257
1 x 150	0,206	0,265	0,265	0,11	0,12	0,275
1 x 185	0,164	0,211	0,211	0,11	0,12	0,301
1 x 240	0,125	0,161	0,161	0,11	0,11	0,332
1 x 300	0,100	0,130	0,129	0,10	0,11	0,364
1 x 400	0,0778	0,102	0,101	0,099	0,11	0,405
1 x 500	0,0605	0,0801	0,0794	0,096	0,11	0,446
1 x 630	0,0469	0,0635	0,0625	0,093	0,10	0,498



3.2 Bassa tensione in AC

In ciascuna cabina di conversione, a valle dei rispettivi trasformatori, saranno installati dei quadri di parallelo inverter. Da questi per mezzo di una distribuzione con cavidotti interrati saranno collegati i 44 inverter presenti nell'impianto secondo la seguente sezione tipo:



Si adotteranno cavi in alluminio del tipo ARG16R16. Ciascun inverter sarà collegato con una linea di sezione di 300mmq.

La tensione di funzionamento degli inverter è di 800V, a monte di ciascuna linea sarà installato il relativo interruttore di protezione.

**CAVI BASSA TENSIONE - ENERGIA
LOW VOLTAGE - POWER**

ARG16R16 - 0,6/1 kV

**BASSA TENSIONE - ENERGIA
LOW VOLTAGE - ENERGY**



RIFERIMENTO NORMATIVO/STANDARD REFERENCE

Costruzione e requisiti/Construction and specifications	CEI 20-13
Emissione gas alogenidrici / Gas emission	CEI EN 50267-2-1
Direttiva Bassa Tensione/Low Voltage Directive	2014/35/EU
Direttiva RoHS/RoHS Directive	2011/65/EU



REAZIONE AL FUOCO/REACTION TO FIRE

REGOLAMENTO/REGULATION **305/2011/UE**

Norma/Standard	EN 50575:2014+A1:2016
Classe/Low Voltage Directive	Cca-s3,d2,a3
Classificazione/Classification (CEI UNEL 35016)	EN 13501-6
Prova di non propagazione della fiamma su un singolo conduttore o cavo isolato Test for resistance to vertical flame propagation for a single insulated conductor or cable	EN 60332-1-2
Organismo notificato/Notified body	
CE	

Cavo commercializzato da produttori con classificazione CPR

**CAVI BASSA TENSIONE - ENERGIA
LOW VOLTAGE - POWER**

ARG16R16 - 0,6/1 kV

CARATTERISTICHE FUNZIONALI:

- Tensione nominale U_0/U : 600/1000 V c.a.
1500 V c.c.
- Tensione massima U_m : 1200 V c.a.
1800 V c.c. anche verso terra
- Tensione di prova industriale: 4000 V
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Temperatura minima di posa: 0°C
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C
- Sforzo massimo di trazione: 50 N/mm² di sezione del conduttore
- Raggio minimo di curvatura: 6 volte il diametro esterno massimo

CARATTERISTICHE PARTICOLARI:

Buona resistenza agli oli e ai grassi industriali. Buon comportamento alle basse temperature. Resistente ai raggi UV.

CONDIZIONI DI IMPIEGO:

Adatto per il trasporto di energia nell'industria, nei cantieri, nell'edilizia residenziale. Per installazione fissa all'interno e all'esterno, su murature e strutture metalliche, su passerelle, tubazioni, canallette e sistemi similari. Ammessa la posa interrata, anche se non protetta.

Riferimento Regolamento Prodotti da Costruzione 305/2011 EU e Norma EN 50575:

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

FUNCTIONAL CHARACTERISTICS

- Nominal voltage U_0/U : 600/1000 V c.a.
1500 V c.c.
- Max. rated voltage U_m : 1200 V c.a.
1800 V c.c. also earthwards
- Rated voltage test: 4000 V
- Maximum operating temperature: 90°C
- Minimum operating temperature: -15°C (without mechanical shocks)
- Minimum installation temperature: -0°C
- Maximum short circuit temperature: 250°C
- Maximum tensile stress: 50 N/mm² of the cross-section of the conductor
- Minimum bending radius: 6 x maximum external diameter

SPECIAL FEATURES

Good resistance to grease and mineral oils. Good flexibility and behaviour at low temperatures. UV resistance

USE AND INSTALLATION

Suitable for the transport of power in the industry, construction sites and housing. For static use outdoor and indoor, in brickwork, metal structures, gangways, pipes, ducts or similar closed systems.

Allowed for underground laying also unprotected.

Reference Construction Products Regulation 305/2011 EU and Standard EN 50575:

Given its properties of limiting the development of fire and heat emission, the cable is suitable for the supply of electricity in buildings and other civil engineering works.

CONSTRUZIONE DEL CAVO / CABLE CONSTRUCTION



CONDUTTORE

Materiale: Alluminio, corda rigida compatta, classe 2

CONDUCTOR

Material: Aluminum stranded wire class 2



ISOLAMENTO

Materiale: gomma, qualità G16

INSULATION

Material: rubber compound, G16 quality



CORDATURA TOTALE

Tipo: i conduttori isolati sono cordati insieme

TOTAL STRANDING

Type: The cores are stranded together in concentric lay



GUAINA RIEMPITIVA

Materiale: termoplastico

FILLER

Material: Thermoplastic



GUAINA ESTERNA

Materiale: PVC, qualità R16
Colore: grigio

OUTER SHEATH

Material: PVC, R16 quality
Colour: grey

**CAVI BASSA TENSIONE - ENERGIA
LOW VOLTAGE - POWER**

ARG16R16 - 0,6/1 kV

Unipolari/Single core

Formazione Size	Ø indicativo conduttore	Spessore me- dio isolante	Spessore medio guaina	Ø esterno max	Peso indicati- vo cavo	Resist. elettrica max a 20° C	Portata di corrente					
	Approx. conduct. Ø	Average insulation thickness	Average sheath thickness	outer Ø	Approx. cable weight	Max electrical resist. at 20° C	Current rating A					
n° x mm ²	mm	mm	mm	mm	kg/km	Ω/km	in aria a in air at 30°C	in tubo in aria a in pipe in air at 30°C	Interrato a Underground at 20° C		in tubo interrato a In underground pipe at 20°C	
									K=1	K=1,5	K=1	K=1,5
1 x 16	4,90	0,7	1,4	10,0	150	1,91	70	64	98	89	75	70
1 x 25	6,10	0,9	1,4	11,7	185	1,20	102	88	119	110	95	88
1 x 35	7,10	0,9	1,4	13,0	220	0,868	136	110	141	131	115	106
1 x 50	8,20	1,0	1,4	14,7	280	0,641	164	131	167	154	134	124
1 x 70	9,90	1,1	1,4	16,6	320	0,443	218	175	204	189	173	160
1 x 95	11,40	1,1	1,5	18,6	460	0,320	261	209	245	226	196	181
1 x 120	13,10	1,2	1,5	20,5	570	0,253	310	250	277	256	238	220
1 x 150	14,40	1,4	1,6	22,8	670	0,206	350	280	313	289	250	231
1 x 185	16,20	1,6	1,6	25,0	810	0,164	415	334	350	324	300	278
1 x 240	18,40	1,7	1,7	27,9	1025	0,125	490	392	413	382	331	306
1 x 300	20,85	1,8	1,8	30,7	1205	0,100	567	-	454	420	400	370
1 x 400	23,80	2,0	1,9	35,0	1660	0,778	665	-	512	474	450	417
1 x 500	26,50	2,2	2,0	38,6	1940	0,0605	765	-	578	535	505	468
1 x 630	30,20	2,4	2,2	43,1	2460	0,0469	880	-	646	598	580	537

N.B. I valori di portata di corrente sono riferiti a:
- n°3 conduttori attivi
- profondità di posa 0,8 m per i cavi interrati
N.B. Permissible current rating values are according to:
- three-phase circuit
- laying depth of 0,8 m for buried cables

N.B. K=1: resistività termica del terreno 1,0 K.m/W
K=1,5: resistività termica del terreno 1,5 K.m/W
N.B. K=1 thermal resistivity 1,0 K.m/W
K=1,5 thermal resistivity 1,5 K.m/W

3.3 Bassa tensione in corrente continua

Da ogni singolo inverter saranno posati sulle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici i cavi per il collegamento alle singole stringhe. Questi saranno del tipo H1Z2Z2-K.

CAVI PER APPLICAZIONI IN IMPIANTI FOTOVOLTAICI - zero alogeni
SOLAR PLANTS CABLES - halogen free

H1Z2Z2-K

CAVI BASSA TENSIONE NON PROPAGANTI LA FIAMMA - ZERO ALOGENI - RESISTENTI AI RAGGI UV
LOW VOLTAGE FLAME RETARDANT CABLES - HALOGEN-FREE - UV RESISTANT



RIFERIMENTO NORMATIVO/STANDARD REFERENCE

Costruzione e requisiti / Construction and specifications	CEI EN 50618
Emissione gas corrosivi o alogenidrici / Corrosive or Halogen gas emission	CEI EN 50525-1
Resistenza raggi UV / UV Resistance	CEI EN 50289-4-17 (A)
Resistenza all'ozono / Ozone Resistance	CEI EN 50396
Resistenza alla sollecitazione termica / Thermal stress resistance	CEI EN 60216-1
Direttiva Bassa Tensione / Low Voltage Directive	2014/35/UE
Direttiva RoHS / RoHS Directive	2011/65/UE

CAVI
CABLES



REAZIONE AL FUOCO/REACTION TO FIRE

REGOLAMENTO/REGULATION 305/2011/UE

Norma/Standard	EN 50575:2014+A1:2016
Classe/Low Voltage Directive	Cca-s1b,d1,a1
Classificazione/Classification (CEI UNEL 35016)	EN 13501-6:2019
Prova di non propagazione della fiamma su un singolo conduttore o cavo isolato Test for resistance to vertical flame propagation for a single insulated conductor or cable	CEI EN 60332-1-2:2016/A1:2016 CEI EN 60332-1-1:2016/A1:2016 EN 60332-1-2:2014/A11:2016 EN 60332-1-1:2014/A1:2015
Grado di acidità (corrosività) dei gas / Degree of acidity of gases for materials	CEI EN 60754-2:2015 EN 60754-2:2014-04
Densità dei fumi / Smoke density	CEI EN 61034-2/A1:2014 CEI EN 61034-1/A1:2014 EN 61034-2/A1:2013/08 EN 61034-1/A1:2014-04
Propagazione della fiamma / Flame retardant	EN 50399:2016-09
Organismo notificato/Notified body	L.A.P.I. - 0987
CE	2020

CAVI PER APPLICAZIONI IN IMPIANTI FOTOVOLTAICI - zero alogeni
SOLAR PLANTS CABLES - halogen free

H1Z2Z2-K

CAVI NON PROPAGANTI LA FIAMMA - ZERO ALOGENI - RESISTENTI AI RAGGI UV
FLAME RETARDANT CABLES - HALOGEN-FREE - UV RESISTANT

CARATTERISTICHE FUNZIONALI:

- Tensione nominale U₀/U: 1/1 kVAc 1,5/1,5 kVcc
- Tensione massima: 1,2 kVAc 1,8 kVcc
- Tensione di prova: 6,5 kVAc 15 kVcc
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di posa: -25°C
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C
- Raggio minimo di curvatura: 6 volte il diametro esterno massimo

CARATTERISTICHE PARTICOLARI:

Per trasporto di energia e trasmissione segnali in ambienti interni o esterni anche bagnati. Funzionamento per almeno 25 anni in normali condizioni d'uso. Funzionamento a lungo termine (Indice di temperatura TI): 120°C riferito a 20.000 ore (CEI EN 60216-1)

CONDIZIONI DI IMPIEGO:

Uso previsto in installazioni fotovoltaici es. in conformità all'HD 60364-7-712. Adatti per applicazione su apparecchiature con isolamento di protezione (Classe di protezione II). Intrinsecamente sono a prova di cortocircuito e di dispersioni a terra in conformità all'HD 60364-5-52. Uso previsto in installazioni fotovoltaici es. in conformità all'HD 60364-7-712. Adatti per applicazione su apparecchiature con isolamento di protezione (Classe di protezione II). Intrinsecamente sono a prova di cortocircuito e di dispersioni a terra in conformità all'HD 60364-5-52. Installazioni non previste dalle classi superiori e dove non esiste rischio di incendio e pericolo per persone e/o cose (Rischio basso posa singola). Adatti per uso permanente all'esterno o all'interno, per installazioni libere mobili, libere a sospensione e fisse. Installazione anche in condotti e su canaline, all'interno o sotto intonaco oltre che nelle apparecchiature.

FUNCTIONAL CHARACTERISTICS

- Rated voltage U₀/U: 1/1 kVAc 1,5/1,5 kVdc
- Maximum voltage: 1,2 kVAc 1,8 kVdc
- Testing Voltage: 6,5 kVAc 15 kVdc
- Max working temperature: 90°C
- Minimum installation temperature: -25°C
- Maximum short circuit temperature: 250°C
- Minimum bending radius: 6 x maximum external diameter

SPECIAL FEATURES

Power transmission, signal transmission indoor and outdoor, even wet. Suitable for working up to 25 years standard conditions. Long term working (temperature index TI): 120° C referred to 20.000 hours (CEI EN 60216-1)

USE AND INSTALLATION

Intended use in photovoltaic installations and, in accordance with HD 60364-7-712. Suitable for application on devices with protective insulation (protection class II). They are inherently short-circuit proof and earth leakage pursuant to HD 60364-5-52. Installations not provided by upper and lower classes where there is no risk of fire or danger to people and / or people things (Low risk installed individually). Suitable for permanent use outdoors or indoors, for mobile free installation, free hanging and fixed. Installation also in conduits and ducts on, inside or under plaster as well as in equipment.

COSTRUZIONE DEL CAVO / CABLE CONSTRUCTION

	CONDUTTORE Materiale: Rame stagnato ricotto, classe 5 CEI EN 60228 (tabella 9)	CONDUCTOR Material: Annealed tinned copper cl.5 CEI EN 60228 (Table 9)
	ISOLANTE Materiale: Elastomero reticolato atossico di qualità Z2 Colore: naturale CEI EN 50618	INSULATION Material: Non-toxic crosslinked elastomer quality Z2 Colour: natural CEI EN 50618
	GUAINA ESTERNA Materiale: Elastomero reticolato atossico di qualità Z2 Colore: Nero RAL 9005 - Rosso RAL 3013, blu RAL 5015 CEI EN 50618	OUTER SHEATH Material: Non-toxic crosslinked elastomer quality Z2 Colour: black RAL 9005, red RAL 3013, blue RAL 5015 CEI EN 50618



CAVI PER APPLICAZIONI IN IMPIANTI FOTOVOLTAICI - zero alogeni
SOLAR PLANTS CABLES - halogen free

H1Z2Z2-K

CAVI BASSA TENSIONE NON PROPAGANTI LA FIAMMA - ZERO ALOGENI - RESISTENTI AI RAGGI UV
LOW VOLTAGE FLAME RETARDANT CABLES - HALOGEN-FREE - UV RESISTANT

CAVI
CABLES

Formazione Size	Ø esterno medio Medium Ø outer	Peso medio cavo Medium Weight
n° x mm ²	mm	kg/km
1 x 4	5,7	58,0
1 x 6	6,5	81,0
1 x 10	7,9	137,0
1 x 16	9,2	203,0
1 x 25	11,0	302,0
1 x 35	12,0	389,0
1 x 50	14,3	550,0
1 x 70	16,0	732,0
1 x 95	18,1	1028,0
1 x 120	20,7	1286,0



4. CRITERI DI CALCOLO CAVI IN AC

Il calcolo elettrico, per i cavi in AC (media e bassa tensione) è stato realizzato con il software Ampere Professional.

Di seguito si riportano i calcoli effettuati dal software.

4.1 Calcolo delle correnti di impiego

Il calcolo delle correnti d'impiego viene eseguito in base alla classica espressione:

$$I_b = \frac{P_d}{k_{ca} \cdot V_n \cdot \cos \varphi}$$

nella quale:

$k_{ca} = 1$ sistema monofase o bifase, due conduttori attivi;

$k_{ca} = 1.73$ sistema trifase, tre conduttori attivi.

Se la rete è in corrente continua il fattore di potenza $\cos \varphi$ è pari a 1.

Dal valore massimo (modulo) di I_b vengono calcolate le correnti di fase in notazione vettoriale (parte reale ed immaginaria) con le formule:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= I_b \cdot e^{-j\varphi} = I_b \cdot (\cos \varphi - j \sin \varphi) \\ \dot{I}_2 &= I_b \cdot e^{-j(\varphi - 2\pi/3)} = I_b \cdot \left(\cos \left(\varphi - \frac{2\pi}{3} \right) - j \sin \left(\varphi - \frac{2\pi}{3} \right) \right) \\ \dot{I}_3 &= I_b \cdot e^{-j(\varphi - 4\pi/3)} = I_b \cdot \left(\cos \left(\varphi - \frac{4\pi}{3} \right) - j \sin \left(\varphi - \frac{4\pi}{3} \right) \right) \end{aligned}$$

Il vettore della tensione V_n è supposto allineato con l'asse dei numeri reali:

$$\dot{V}_n = V_n + j0$$

La potenza di dimensionamento P_d è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot \text{coeff}$$

nella quale coeff è pari al fattore di utilizzo per utenze terminali oppure al fattore di contemporaneità per utenze di distribuzione.

Per le utenze terminali la potenza P_n è la potenza nominale del carico, mentre per le utenze di distribuzione P_n rappresenta la somma vettoriale delle P_d delle utenze a valle (SPd a valle).

La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

per le utenze terminali, mentre per le utenze di distribuzione viene calcolata come somma vettoriale delle potenze reattive nominali a valle (SQd a valle).

Il fattore di potenza per le utenze di distribuzione viene valutato, di conseguenza, con la:

$$\cos \varphi = \cos \left(\arctan \left(\frac{Q_n}{P_n} \right) \right)$$

4.2 Dimensionamento dei cavi

Il criterio seguito per il dimensionamento dei cavi è tale da poter garantire la protezione dei conduttori alle correnti di sovraccarico.

In base alla norma CEI 64-8/4 (par. 433.2), infatti, il dispositivo di protezione deve essere coordinato con la conduttura in modo da verificare le condizioni:

- a) $I_b \leq I_n \leq I_z$
- b) $I_f \leq 1.45 \cdot I_z$

Per la condizione a) è necessario dimensionare il cavo in base alla corrente nominale della protezione a monte. Dalla corrente I_b , pertanto, viene determinata la corrente nominale della protezione (seguendo i valori normalizzati) e con questa si procede alla determinazione della sezione.

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

- condutture senza protezione derivate da una conduttura principale protetta contro i sovraccarichi con dispositivo idoneo ed in grado di garantire la protezione anche delle condutture derivate;
- conduttura che alimenta diverse derivazioni singolarmente protette contro i sovraccarichi, quando la somma delle correnti nominali dei dispositivi di protezione delle derivazioni non supera la portata I_z della conduttura principale.

L'individuazione della sezione si effettua utilizzando le tabelle di posa assegnate ai cavi. Elenchiamo alcune tabelle, indicate per il mercato italiano:

- IEC 60364-5-52 (PVC/EPR);
- IEC 60364-5-52 (Mineral);
- CEI-UNEL 35024/1;
- CEI-UNEL 35024/2;
- CEI-UNEL 35026;
- CEI 20-91 (HEPR).

In media tensione, la gestione del calcolo si divide a seconda delle tabelle scelte:

- CEI 11-17;
- CEI UNEL 35027 (1-30kV).
- EC 60502-2 (6-30kV)
- IEC 61892-4 off-shore (fino a 30kV)

Il programma gestisce ulteriori tabelle, specifiche per alcuni paesi. L'elenco completo è disponibile nei Riferimenti normativi.

Esse oltre a riportare la corrente ammissibile I_z in funzione del tipo di isolamento del cavo, del tipo di posa e del numero di conduttori attivi, riportano anche la metodologia di valutazione dei coefficienti di declassamento.

La portata minima del cavo viene calcolata come:

$$I_{z\min} = \frac{I_n}{k}$$

dove il coefficiente k ha lo scopo di declassare il cavo e tiene conto dei seguenti fattori:

- tipo di materiale conduttore;
- tipo di isolamento del cavo;
- numero di conduttori in prossimità compresi eventuali paralleli;
- eventuale declassamento deciso dall'utente.

La sezione viene scelta in modo che la sua portata (moltiplicata per il coefficiente k) sia superiore alla $I_{z\min}$. Gli eventuali paralleli vengono calcolati nell'ipotesi che abbiano tutti la stessa sezione, lunghezza e tipo di posa (vedi norma 64.8 par. 433.3), considerando la portata minima come risultante della somma delle singole portate (declassate per il numero di paralleli dal coefficiente di declassamento per prossimità).

La condizione b) non necessita di verifica in quanto gli interruttori che rispondono alla norma CEI 23.3 hanno un rapporto tra corrente convenzionale di funzionamento I_f e corrente nominale I_n minore di 1.45 ed è costante per tutte le tarature inferiori a 125 A. Per le apparecchiature industriali, invece, le norme CEI 17.5 e IEC 947 stabiliscono che tale rapporto può variare in base alla corrente nominale, ma deve comunque rimanere minore o uguale a 1.45.

Risulta pertanto che, in base a tali normative, la condizione b) sarà sempre verificata.

Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.

4.3 Integrale di Joule

Dalla sezione dei conduttori del cavo deriva il calcolo dell'integrale di Joule, ossia la massima energia specifica ammessa dagli stessi, tramite la:

$$I^2 \cdot t = K^2 \cdot S^2$$

La costante K viene data dalla norma CEI 64-8/4 (par. 434.3), per i conduttori di fase e neutro e, dal paragrafo 64-8/5 (par. 543.1), per i conduttori di protezione in funzione al materiale conduttore e al materiale isolante. Per i cavi ad isolamento minerale le norme attualmente sono allo studio, i paragrafi sopraccitati riportano però nella parte commento dei valori prudenziali.

I valori di K riportati dalla norma sono per i conduttori di fase (par. 434.3):

Cavo in rame e isolato in PVC:	K = 115
Cavo in rame e isolato in gomma G:	K = 135
Cavo in rame e isolato in gomma etilenpropilenica G5-G7:	K = 143
Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:	K = 115
Cavo in rame serie L nudo:	K = 200
Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	K = 115
Cavo in rame serie H nudo:	K = 200
Cavo in alluminio e isolato in PVC:	K = 74
Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7:	K = 92

I valori di K per i conduttori di protezione unipolari (par. 543.1) tab. 54B:

Cavo in rame e isolato in PVC:	K = 143
Cavo in rame e isolato in gomma G:	K = 166
Cavo in rame e isolato in gomma G5-G7:	K = 176
Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:	K = 143
Cavo in rame serie L nudo:	K = 228
Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	K = 143
Cavo in rame serie H nudo:	K = 228
Cavo in alluminio e isolato in PVC:	K = 95
Cavo in alluminio e isolato in gomma G:	K = 110
Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7:	K = 116

I valori di K per i conduttori di protezione in cavi multipolari (par. 543.1) tab. 54C:

Cavo in rame e isolato in PVC:	K = 115
Cavo in rame e isolato in gomma G:	K = 135
Cavo in rame e isolato in gomma G5-G7:	K = 143
Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:	K = 115
Cavo in rame serie L nudo:	K = 228
Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	K = 115

Cavo in rame serie H nudo:	K = 228
Cavo in alluminio e isolato in PVC:	K = 76
Cavo in alluminio e isolato in gomma G:	K = 89
Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7:	K = 94

4.4 Dimensionamento dei conduttori di neutro

La norma CEI 64-8 par. 524.2 e par. 524.3, prevede che la sezione del conduttore di neutro, nel caso di circuiti polifasi, possa avere una sezione inferiore a quella dei conduttori di fase se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- il conduttore di fase abbia una sezione maggiore di 16 mm²;
- la massima corrente che può percorrere il conduttore di neutro non sia superiore alla portata dello stesso
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a 16 mm² se il conduttore è in rame e a 25 mm² se il conduttore è in alluminio.

Nel caso in cui si abbiano circuiti monofasi o polifasi e questi ultimi con sezione del conduttore di fase minore di 16 mm² se conduttore in rame e 25 mm² se conduttore in alluminio, il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase. In base alle esigenze progettuali, sono gestiti fino a tre metodi di dimensionamento del conduttore di neutro, mediante:

- determinazione in relazione alla sezione di fase;
- determinazione tramite rapporto tra le portate dei conduttori;
- determinazione in relazione alla portata del neutro.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore in questione secondo i seguenti vincoli dati dalla norma:

$$S_f < 16\text{mm}^2: \quad S_n = S_f$$

$$16 \leq S_f \leq 35\text{mm}^2: \quad S_n = 16\text{mm}^2$$

$$S_f > 35\text{mm}^2: \quad S_n = S_f / 2$$

Il secondo criterio consiste nell'impostare il rapporto tra le portate del conduttore di fase e il conduttore di neutro, e il programma determinerà la sezione in base alla portata.

Il terzo criterio consiste nel dimensionare il conduttore tenendo conto della corrente di impiego circolante nel neutro come per un conduttore di fase.

Le sezioni dei neutri possono comunque assumere valori differenti rispetto ai metodi appena citati, comunque sempre calcolati a regola d'arte.

4.5 Dimensionamento dei conduttori di protezione

Le norme CEI 64.8 par. 543.1 prevedono due metodi di dimensionamento dei conduttori di protezione:

- determinazione in relazione alla sezione di fase;
- determinazione mediante calcolo.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore di protezione seguendo vincoli analoghi a quelli introdotti per il conduttore di neutro:

$$\begin{aligned} S_f < 16\text{mm}^2: & \quad S_{PE} = S_f \\ 16 \leq S_f \leq 35\text{mm}^2: & \quad S_{PE} = 16\text{mm}^2 \\ S_f > 35\text{mm}^2: & \quad S_{PE} = S_f / 2 \end{aligned}$$

Il secondo criterio determina tale valore con l'integrale di Joule, ovvero la sezione del conduttore di protezione non deve essere inferiore al valore determinato con la seguente formula:

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{K}$$

dove:

- - S_p è la sezione del conduttore di protezione (mm^2);
- - I è il valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile (A);
- - t è il tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);
- - K è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti.

Se il risultato della formula non è una sezione unificata, viene presa una unificata immediatamente superiore.

In entrambi i casi si deve tener conto, per quanto riguarda la sezione minima, del paragrafo 543.1.3.

Esso afferma che la sezione di ogni conduttore di protezione che non faccia parte della condotta di alimentazione non deve essere, in ogni caso, inferiore a:

- 2,5 mm^2 rame o 16 mm^2 alluminio se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm^2 o 16 mm^2 alluminio se non è prevista una protezione meccanica;

E' possibile, altresì, determinare la sezione mediante il rapporto tra le portate del conduttore di fase e del conduttore di protezione.

Nei sistemi TT, la sezione dei conduttori di protezione può essere limitata a:

- 25 mm^2 , se in rame;
- 35 mm^2 , se in alluminio;

4.6 Calcolo della temperatura dei cavi

La valutazione della temperatura dei cavi si esegue in base alla corrente di impiego e alla corrente nominale tramite le seguenti espressioni:

$$T_{cavo}(I_b) = T_{ambiente} + \left(\alpha_{cavo} \cdot \frac{I_b^2}{I_z^2} \right)$$
$$T_{cavo}(I_n) = T_{ambiente} + \left(\alpha_{cavo} \cdot \frac{I_n^2}{I_z^2} \right)$$

espresse in °C.

Esse derivano dalla considerazione che la sovratemperatura del cavo a regime è proporzionale alla potenza in esso dissipata.

Il coefficiente α_{cavo} è vincolato dal tipo di isolamento del cavo e dal tipo di tabella di posa che si sta usando.

4.7 Cadute di tensione

Le cadute di tensione sono calcolate vettorialmente. Per ogni utenza si calcola la caduta di tensione vettoriale lungo ogni fase e lungo il conduttore di neutro (se distribuito). Tra le fasi si considera la caduta di tensione maggiore che viene riportata in percentuale rispetto alla tensione nominale:

$$c.d.t(ib) = \max \left(\left| \sum_{i=1}^k \dot{Z}f_i \cdot \dot{I}f_i - \dot{Z}n_i \cdot \dot{I}n_i \right| \right)_{f=R,S,T}$$

con f che rappresenta le tre fasi R, S, T;

con n che rappresenta il conduttore di neutro;

con i che rappresenta le k utenze coinvolte nel calcolo;

Il calcolo fornisce, quindi, il valore esatto della formula approssimata:

$$c.d.t(I_b) = k_{cdt} \cdot I_b \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot (R_{cavo} \cdot \cos \varphi + X_{cavo} \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{V_n}$$

con:

- $k_{cdt}=2$ per sistemi monofase;
- $k_{cdt}=1.73$ per sistemi trifase.

I parametri R_{cavo} e X_{cavo} sono ricavati dalla tabella UNEL in funzione del tipo di cavo (unipolare/multipolare) ed alla sezione dei conduttori; di tali parametri il primo è riferito a 70° C per i cavi con isolamento PVC, a 90° C per i cavi con isolamento EPR; mentre il secondo è riferito a 50Hz, ferme restando le unità di misura in W/km.

Se la frequenza di esercizio è differente dai 50 Hz si imposta

$$X'_{cavo} = \frac{f}{50} \cdot X_{cavo}$$

La caduta di tensione da monte a valle (totale) di una utenza è determinata come somma delle cadute di tensione vettoriale, riferite ad un solo conduttore, dei rami a monte all'utenza in esame, da cui, viene successivamente determinata la caduta di tensione percentuale riferendola al sistema (trifase o monofase) e alla tensione nominale dell'utenza in esame.

Sono adeguatamente calcolate le cadute di tensione totali nel caso siano presenti trasformatori lungo la linea (per esempio trasformatori MT/BT o BT/BT). In tale circostanza, infatti, il calcolo della caduta di tensione totale tiene conto sia della caduta interna nei trasformatori, sia della presenza di spine di regolazione del rapporto spire dei trasformatori stessi.

Se al termine del calcolo delle cadute di tensione alcune utenze abbiano valori superiori a quelli definiti, si ricorre ad un procedimento di ottimizzazione per far rientrare la caduta di tensione entro limiti prestabiliti (limiti dati da CEI 64-8 par. 525). Le sezioni dei cavi vengono forzate a valori superiori cercando di seguire una crescita uniforme fino a portare tutte le cadute di tensione sotto i limiti.

4.8 Fornitura in media tensione

Per la fornitura sia in media tensione si considerano i seguenti dati di partenza:

- Tensione di fornitura V_{mt} (in kV);
- Corrente di corto circuito trifase massima, I_{kmax} (in kA);
- Corrente di corto circuito monofase a terra massima, $I_{k1ftmax}$ (in kA);

Se si conoscono si possono aggiungere anche le correnti:

- Corrente di corto circuito trifase minima, I_{kmin} (in kA);
- Corrente di corto circuito monofase a terra minima, $I_{k1ftmin}$ (in kA);

Dai dati si ricavano le impedenze equivalenti della rete di fornitura per determinare il generatore equivalente di tensione.

$$Z_{ccmt} = \frac{1,1 \cdot V_{mt}}{\sqrt{3} \cdot I_{kmax}} \cdot 1000$$

da cui si ricavano le componenti dirette:

$$\cos \varphi_{ccmt} = \sqrt{1 - (0,995)^2}$$

$$X_{dl} = 0,995 \cdot Z_{ccmt}$$

$$R_{dl} = \cos \varphi_{ccmt} \cdot Z_{ccmt}$$

e le componenti omopolari:

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot V_{mt}}{I_{k1,ft \max}} \cdot 1000 \cdot \cos \varphi_{ccmt} - (2 \cdot R_{dt})$$

$$X_0 = R_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{(\cos \varphi_{ccmt})^2} - 1}$$

4.9 Trasformatori

Se nella rete sono presenti dei trasformatori a due avvolgimenti, i dati di targa richiesti sono:

- Potenza nominale Pn (in kVA);
- Perdite di cortocircuito Pcc (in W);
- Tensione di cortocircuito vcc (in %)
- Rapporto tra la corrente di inserzione e la corrente nominale Iir/Irt;
- Rapporto tra la impedenza alla sequenza omopolare e quella di corto circuito;
- Tipo di collegamento;
- Tensione nominale del primario V1 (in kV);
- Tensione nominale del secondario V02 (in V).

Dai dati di targa si possono ricavare le caratteristiche elettriche dei trasformatori, ovvero:

Impedenza di cortocircuito del trasformatore espressa in mW:

$$Z_{cct} = \frac{v_{cc}}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n}$$

Resistenza di cortocircuito del trasformatore espressa in mW:

$$R_{cct} = \frac{P_{cc}}{1000} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n^2}$$

Reattanza di cortocircuito del trasformatore espressa in mW:

$$X_{cct} = \sqrt{Z_{cct}^2 - R_{cct}^2}$$

L'impedenza a vuoto omopolare del trasformatore viene ricavata dal rapporto con l'impedenza di cortocircuito dello stesso:

$$Z_{vot} = Z_{cct} \cdot \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)$$

dove il rapporto Zvot/Zcct vale usualmente 10-20.

In uscita al trasformatore si otterranno pertanto i parametri alla sequenza diretta, in mW:

$$Z_d = |\dot{Z}_{cct}| = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$$

nella quale:

$$\begin{aligned} R_d &= R_{cct} \\ X_d &= X_{cct} \end{aligned}$$

I parametri alla sequenza omopolare dipendono invece dal tipo di collegamento del trasformatore in quanto, in base ad esso, abbiamo un diverso circuito equivalente.

Pertanto, se il trasformatore è collegato triangolo/stella (Dy), si ha:

$$R_{ot} = R_{cct} \cdot \frac{\left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)}{1 + \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)}$$

$$X_{ot} = X_{cct} \cdot \frac{\left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)}{1 + \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)}$$

$$Z_{ot} = Z_{cct} \cdot \frac{\left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)}{1 + \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)}$$

Diversamente, se il trasformatore è collegato stella/stella (Yy) avremmo:

$$R_{ot} = R_{cct} \cdot \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)$$

$$X_{ot} = X_{cct} \cdot \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)$$

$$Z_{ot} = Z_{cct} \cdot \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)$$

4.10 Calcolo dei guasti

Con il calcolo dei guasti vengono determinate le correnti di cortocircuito minime e massime immediatamente a valle della protezione dell'utenza (inizio linea) e a valle dell'utenza (fondo linea).

Le condizioni in cui vengono determinate sono:

- guasto trifase (simmetrico);
- guasto bifase (disimmetrico);
- guasto bifase-neutro (disimmetrico);
- guasto bifase-terra (disimmetrico);
- guasto fase terra (disimmetrico);
- guasto fase neutro (disimmetrico).

I parametri alle sequenze di ogni utenza vengono inizializzati da quelli corrispondenti dall'utenza a monte che, a loro volta, inizializzano i parametri della linea a valle.

4.11 Calcolo delle correnti massime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito massime viene condotto come descritto nella norma CEI EN 60909-0. Sono previste le seguenti condizioni generali:

- guasti con contributo della fornitura e dei generatori in regime di guasto sub-transitorio. Eventuale gestione della attenuazione della corrente per il guasto trifase 'vicino' alla sorgente.
- tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione C_{max} ;
- impedenza di guasto minima della rete, calcolata alla temperatura di 20°C.

La resistenza diretta, del conduttore di fase e di quello di protezione, viene riportata a 20 °C, partendo dalla resistenza data dalle tabelle UNEL 35023-2012 che può essere riferita a 70 o 90 °C a seconda dell'isolante, per cui esprimendola in mW risulta:

$$R_{dc} = \frac{R_c}{1000} \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot \left(\frac{1}{1 + (\alpha \cdot \Delta T)} \right)$$

dove ΔT è 50 o 70 °C e $\alpha = 0.004$ a 20 °C.

Nota poi dalle stesse tabelle la reattanza a 50 Hz, se f è la frequenza d'esercizio, risulta:

$$X_{dc} = \frac{X_c}{1000} \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

possiamo sommare queste ai parametri diretti della utenza a monte ottenendo così la impedenza di guasto minima a fine utenza.

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza diretta sono:

$$R_{db} = \frac{R_b}{1000} \cdot \frac{L_b}{1000}$$

La reattanza è invece:

$$X_{db} = \frac{X_b}{1000} \cdot \frac{L_b}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

Per le utenze con impedenza nota, le componenti della sequenza diretta sono i valori stessi di resistenza e reattanza dell'impedenza.

Per quanto riguarda i parametri alla sequenza omopolare, occorre distinguere tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ottengono da quelli diretti tramite le:

$$\begin{aligned} R_{0cN} &= R_{dc} + 3 \cdot R_{dcN} \\ X_{0cN} &= 3 \cdot X_{dc} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$\begin{aligned} R_{0cPE} &= R_{dc} + 3 \cdot R_{dcPE} \\ X_{0cPE} &= 3 \cdot X_{dc} \end{aligned}$$

dove le resistenze RdcN e RdcPE vengono calcolate come la Rdc.

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza omopolare sono distinte tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ha:

$$\begin{aligned} R_{0bN} &= R_{db} + 3 \cdot R_{dbN} \\ X_{0bN} &= 3 \cdot X_{db} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione viene utilizzato il parametro di reattanza dell'anello di guasto fornito dai costruttori:

$$\begin{aligned} R_{0bPE} &= R_{db} + 3 \cdot R_{dbPE} \\ X_{0bPE} &= X_{db} + 3 \cdot (X_{b-ring} - X_{db}) \end{aligned}$$

I parametri di ogni utenza vengono sommati con i parametri, alla stessa sequenza, della utenza a monte, espressi in mW:

$$\begin{aligned} R_d &= R_{dc} + R_{d-up} \\ X_d &= X_{dc} + X_{d-up} \\ R_{0N} &= R_{0cN} + R_{0N-up} \\ X_{0N} &= X_{0cN} + X_{0N-up} \\ R_{0PE} &= R_{0cPE} + R_{0PE-up} \\ X_{0PE} &= X_{0cPE} + X_{0PE-up} \end{aligned}$$

Per le utenze in condotto in sbarre basta sostituire sbarra a cavo.

Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

Noti questi parametri vengono calcolate le impedenze (in mW) di guasto trifase:

$$Z_{k \min} = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$$

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

$$Z_{k1N \min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0N})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0N})^2}$$

Fase terra:

$$Z_{k1PE \min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0PE})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0PE})^2}$$

Da queste si ricavano le correnti di cortocircuito trifase $I_{k \max}$, fase neutro $I_{k1N \max}$, fase terra $I_{k1PE \max}$ e bifase $I_{k2 \max}$ espresse in kA:

$$I_{k \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \min}}$$
$$I_{k1N \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1N \min}}$$
$$I_{k1PE \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE \min}}$$
$$I_{k2 \max} = \frac{V_n}{2 \cdot Z_{k \min}}$$

Infine dai valori delle correnti massime di guasto si ricavano i valori di cresta delle correnti:

$$I_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k \max}$$
$$I_{p1N} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1N \max}$$
$$I_{p1PE} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1PE \max}$$
$$I_{p2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2 \max}$$

dove:

$$\kappa \approx 1.02 + 0.98 \cdot e^{-3 \frac{R_d}{X_d}}$$

Calcolo della corrente di cresta per guasto trifase secondo la norma IEC 61363-1: Electrical installations of ships. Se richiesto, I_p può essere calcolato applicando il metodo semplificato della norma riportato al paragrafo 6.2.5 Neglecting short-circuit

current decay. Esso prevede l'utilizzo di un coefficiente $k = 1.8$ che tiene conto della massima asimmetria della corrente dopo il primo semiperiodo di guasto.

4.12 Calcolo delle correnti minime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito minime viene condotto come descritto nella norma CEI EN 60909-0 par 7.1.2 per quanto riguarda:

- guasti con contributo della fornitura e dei generatori. Il contributo dei generatori è in regime permanente per i guasti trifasi 'vicini', mentre per i guasti 'lontani' o asimmetrici si considera il contributo subtransitorio;
- la tensione nominale viene moltiplicata per il fattore di tensione C_{min} , che può essere 0.95 se $C_{max} = 1.05$, oppure 0.90 se $C_{max} = 1.10$ (Tab. 1 della norma CEI EN 60909-0); in media e alta tensione il fattore C_{min} è pari a 1;

Per la temperatura dei conduttori si può scegliere tra:

- il rapporto Cenelec R064-003, per cui vengono determinate le resistenze alla temperatura limite dell'isolante in servizio ordinario del cavo;
- la norma CEI EN 60909-0, che indica le temperature alla fine del guasto.

Le temperature sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, precisamente:

Isolante	Cenelec R064-003 [°C]	CEI EN 60909-0 [°C]
PVC	70	160
G	85	200
G5/G7/G10/EPR	90	250
HEPR	120	250
serie L rivestito	70	160
serie L nudo	105	160
serie H rivestito	70	160
serie H nudo	105	160

Da queste è possibile calcolare le resistenze alla sequenza diretta e omopolare alla temperatura relativa all'isolamento del cavo:

$$R_{d\ max} = R_d \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$R_{0N\ max} = R_{0N} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$R_{0PE\ max} = R_{0PE} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Queste, sommate alle resistenze a monte, danno le resistenze massime.

Valutate le impedenze mediante le stesse espressioni delle impedenze di guasto massime, si possono calcolare le correnti di cortocircuito trifase I_{k1min} e fase terra, espresse in kA:

$$I_{k \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \max}}$$

$$I_{k1N \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1N \max}}$$

$$I_{k1PE \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE \max}}$$

$$I_{k2 \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{2 \cdot Z_{k \max}}$$

Calcolo guasti bifase-neutro e bifase-terra

Riportiamo le formule utilizzate per il calcolo dei guasti. Chiamiamo con Z_d la impedenza diretta della rete, con Z_i l'impedenza inversa, e con Z_0 l'impedenza omopolare.

Nelle formule riportate in seguito, Z_0 corrisponde all'impedenza omopolare fase-neutro o fase-terra.

$$I_{k2} = \left| -j \cdot V_n \cdot \frac{\dot{Z}_0 - \alpha \cdot \dot{Z}_i}{\dot{Z}_d \cdot \dot{Z}_i + \dot{Z}_d \cdot \dot{Z}_0 + \dot{Z}_i \cdot \dot{Z}_0} \right|$$

e la corrente di picco:

$$I_{p2} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2 \max}$$

4.13 Guasti monofasi a terra linee MT

Calcolo correnti omopolari a seguito di guasto fase-terra in circuiti di media-alta tensione.

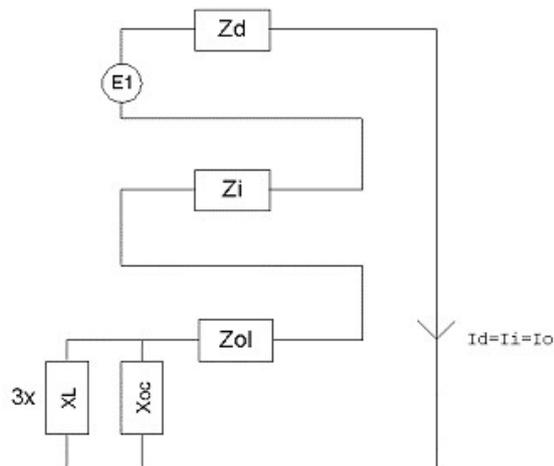
Il calcolo dei guasti a terra in reti di media e alta tensione coinvolge lo studio dell'effetto capacitivo della rete durante il regime di guasto.

Inoltre, le tecniche di determinazione delle linee guaste tramite relè varmetrici richiedono la conoscenza dei valori di corrente omopolare in funzione dei punti di guasto.

La nuova CEI 0-16 (e precedentemente la Enel DK5600), con l'introduzione del collegamento a terra del centro stella in media, richiede uno strumento per il dimensionamento della bobina di Petersen e il coordinamento delle protezioni degli utenti.

Per rispondere a tutte queste problematiche, Ampère Professional esegue il calcolo del regime di corrente omopolare a seguito di un guasto fase-terra.

Il modello di calcolo delle correnti omopolari, seguendo la teoria delle sequenze dirette, inverse e omopolari, per un guasto fase-terra è il seguente:



Con Z_d e Z_i si intendono le impedenze alle sequenze diretta ed inversa.

Per il calcolo dell'impedenza omopolare occorre considerare più elementi (vedi figura in basso, esempio con due trasformatori in parallelo):

Z_{ol} : impedenza omopolare del tratto di linea dal punto di guasto fino al trasformatore a monte;

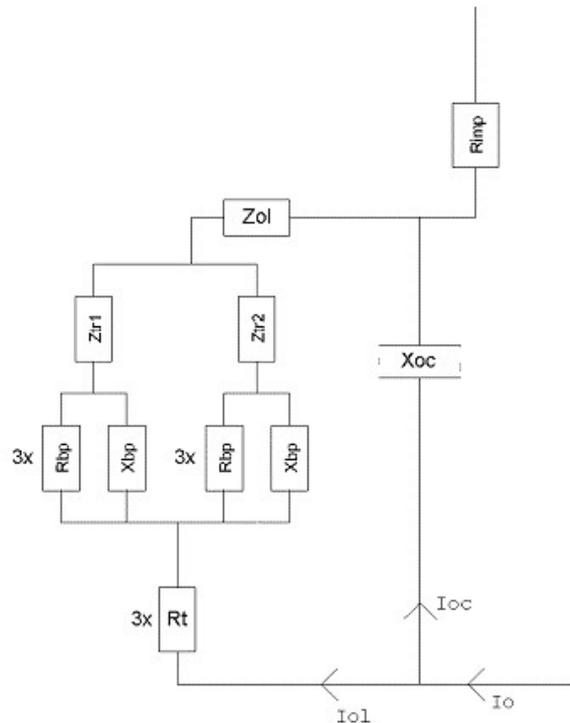
Z_{tr} : impedenza omopolare del trasformatore (vista a secondario);

Z_{bpet} : $(R_{bp} + jX_{bp})$ impedenza bobina di Petersen, costituita da un resistore ed una induttanza in parallelo;

R_t : resistenza di terra punto di collegamento a terra del centro stella del trasformatore;

R_{imp} : resistenza per guasto a terra non franco;

X_{oc} : reattanza capacitiva di tutta la rete appartenente alla stessa zona dell'utenza guasta e a valle dello stesso trasformatore.



Nota: il valore di X_{oc} è praticamente lo stesso per qualsiasi punto di guasto. Riferimenti: Lezioni di Impianti elettrici di Antonio Paolucci (Dipartimento Energia Elettrica Università di Padova) e CEI 11-37.

Per calcolare con buona approssimazione la X_{oc} , si utilizzano le due formule:

$$I_g = \frac{3 \cdot E}{X_{oc}}$$

$$I_g = (0.003 \cdot L1 + 0.2 \cdot L2) \cdot V_{kv}$$

dove I_g è la corrente di guasto a terra calcolata considerando la sola reattanza capacitiva nella prima formula, mentre nella seconda è riportato il suo valore se si è a conoscenza delle lunghezze (in km) di rete aerea $L1$ ed in cavo $L2$ della rete in media. V_{kv} è il valore di tensione nominale concatenata espressa in kV.

Uguagliando le due formule, ed esplicitando per X_{oc} si ottiene:

$$X_{oc} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^9}{(0.003 \cdot l1 + 0.2 \cdot l2)} \cdot \frac{f_0}{f}$$

con $l1$ e $l2$ espresse in metri, X_{oc} espressa in mohm, $f_0 = 50$ Hz e f la frequenza di lavoro.

Calcolata la corrente di guasto omopolare I_o , secondo lo schema riportato nella figura precedente, rispetto a tutti i punti di guasto (valle delle utenze), si deve calcolare come

essa si ripartisce nella rete e quanta viene vista da ogni protezione omopolare 67N distribuita nella rete.

Per prima cosa la I_o va ripartita in due correnti: I_{oc} per la X_{oc} , l'altra (I_{ol}) per il centro stella del trasformatore attraverso la bobina di Petersen.

Poi, la I_{ol} viene suddivisa tra gli eventuali trasformatori in parallelo, proporzionalmente alla potenza.

La I_{oc} , essendo la corrente capacitiva che si richiude attraverso le capacità della rete, va suddivisa tra le utenze in cavo o aeree in media proporzionalmente alla capacità di ognuna (condensatori in parallelo).

Per ora non si tiene conto dei fattori di riduzione relativi a funi di guardia delle linee elettriche aeree e degli schermi metallici dei cavi sotterranei.

Tali fattori determinerebbero una riduzione della corrente I_{oc} e I_{ol} in quanto esisterebbe una terza componente nella I_o che si richiude attraverso questi elementi.

5 CRITERI DI CALCOLO CAVI IN CORRENTE CONTINUA

Per i cavi in corrente continua sono stati effettuati i seguenti calcoli

5.1 Caduta di tensione

$$VoltDrop_{DC} = 2 \cdot \rho \cdot l / s \cdot I_{MPP}$$

Dove:

ρ = resistenza specifica del cavo per unità di lunghezza;

l = lunghezza del cavo;

s = sezione del cavo;

I_{mpp} = Corrente alla massima potenza.

I riferimenti limite per le cadute di tensione adottati sono i seguenti:

MAXIMUM ADMISSIBLE VOLTAGE DROP	
Segment between the inverter input and the combiner boxes (if any)	0.10%
Segment between the combiner boxes (if any) and the string boxes	0.65%
Segment between the string boxes and the PV strings (including pre-parallel boxes)	1.25%
DC side – Total Voltage Drop	2.00%***

5.2 Perdita di potenza

$$Loss_{DC} = 2 \cdot \rho \cdot l/s \cdot I_{MPP}^2$$

Dove:

ρ = resistenza specifica del cavo per unità di lunghezza;

l = lunghezza del cavo;

s = sezione del cavo;

I_{MPP} = Corrente alla massima potenza.

I riferimenti limite per le cadute di tensione adottati sono i seguenti:

MAXIMUM ADMISSIBLE POWER LOSSES	
Segment between the inverter input and the combiner boxes (if any)	0.10%
Segment between the combiner boxes (if any) and the string boxes	0.30%
Segment between the string boxes and the PV strings (including pre-parallel boxes)	0.60%
DC side – Total Losses	1.00%***

6 CONCLUSIONI

Di seguito sono riportati i dati di calcolo per ciascun cavo.

Utenza	Formazione	Materiale	Lc [m]	Iz [A]	T (Ib) [°C]	Tamb [°C]	CdtT (Ib) [%]	Posa cavo
	Designazione	Isolante	Pross.	k decl.	T (In) [°C]	K ² S ² F [A ² s]	CdtT (In) [%]	
	Tab. posa	Tipo posa						

Cabina Trasf. 1 Linea di Connessione

MT0	3x(1x185)	ALLUMINIO	10	241,7	125,8	30	-0,006	
	ARE4H1R 12/20 kV	XLPE	1	0,763	146,6	2,897*10 ⁸	-0,006	
	CEI 11-17 (Media)	N - Cavi unipolari in tubo interrato (trifoglio)						

Cabina Consegna

MT1	3x(1x185)	ALLUMINIO	456	275,3	40,5	30	-0,101	
	ARG7H1R 12/20 kV	EPR	1	0,763	42,8	2,897*10 ⁸	-0,113	
	CEI 11-17 (Media)	N - Cavi unipolari in tubo interrato (trifoglio)						

Cabina Consegna

MT2	3x(1x185)	ALLUMINIO	1206	275,3	37,2	30	-0,214	
	ARG7H1R 12/20 kV	EPR	1	0,763	38,7	2,897*10 ⁸	-0,239	
	CEI 11-17 (Media)	N - Cavi unipolari in tubo interrato (trifoglio)						

Cabina Consegna

MT3	3x(1x185)	ALLUMINIO	1	203,4	43,1	30	-0,006	
	ARE4H1R 12/20 kV	XLPE	2	0,642	46	2,897*10 ⁸	-0,006	
	CEI 11-17 (Media)	N - Cavi unipolari in tubo interrato (trifoglio)						

Cabina Trasf. 1 MT1.1

MT1.1	3x(1x185)	ALLUMINIO	1	294,8	32,3	30	-0,101	
	ARE4H1R 12/20 kV	XLPE	1	0,93	32,8	2,897*10 ⁸	-0,113	
	CEI 11-17 (Media)	D.1 - Cavi unipolare in tubo incassato (trifoglio)						

Utenza	Formazione	Materiale	Lc [m]	Iz [A]	T (Ib) [°C]	Tamb [°C]	CdtT (Ib) [%]	Posa cavo
	Designazione	Isolante	Pross.	k decl.	T (In) [°C]	K ² S ² F [A ² s]	CdtT (In) [%]	
	Tab. posa	Tipo posa						

Cabina Trasf. 1 MT1.2

MT1.2	3x(1x185)	ALLUMINIO	1	335,7	31,8	30	-0,101	
	ARG7H1R 12/20 kV	EPR	1	0,93	32,1	2,897*10 ⁸	-0,113	
	CEI 11-17 (Media)	P.2 - Cavi unipolari in cunicolo chiuso non riempito (trifoglio)						

Cabina Trasf. 2 MT2.1

MT2.1	3x(1x185)	ALLUMINIO	1	294,8	31,6	30	-0,214	
	ARE4H1R 12/20 kV	XLPE	1	0,93	32,1	2,897*10 ⁸	-0,239	
	CEI 11-17 (Media)	D.1 - Cavi unipolare in tubo incassato (trifoglio)						

Cabina Trasf. 2 MT2.2

MT2.2	3x(1x185)	ALLUMINIO	1	294,8	31,6	30	-0,214	
	ARE4H1R 12/20 kV	XLPE	1	0,93	32,1	2,897*10 ⁸	-0,239	
	CEI 11-17 (Media)	D.1 - Cavi unipolare in tubo incassato (trifoglio)						

Cabina Trasf. 3 MT3.1

MT3.1	3x(1x185)	ALLUMINIO	1	294,8	31,6	30	-0,006	
	ARE4H1R 12/20 kV	XLPE	1	0,93	32,1	2,897*10 ⁸	-0,006	
	CEI 11-17 (Media)	D.1 - Cavi unipolare in tubo incassato (trifoglio)						

Cabina Trasf. 3 MT3.2

MT3.2	3x(1x185)	ALLUMINIO	1	294,8	31,6	30	-0,006	
	ARE4H1R 12/20 kV	XLPE	1	0,93	32,1	2,897*10 ⁸	-0,006	
	CEI 11-17 (Media)	D.1 - Cavi unipolare in tubo incassato (trifoglio)						

Utenza	Formazione	Materiale	Lc [m]	Iz [A]	T (Ib) [°C]	Tamb [°C]	CdtT (Ib) [%]	Posa cavo
	Designazione	Isolante	Pross.	k decl.	T (In) [°C]	K ² S ² F [A ² s]	CdtT (In) [%]	
	Tab. posa	Tipo posa						

SUBCAMPO 1

Inverter 1	3x(1x300)	ALLUMINIO	190	334,6	40,3	20	-1,97	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	126,4	7,618*10 ⁸	-3,8	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 3	3x(1x300)	ALLUMINIO	170	334,6	40,3	20	-1,87	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	126,4	7,618*10 ⁸	-3,57	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 4	3x(1x300)	ALLUMINIO	165	334,6	40,3	20	-1,85	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	126,4	7,618*10 ⁸	-3,52	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 2	3x(1x300)	ALLUMINIO	220	334,6	40,3	20	-2,12	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	126,4	7,618*10 ⁸	-4,15	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 5	3x(1x300)	ALLUMINIO	150	334,6	40,3	20	-1,77	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	126,4	7,618*10 ⁸	-3,34	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 6	3x(1x300)	ALLUMINIO	140	334,6	40,3	20	-1,72	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	126,4	7,618*10 ⁸	-3,23	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 7	3x(1x300)	ALLUMINIO	120	334,6	40,3	20	-1,62	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	126,4	7,618*10 ⁸	-3	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						

Utenza	Formazione	Materiale	Lc [m]	Iz [A]	T (Ib) [°C]	Tamb [°C]	CdtT (Ib) [%]	Posa cavo
	Designazione	Isolante	Pross.	k decl.	T (In) [°C]	K ² S ² F [A ² s]	CdtT (In) [%]	
	Tab. posa	Tipo posa						
Inverter 8	3x(1x300)	ALLUMINIO	120	334,6	40,3	20	-1,62	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	126,4	7,618*10 ⁸	-3	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						

SUBCAMPO 2

Inverter 10	3x(1x300)	ALLUMINIO	20	334,6	40,3	20	-1,12	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-1,84	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 11	3x(1x300)	ALLUMINIO	20	334,6	40,3	20	-1,12	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-1,84	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 12	3x(1x300)	ALLUMINIO	20	334,6	40,3	20	-1,12	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-1,84	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 13	3x(1x300)	ALLUMINIO	40	334,6	40,3	20	-1,22	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-2,07	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 14	3x(1x300)	ALLUMINIO	60	334,6	40,3	20	-1,32	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-2,29	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 15	3x(1x300)	ALLUMINIO	80	334,6	40,3	20	-1,42	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-2,51	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						

Utenza	Formazione	Materiale	Lc [m]	Iz [A]	T (Ib) [°C]	Tamb [°C]	CdtT (Ib) [%]	Posa cavo
	Designazione	Isolante	Pross.	k decl.	T (In) [°C]	K ² S ² F [A ² s]	CdtT (In) [%]	
	Tab. posa	Tipo posa						
Inverter 16	3x(1x300)	ALLUMINIO	100	334,6	40,3	20	-1,52	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-2,73	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 9	3x(1x300)	ALLUMINIO	50	334,6	40,3	20	-1,27	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-2,18	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						

SUBCAMPO 3

Inverter 18	3x(1x300)	ALLUMINIO	65	334,6	38,1	20	-1,3	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-2,25	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 19	3x(1x300)	ALLUMINIO	50	334,6	38,1	20	-1,23	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-2,08	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 20	3x(1x300)	ALLUMINIO	20	334,6	38,1	20	-1,09	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-1,75	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 21	3x(1x300)	ALLUMINIO	20	334,6	38,1	20	-1,09	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-1,75	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 22	3x(1x300)	ALLUMINIO	20	334,6	38,1	20	-1,09	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-1,75	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						

Utenza	Formazione	Materiale	Lc [m]	Iz [A]	T (Ib) [°C]	Tamb [°C]	CdtT (Ib) [%]	Posa cavo
	Designazione	Isolante	Pross.	k decl.	T (In) [°C]	K ² S ² F [A ² s]	CdtT (In) [%]	
	Tab. posa	Tipo posa						
Inverter 23	3x(1x300)	ALLUMINIO	30	334,6	38,1	20	-1,14	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-1,86	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 17	3x(1x300)	ALLUMINIO	80	334,6	38,1	20	-1,37	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-2,41	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						

SUBCAMPO 4

Inverter 25	3x(1x300)	ALLUMINIO	60	334,6	38,1	20	-1,28	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-2,19	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 26	3x(1x300)	ALLUMINIO	50	334,6	38,1	20	-1,23	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-2,08	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 27	3x(1x300)	ALLUMINIO	140	334,6	38,1	20	-1,66	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-3,08	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 28	3x(1x300)	ALLUMINIO	95	334,6	38,1	20	-1,45	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-2,58	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 29	3x(1x300)	ALLUMINIO	150	334,6	38,1	20	-1,7	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-3,19	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						

Utenza	Formazione	Materiale	Lc [m]	Iz [A]	T (Ib) [°C]	Tamb [°C]	CdT (Ib) [%]	Posa cavo
	Designazione	Isolante	Pross.	k decl.	T (In) [°C]	K ² S ² F [A ² s]	CdT (In) [%]	
	Tab. posa	Tipo posa						
Inverter 30	3x(1x300)	ALLUMINIO	110	334,6	38,1	20	-1,52	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-2,75	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						
Inverter 24	3x(1x300)	ALLUMINIO	20	334,6	38,1	20	-1,09	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	EPR	1	0,78	120	7,618*10 ⁸	-1,75	
	CEI-UNEL 35026	61 cavi unipolari con guaina in tubi protettivi interrati						

SUBCAMPO 5

Inverter 32	3x(1x300)	ALLUMINIO	50	285,8	51,3	30	-1,03	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-1,85	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						
Inverter 33	3x(1x300)	ALLUMINIO	120	285,8	51,3	30	-1,36	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-2,63	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						
Inverter 34	3x(1x300)	ALLUMINIO	30	285,8	51,3	30	-0,937	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-1,63	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						
Inverter 35	3x(1x300)	ALLUMINIO	20	285,8	51,3	30	-0,89	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-1,51	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						
Inverter 36	3x(1x300)	ALLUMINIO	130	285,8	51,3	30	-1,41	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-2,74	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						

Utenza	Formazione	Materiale	Lc [m]	Iz [A]	T (Ib) [°C]	Tamb [°C]	CdT (Ib) [%]	Posa cavo
	Designazione	Isolante	Pross.	k decl.	T (In) [°C]	K ² S ² F [A ² s]	CdT (In) [%]	
	Tab. posa	Tipo posa						
Inverter 37	3x(1x300)	ALLUMINIO	90	285,8	51,3	30	-1,22	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-2,29	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						
Inverter 31	3x(1x300)	ALLUMINIO	120	285,8	51,3	30	-1,36	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-2,63	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						

SUBCAMPO 6

Inverter 39	3x(1x300)	ALLUMINIO	100	285,8	51,3	30	-1,27	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-2,4	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						
Inverter 40	3x(1x300)	ALLUMINIO	30	285,8	51,3	30	-0,937	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-1,63	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						
Inverter 41	3x(1x300)	ALLUMINIO	50	285,8	51,3	30	-1,03	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-1,85	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						
Inverter 42	3x(1x300)	ALLUMINIO	60	285,8	51,3	30	-1,08	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-1,96	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						
Inverter 43	3x(1x300)	ALLUMINIO	70	285,8	51,3	30	-1,13	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-2,07	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						

Utenza	Formazione	Materiale	Lc [m]	Iz [A]	T (Ib) [°C]	Tamb [°C]	CdtT (Ib) [%]	Posa cavo
	Designazione	Isolante	Pross.	k decl.	T (In) [°C]	K ² S ² F [A ² s]	CdtT (In) [%]	
	Tab. posa	Tipo posa						
Inverter 44	3x(1x300)	ALLUMINIO	90	285,8	51,3	30	-1,22	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-2,29	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						
Inverter 38	3x(1x300)	ALLUMINIO	20	285,8	51,3	30	-0,89	
	ARG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3	G5-G7	1	0,62	147,5	7,618*10 ⁸	-1,51	
	IEC 448	A - cavi unipolari in tubi in vista						

