



COMUNE DI PORTOMAGGIORE

PROVINCIA DI FERRARA



REGIONE EMILIA
ROMAGNA



REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 kW

Denominazione Impianto:

"PORTOMAGGIORE"

Ubicazione:

Comune di Portomaggiore (FE)
Via Portoni Bandissolo, snc

ELABORATO
021100

RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA PROGETTO DEFINITIVO

Cod. Doc.: PTM-021100-R

Sviluppatore:



GRUPPO GEO S.R.L.
Viale F. Cavallotti, 153
63822 Porto San Giorgio (FM)
ITALY
P.IVA 02572290449

Scala: --

PROGETTO

Data:
18/08/2025

PRELIMINARE

DEFINITIVO

AS BUILT



Richiedente:

LIO ENERGY LEPUS S.R.L.
Via Arrigo Boito, 8
20121 Milano (MI)
ITALY
P.IVA 14219600963

Tecnici e Professionisti:


Ing. Nicola Ventura:
Iscritto al n.8432 dell'Albo dell'Ordine degli
Ingegneri della Provincia di Bari

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Approvato	Autorizzato
01	18/08/2025	PROGETTO DEFINITIVO	N.V.	N.V.	N.V.
02					
03					
04					

Il Tecnico:
Dott. Ing. Nicola Ventura



Il Richiedente:
LIO ENERGY LEPUS S.R.L.
(Il legale rappresentante Luca Raineri)

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 2 di 45

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
1.1 Localizzazione E Inquadramento Dell'opera	4
2. DESCRIZIONE DELLE OPERE	9
3. RIFERIMENTI NORMATIVI	10
4. MISURE DI PROTEZIONE ADOTTATE	16
4.1 Protezione Dai Contatti Diretti	16
4.2 Protezione Dai Contatti Indiretti	17
4.3 Protezione Dalle Sovracorrenti	17
4.4 Sezionamento	18
5. QUALITÀ DEI MATERIALI	18
6. DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO	19
7. DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO ELETTRICO	21
8. COMPONENTI PRINCIPALI DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO	22
8.1 Moduli Fotovoltaici	22
8.2 Power Station	23
8.3 Inverter	24
8.4 Inseguitori Solari Monoassiali	27
9. CAVIDOTTI	29
9.1 Tubazioni	29
10. CAVI ELETTRICI	30
11. CONNESSIONI E DERIVAZIONI	33
12. IMPIANTO DI TERRA	33
PARTE II: RELAZIONE DEI CALCOLI ELETTRICI	34
13. RIFERIMENTI NORMATIVI	34
14. PRESCRIZIONI TECNICHE GENERALI	35
15. DETERMINAZIONE DELLE CORRENTI DI IMPIEGO	36
16. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI	37
17. INTEGRALE DI JOULE	38
18. CADUTE DI TENSIONE	39
19. DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI NEUTRO	40
20. DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI PROTEZIONE	40
21. CALCOLO DEI GUASTI	41
22. CALCOLO DELLE CORRENTI MASSIME DI CORTO CIRCUITO	41
23. SCELTA DELLE PROTEZIONI	44
24. VERIFICA DELLA PROTEZIONE A CORTOCIRCUITO DELLE CONDUTTURE	45

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 3 di 45

1. PREMESSA


Il presente documento è parte della documentazione relativa al progetto per la costruzione e l'esercizio di un Impianto Agrivoltaico Avanzato conforme alle vigenti prescrizioni di legge con potenza di picco pari a **18.030,60 kW** da realizzare nel **Comune di Portomaggiore (FE)**.

L'impianto sarà del tipo grid connected e l'energia elettrica prodotta sarà riversata completamente in rete, con allaccio in antenna a 36 kV alla rete elettrica di Terna S.p.a.

Complessivamente, l'impianto in oggetto prevede l'installazione di n. **22.260** pannelli fotovoltaici (moduli) in silicio monocristallino della potenza unitaria di **810 Wp**, suddivisi in n. 3 Sottocampi.

I Moduli Fotovoltaici saranno installati su strutture a inseguimento monoassiale (tracker). Su ogni struttura ad inseguimento saranno posati 7 moduli (Le Strutture sono comunque di tipo modulare e possono essere assemblate per ospitare sino a 28 Moduli).

L'impianto sarà corredato complessivamente da n. **7** Power Station Singolo Trasformatore, n.**3** Cabine di Parallelo, n.**3** Control Room e n.**3** Vano Tecnico.

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 4 di 45

1.1 LOCALIZZAZIONE E INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Le aree di progetto dell'impianto agrivoltaico facente parte dell'intervento di cui al presente documento è ubicata nel territorio della Regione Emilia Romagna, Provincia di Ferrara, Comune di Portomaggiore, in Via Portoni Bandissolo. Le aree di progetto sono caratterizzate da campi agricoli a seminativi. Non vi sono nuclei abitati nei dintorni tranne che qualche casa sparsa. I centri abitati più vicini sono Portoverrara e Pioppara. Il sito è a circa 1,7 km a nord dal centro del Comune di Portomaggiore. La maggiore via di comunicazione prossima all'area di progetto è Via Portoni Bandissolo. Nelle illustrazioni che seguono sono rappresentati gli inquadramenti foto-cartografici dell'area di intervento su varie basi di sovrapposizione e a varie scale di riproduzione con l'introduzione di elementi tematici significativi.



Figura 1.1: Corografia aree impianto FV su foto satellitare (scala 1:20.000)



ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 5 di 45



Figura 1.2: Inquadramento aree impianto FV su foto satellitare (scala 1:1.000)

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 6 di 45

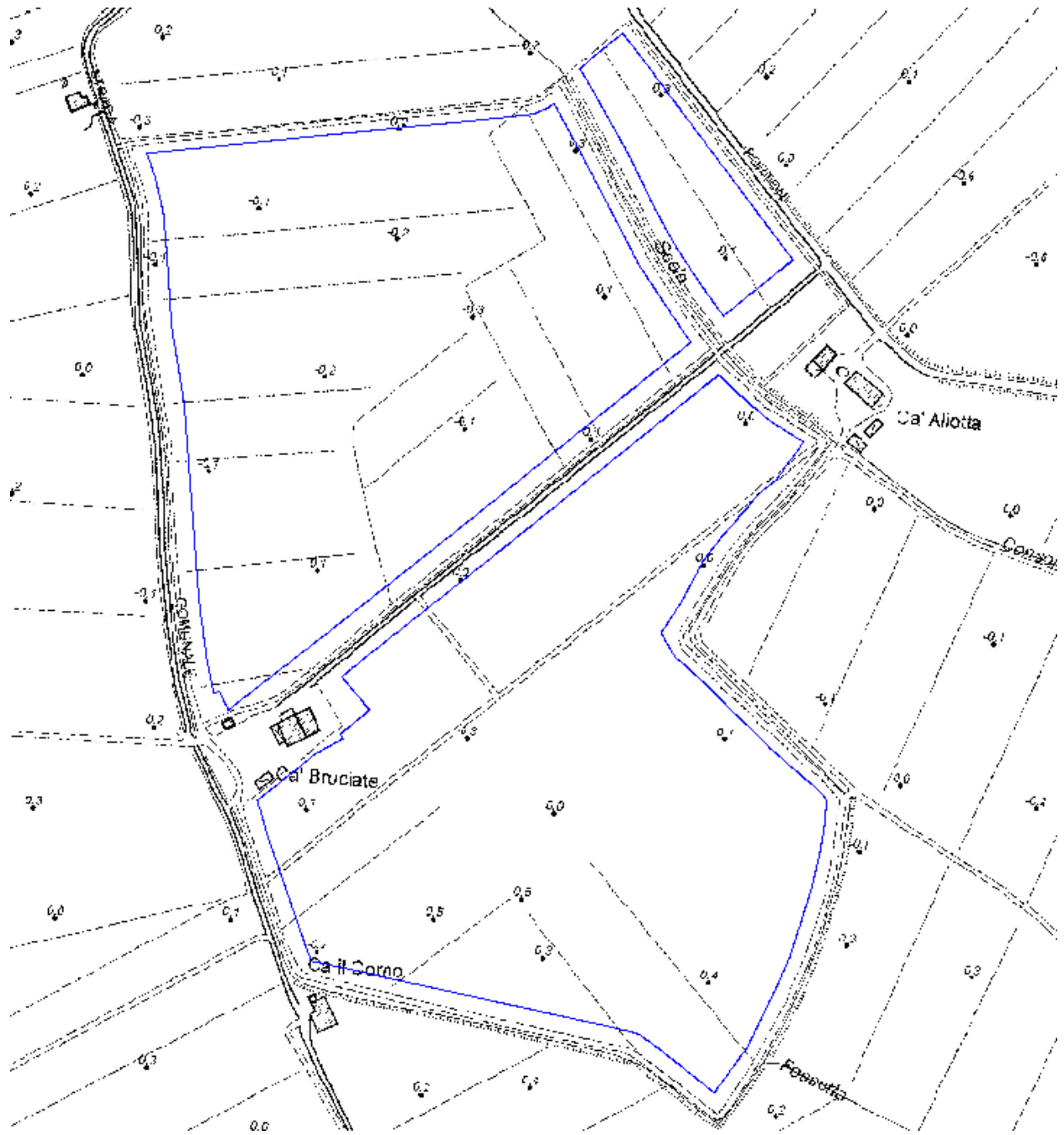



Figura 1.3: Inquadramento aree impianto FV su CTR 5k (scala 1:1.000)

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 7 di 45

L'area in disponibilità del proponente è estesa complessivamente per **46,5072** ha ed è censita presso la competente Agenzia del Territorio ai riferimenti catastali di cui alla tabella seguente.

Comune	Foglio	Particella	Porzione	Superficie Catastale			TOTALE CATATALE	
				ha	are	ca		
PORTOMAGGIORE (FE)	134	16		2	85	10	28510	
		35		1	2	10	10210	
		65		1	51	50	15150	
		72		2	8	70	20870	
		74		1	37	20	13720	
		75		0	92	80	9280	
		161		1	0	85	10085	
		162		0	53	90	5390	
		163		0	43	90	4390	
		244	AA	0	9	34	1045	
			AB	0	1	11		
		246		5	51	10	55110	
		248	AA	3	99	88	40810	
			AB	0	8	22		
		255		4	77	10	47710	
		257		0	2	18	218	
		260		1	99	84	19984	
		270		1	94	5	19405	
		276		0	89	20	8920	
		284		0	99	95	9995	
	135	2		0	33	10	3310	
		3		0	25	50	2550	
		52		0	63	0	6300	
		114		12	77	50	127750	
	139	69	AA	0	5	9	4360	
			AB	0	38	51		
	TOTALE				46 h	50 are	72 ca	465072

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 8 di 45

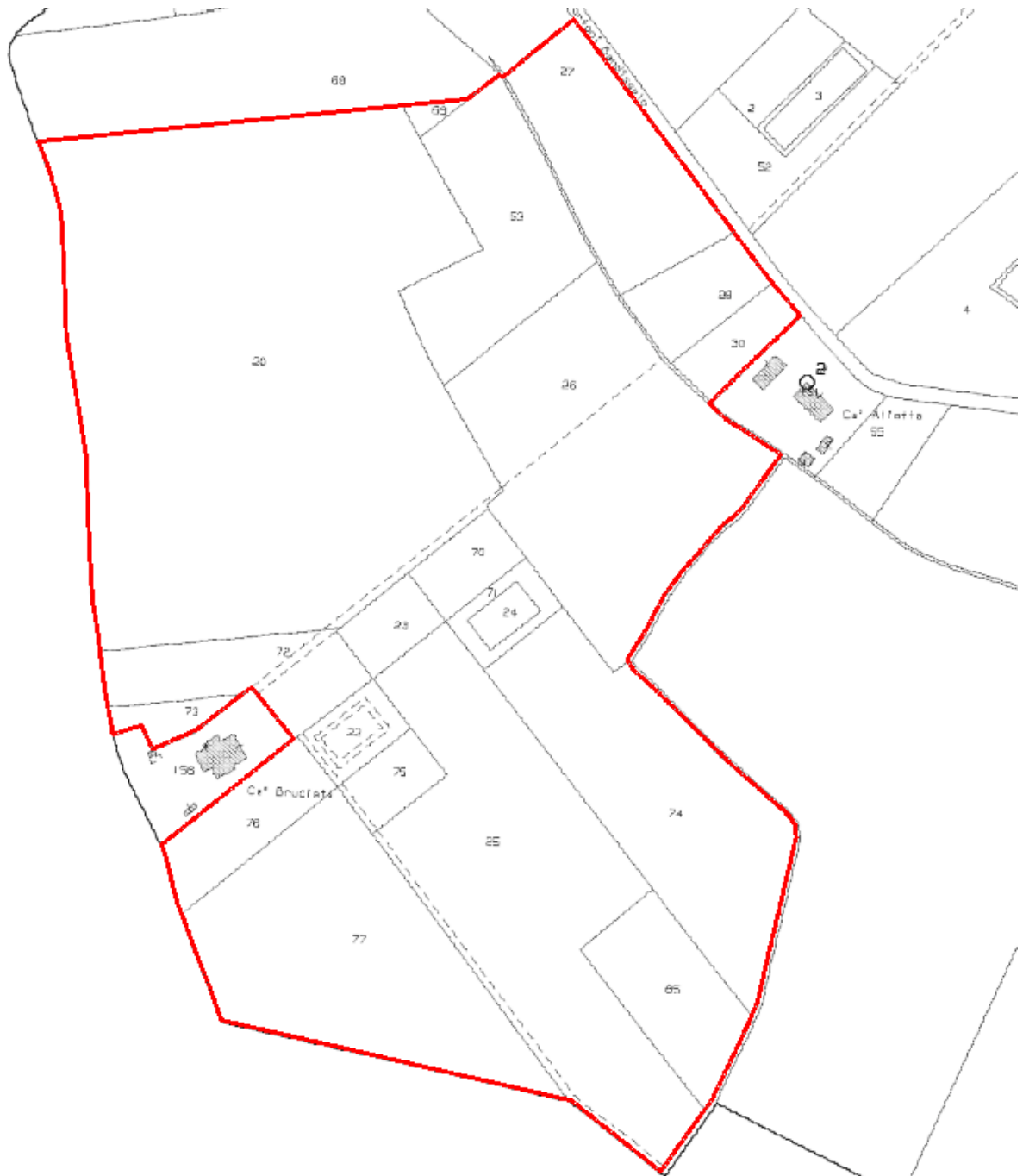


Figura 1.4: Inquadramento aree impianto FV su cartografia catastale (scala 1:1.000)

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 9 di 45

2. DESCRIZIONE DELLE OPERE

A servizio dell'impianto agrivoltaico è prevista la realizzazione delle seguenti opere:

- Impianto di produzione di energia elettrica solare fotovoltaica (le cui caratteristiche sono dettagliatamente descritte nell'elaborato tecnico dedicato);
- Trasformazione dell'energia elettrica BT/MT (Attraverso Power Station appositamente Dedicato);
- Impianto di connessione alla rete elettrica MT;
- Distribuzione elettrica BT;
- Impianto di alimentazione utenze in continuità assoluta;
- Impianti di servizio: illuminazione ordinaria locali tecnici ed illuminazione esterna;
- Impianti di servizio: impianto di allarme (antintrusione ed antincendio) e videosorveglianza;
- Impianto di terra;

Più specificatamente la realizzazione dell'impianto comprenderà la realizzazione delle seguenti opere:

- a. Posa in opera degli Inseguitori Solari su adeguate strutture di fondazione (Pali ad Infissione);
- b. Posa in opera dei Moduli Fotovoltaici;
- c. Posa in opera di n.3 Cabina di Parallelo;
- d. Posa in opera di n.3 Control Room prefabbricata;
- e. Posa in opera di n.3 Vano Tecnico
- f. Posa in opera di n.7 Power Station poste in campo, ognuna comprensiva di:
 - n. 1 Cabina Prefabbricata in CLS comprensiva dei Quadri MT (QMT);
 - n. 1 Cabina Prefabbricata in CLS comprensiva dei Quadri BT di Parallelo Inverter (QBT);
 - n°1 Trasformatore/i con rapporto di Trasformazione 36/0,80 kV, n.1 Quadro Elettrico Generale BT, n.1 autotrasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari.
- f. realizzazione di tutte le condutture principali di distribuzione elettrica per l'alimentazione dei sistemi ausiliari B.T.;
- g. scavi, rinterri e ripristini per la posa della conduttura di alimentazione principale BT e MT interne al campo agrivoltaico, dei cavidotti energia, segnali e per il dispersore di terra, comprensivi della fornitura e posa in opera di pozzetti in c.a. con chiusino carrabile (ove previsto);
- h. realizzazione dell'impianto di terra ed equipotenziale costituito da una corda di rame interrata lungo il perimetro dell'edificio ed integrata con picchetti, dai collettori di terra, dai conduttori di terra, di protezione ed equipotenziali e da tutti i collegamenti PE ed equipotenziali;
- i. realizzazione antintrusione comprensivo della centrale allarmi, delle barriere e delle condutture ad essi relativi;
- j. realizzazione dell'impianto di videosorveglianza comprensivo della centrale, delle videocamere, dei pali di sostegno e delle condutture ad essi relativi;

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 10 di 45

- k. realizzazione delle Linee MT (Cavidotto Interrato) dal Generatore Fotovoltaico fino alle Stazione di Elevazione di Utenza (SEU).

La designazione dettagliata delle opere, le loro caratteristiche e dimensioni sono desumibili dagli elaborati grafici di progetto.

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

L'impianto elettrico oggetto del presente progetto sarà realizzato in conformità alle vigenti Leggi/Normative tra le quali si segnalano le seguenti principali:

Leggi e Decreti	
Direttiva Macchine 2006/42/CE.	
"Norme Tecniche per le Costruzioni 2018" indicate dal DM del 17 Gennaio 2018, pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale il 20 febbraio 2018, in vigore dal 22 marzo 2018, con nota n. 3187 del Consiglio superiore dei Lavori pubblici (Cslpp) del 21 marzo 2018 e relative circolari applicative della norma.	

Legislazione e normativa nazionale in ambito Elettrico	
D. Lgs 9 Aprile 2008 n. 81 e s.m.i.	(Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 Agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro).
CEI EN 50110-1	(Esercizio degli impianti elettrici)
CEI 11-27	(Lavori su impianti elettrici)
CEI 0-10	(Guida alla manutenzione degli impianti elettrici)
CEI UNI EN ISO/IEC 17025:	Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura CEI 0-2 Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici
CEI EN 60445 (CEI 16-2)	Principi base e di sicurezza per l'interfaccia uomo-macchina, marcatura e identificazione – Identificazione dei morsetti degli apparecchi e delle estremità dei conduttori

Sicurezza elettrica	
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 11-27	Lavori su impianti elettrici
CEI 64-8	Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 11 di 45

CEI 64-8/7 (Sez.712)	Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua - Parte 7: Ambienti ed applicazioni particolari
CEI 64-12	Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario
CEI 64-14	Guida alla verifica degli impianti elettrici utilizzatori
IEC/TS 60479-1	Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects
IEC 60364-7-712	Electrical installations of buildings – Part 7-712: Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems
CEI 64-57	Edilizia ad uso residenziale e terziario - Guida per l'integrazione degli impianti elettrici utilizzatori e per la predisposizione di impianti ausiliari, telefonici e di trasmissione dati negli edifici - Impianti di piccola produzione distribuita.
CEI EN 61140 (CEI 0-13)	Protezione contro i contatti elettrici - Aspetti comuni per gli impianti e le apparecchiature

Normativa Fotovoltaica	
ANSI/UL 1703:2002	Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels
IEC/TS 61836	Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols
CEI 82-25	“Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione”
CEI EN 50438 (CEI 311-1)	Prescrizioni per la connessione di micro-generatori in parallelo alle reti di distribuzione pubblica in bassa tensione
CEI EN 50461 (CEI 82-26)	Celle solari - Fogli informativi e dati di prodotto per celle solari al silicio cristallino
CEI EN 50521(82-31)	Connettori per sistemi fotovoltaici - Prescrizioni di sicurezza e prove
CEI EN 60891 (CEI 82-5)	Caratteristiche I-V di dispositivi fotovoltaici in Silicio cristallino – Procedure di riporto dei valori misurati in funzione di temperatura e irraggiamento
CEI EN 60904-1 (CEI 82-1) Dispositivi fotovoltaici – Parte 1:	Misura delle caratteristiche fotovoltaiche corrente-tensione
CEI EN 60904-2 (CEI 82-2) Dispositivi fotovoltaici – Parte 2	Prescrizione per i dispositivi solari di riferimento
CEI EN 60904-3 (CEI 82-3) Dispositivi fotovoltaici – Parte 3	Principi di misura dei sistemi solari fotovoltaici (PV) per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento
CEI EN 60904-4 (82-32) Dispositivi fotovoltaici - Parte 4	Dispositivi solari di riferimento - Procedura per stabilire la tracciabilità della taratura

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 12 di 45

CEI EN 60904-5 (82-10) Dispositivi fotovoltaici - Parte 5	Determinazione della temperatura equivalente di cella (ETC) dei dispositivi solari fotovoltaici (PV) attraverso il metodo della tensione a circuito aperto
CEI EN 60904-7 (82-13) Dispositivi fotovoltaici - Parte 7	Calcolo della correzione dell'errore di disadattamento fra le risposte spettrali nelle misure di dispositivi fotovoltaici
CEI EN 60904-8 (82-19) Dispositivi fotovoltaici - Parte 8:	Misura della risposta spettrale di un dispositivo fotovoltaico
CEI EN 60904-9 (82-29) Dispositivi fotovoltaici - Parte 9	Requisiti prestazionali dei simulatori solari
CEI EN 60068-2-21 (91-40) 2006 Prove ambientali - Parte 2-21	Prove - Prova U: Robustezza dei terminali e dell'interconnessione dei componenti sulla scheda
CEI EN 61173 (CEI 82-4)	Protezione contro le sovratensioni dei sistemi fotovoltaici (FV) per la produzione di energia – Guida
CEI EN 61215 (CEI 82-8)	Moduli fotovoltaici (FV) in Silicio cristallino per applicazioni terrestri – Qualifica del progetto e omologazione del tipo
CEI EN 61646 (CEI 82-12)	Moduli fotovoltaici (FV) in Silicio cristallino per applicazioni terrestri – Qualifica del progetto e omologazione del tipo
CEI EN 61277 (CEI 82-17)	Sistemi fotovoltaici (FV) di uso terrestre per la generazione di energia elettrica – Generalità e guida
CEI EN 61345 (CEI 82-14)	Prova all'UV dei moduli fotovoltaici (FV)
CEI EN 61683 (CEI 82-20)	Sistemi fotovoltaici - Condizionatori di potenza - Procedura per misurare l'efficienza
CEI EN 61701 (CEI 82-18)	Prova di corrosione da nebbia salina dei moduli fotovoltaici (FV)
CEI EN 61724 (CEI 82-15)	Rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici – Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati
CEI EN 61727 (CEI 82-9)	Sistemi fotovoltaici (FV) - Caratteristiche dell'interfaccia di raccordo alla rete
CEI EN 61730-1 (CEI 82-27)	Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) Parte 1: Prescrizioni per la costruzione
CEI EN 61730-2 (CEI 82-28)	Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) Parte 2: Prescrizioni per le prove
CEI EN 61829 (CEI 82-16)	Schiere di moduli fotovoltaici (FV) in Silicio cristallino – Misura sul campo delle caratteristiche I-V
CEI EN 62093 (CEI 82-24)	Componenti di sistemi fotovoltaici - moduli esclusi (BOS) - Qualifica di progetto in condizioni ambientali naturali
CEI EN 62108 (82-30)	Moduli e sistemi fotovoltaici a concentrazione (CPV) – Qualifica del progetto e approvazione di tipo

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 13 di 45

Quadri Elettrici	
CEI EN 61439-1 (CEI 17-13/1)	Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) – Parte 1: Apparecchiature soggette a prove di tipo (AS) e apparecchiature parzialmente soggette a prove di tipo (ANS);
CEI EN 61439-3 (CEI 17-13/3)	Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) – Parte 3: Prescrizioni particolari per apparecchiature assiemate di protezione e di manovra destinate ad essere installate in luoghi dove personale non addestrato ha accesso al loro uso – Quadri di distribuzione ASD;
CEI 23-51	Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare.

Rete elettrica del distributore e allacciamento degli impianti	
CEI 11-1	Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata
CEI 11-17	Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo
CEI 11-20	Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria
CEI 11-20, V1	Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria – Variante
CEI 11-20, V2	Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati alle reti di I e II categoria – Allegato C - Prove per la verifica delle funzioni di interfaccia con la rete elettrica per i micro generatori
CEI EN 50110-1 (CEI 11-48)	Esercizio degli impianti elettrici
CEI EN 50160 (CEI 8-9)	Caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche di distribuzione dell'energia elettrica Cavi, cavidotti e accessori

Cavi, cavidotti e accessori	
CEI 20-13	Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 a 30 kV
CEI 20-14	Cavi isolati con polivinilcloruro per tensioni nominali da 1 kV a 3 kV
CEI-UNEL 35024-1	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 35026	Cavi elettrici isolati 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 20-40	Guida per l'uso di cavi a bassa tensione

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 14 di 45

CEI 20-65	Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico, termoplastico e isolante minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua - Metodi di verifica termica (portata) per cavi raggruppati in fascio contenente conduttori di sezione differente CEI 20-67 Guida per l'uso dei cavi 0,6/1 kV
CEI 20-67	Guida per l'uso dei cavi 0,6/1 kV
CEI 20-91	Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1 000 V in corrente alternata e 1 500 V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici
CEI EN 50086-1 (CEI 23-39)	Sistemi di tubi ed accessori per installazioni elettriche – Parte 1: Prescrizioni generali
CEI EN 50086-2-4 (CEI 23-46)	Sistemi di canalizzazione per cavi - Sistemi di tubi Parte 2-4: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi interrati
CEI EN 50262 (CEI 20-57)	Pressacavo metrici per installazioni elettriche
CEI EN 60423 (CEI 23-26)	Tubi per installazioni elettriche – Diametri esterni dei tubi per installazioni elettriche e filettature per tubi e accessori
CEI EN 61386-1 (CEI 23-80)	Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche Parte 1: Prescrizioni generali
CEI EN 61386-21 (CEI 23-81)	Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche Parte 21: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi rigidi e accessori
CEI EN 61386-22 (CEI 23-82)	Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche Parte 22: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi pieghevoli e accessori
CEI EN 61386-23 (CEI 23-83)	Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche Parte 23: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi flessibili e accessori

Conversione della Potenza	
CEI 22-2	Convertitori elettronici di potenza per applicazioni industriali e di trazione
CEI EN 60146-1-1 (CEI 22-7)	Convertitori a semiconduttori – Prescrizioni generali e convertitori commutati dalla linea – Parte 1-1: Specifiche per le prescrizioni fondamentali
CEI EN 60146-1-3 (CEI 22-8)	Convertitori a semiconduttori – Prescrizioni generali e convertitori commutati dalla linea – Parte 1-3: Trasformatori e reattori
CEI UNI EN 45510-2-4 (CEI 22-20)	Guida per l'approvvigionamento di apparecchiature destinate a centrali per la produzione di energia elettrica – Parte 2-4: Apparecchiature elettriche – Convertitori statici di potenza


Scariche atmosferiche e sovratensioni	
CEI EN 50164-1 (CEI 81-5)	Componenti per la protezione contro i fulmini (LPC) – Parte 1: Prescrizioni per i componenti di connessione

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 15 di 45

CEI EN 61643-11 (CEI 37-8)	Limitatori di sovratensioni di bassa tensione – Parte 11: Limitatori di sovratensioni connessi a sistemi di bassa tensione – Prescrizioni e prove
CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1)	Protezione contro i fulmini – Parte 1: Principi generali
CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2)	Protezione contro i fulmini – Parte 2: Valutazione del rischio
CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)	Protezione contro i fulmini – Parte 3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone
CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)	Protezione contro i fulmini – Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture

Dispositivi di Potenza	
CEI EN 50123 (serie) (CEI 9-26 serie)	Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Impianti fissi - Apparecchiatura a corrente continua
CEI EN 50178 (CEI 22-15)	Apparecchiature elettroniche da utilizzare negli impianti di potenza
CEI EN 60898-1 (CEI 23-3/1)	Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari – Parte 1: Interruttori automatici per funzionamento in corrente alternata
CEI EN 60898-2 (CEI 23-3/2)	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 EN 60947-1 (CEI 17-44)	Apparecchiature a bassa tensione - Parte 1: Regole generali
CEI EN 60947-2 (CEI 17-5)	Apparecchiature a bassa tensione – Parte 2: Interruttori automatici
CEI EN 60947-4-1 (CEI 17-50)	Apparecchiature a bassa tensione – Parte 4-1: Contattori ed avviatori– Contattori e avviatori elettromeccanici

Compatibilità Elettromagnetica	
CEI 110-26	Guida alle norme generiche EMC
CEI EN 50263 (CEI 95-9)	Compatibilità elettromagnetica (EMC) – Norma di prodotto per i relè di misura e i dispositivi di protezione
CEI EN 60555-1 (CEI 77-2)	Disturbi nelle reti di alimentazione prodotti da apparecchi elettrodomestici e da equipaggiamenti elettrici simili – Parte 1: Definizioni
CEI EN 61000-2-2 (CEI 110-10)	Compatibilità elettromagnetica (EMC) – Parte 2-2: Ambiente – Livelli di compatibilità per i disturbi condotti in bassa frequenza e la trasmissione dei segnali sulle reti pubbliche di alimentazione a bassa tensione
CEI EN 61000-2-4 (CEI 110-27)	Compatibilità elettromagnetica (EMC) – Parte 2-4: Ambiente – Livelli di compatibilità per disturbi condotti in bassa frequenza negli impianti industriali

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 16 di 45

CEI EN 61000-3-2 (CEI 110-31)	Compatibilità elettromagnetica (EMC) – Parte 3-2: Limiti – Limiti per le emissioni di corrente armonica (apparecchiature con corrente di ingresso 16 A per fase)
CEI EN 61000-3-3 (CEI 110-28)	Compatibilità elettromagnetica (EMC) – Parte 3-3: Limiti – Limitazione delle fluttuazioni di tensione e del flicker in sistemi di alimentazione in bassa tensione per apparecchiature con corrente nominale 16 A e non soggette ad allacciamento su condizione
CEI EN 61000-3-12 (CEI 210-81)	Compatibilità elettromagnetica (EMC) – Parte 3-12: Limiti - Limiti per le correnti armoniche prodotte da apparecchiature collegate alla rete pubblica a bassa tensione aventi correnti di ingresso > 16 A e <= 75 A per fase
CEI EN 61000-6-1 (CEI 210-64)	Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-1: Norme generiche - Immunità per gli ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera
CEI EN 61000-6-2 (CEI 210-54)	Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-2: Norme generiche - Immunità per gli ambienti industriali
CEI EN 61000-6-3 (CEI 210-65)	Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-3: Norme generiche - Emissione per gli ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera
CEI EN 61000-6-4 (CEI 210-66)	Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-4: Norme generiche - Emissione per gli ambienti industriali

4. MISURE DI PROTEZIONE ADOTTATE

Gli impianti oggetto dell'appalto saranno realizzati al fine di assicurare:

la protezione delle persone e dei beni contro i pericoli ed i danni derivanti dal loro utilizzo nelle condizioni che possono ragionevolmente essere previste;

il loro corretto funzionamento per l'uso previsto;

Per raggiungere tali obiettivi saranno adottate le seguenti misure di protezione:

4.1 PROTEZIONE DAI CONTATTI DIRETTI

- Protezione totale contro i pericoli derivanti da contatti con parti in tensione, realizzata in conformità al cap. 412 della Norma CEI 64-8 mediante:
 - isolamento delle parti attive, rimovibile solo mediante distruzione ed in grado di resistere a tutte le sollecitazioni meccaniche, chimiche, elettriche e termiche alle quali può essere sottoposto nel normale esercizio
 - involucri idonei ad assicurare complessivamente il grado di protezione IP XXB (parti in tensione non raggiungibili dal dito di prova) e, sulle superfici orizzontali superiori a portata di mano, il grado di protezione IP XXD (parti in tensione non raggiungibili dal filo di prova)

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 17 di 45

A tal fine saranno impiegati cavi a doppio isolamento (o cavi a semplice isolamento posati entro canalizzazioni in materiale isolante) e le connessioni saranno racchiuse entro apposite cassette con coperchio apribile mediante attrezzo. Come protezione addizionale saranno installati a capo di tutti i circuiti terminali destinati all'alimentazione di prese F.M., interruttori differenziali con soglia di intervento 0,03 A

4.2 PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI

Protezione contro i pericoli risultanti dal contatto con parti conduttrici che possono andare in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale, da realizzare mediante l'interruzione automatica dell'alimentazione secondo il paragrafo 413.1 della Norma CEI 64-8, collegando all'impianto generale di terra dell'edificio tutte le masse presenti negli ambienti considerati ed impiegando interruttori automatici di tipo magnetotermico differenziale, il tutto coordinato in modo da soddisfare in tutti i punti la condizione di cui all'art. 413.1.3.3 della Norma CEI stessa:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

dove:

Z_s = impedenza dell'anello di guasto

I_a = corrente che provoca l'interruzione automatica del dispositivo di protezione entro un tempo stabilito

U_0 = tensione nominale del circuito

È noto che, nel caso di utilizzo di dispositivi a corrente differenziale, la suddetta relazione è sempre verificata, indipendentemente dal valore di impedenza di guasto riscontrabile nei circuiti da essa derivati.

Limitatamente ai circuiti alimentanti apparecchi illuminanti a doppio isolamento (corridoi, esterni ed impianto di sicurezza), la protezione dai contatti indiretti sarà realizzata utilizzando componenti elettrici di Classe II o con isolamento equivalente (condutture e corpi illuminanti) in accordo al paragrafo 413.2 delle Norme CEI 64-8.

4.3 PROTEZIONE DALLE SOVRACORRENTI

Protezione contro il riscaldamento anomalo degli isolanti dei cavi e contro gli sforzi elettromeccanici prodotti nei conduttori e nelle connessioni causati da correnti di sovraccarico o di cortocircuito, da realizzare mediante dispositivi unici di interruzione di tipo magnetotermico installati all'origine di ciascuna conduttura ed aventi caratteristiche tali da interrompere automaticamente l'alimentazione in occasione di un sovraccarico o di un cortocircuito, secondo quanto prescritto nel Cap. 43 e nella sez. 473 della Norma CEI 64-8 facendo riferimento alle tabelle CEI-UNEL relative alla portata dei cavi in regime permanente.

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 18 di 45

A tal fine ogni dispositivo, oltre a possedere un potere di interruzione non inferiore al valore della corrente di corto circuito presunta nel suo punto di installazione, risponderà alle seguenti due condizioni:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 I_z$$

dove:

I_b = corrente di impiego del circuito (Ampère)

I_z = portata in regime permanente della condotta (Ampère)

I_n = corrente nominale del dispositivo di protezione (Ampère)

I_f = corrente che assicura l'effettivo funzionamento del dispositivo di protezione entro il tempo convenzionale in condizioni definite (Ampère)

4.4 SEZIONAMENTO

Sul lato M.T., l'impianto sarà sezionabile in più punti mediante dispositivi omipolari costituiti dagli stessi interruttori/sezionatori utilizzati per il comando e la protezione delle linee (Quadro MT in dotazione sulla Power Station, Quadri MT posti nelle Cabine di Testa per ogni sottocampo agrivoltaico).

Per il sezionamento dell'impianto di distribuzione in b.t. potranno venire impiegati tutti i dispositivi omipolari di protezione e comando posti nei vari quadri elettrici a partire dagli interruttori generali b.t. a bordo Inverter per arrivare infine a tutti gli interruttori generali di quadro o agli interruttori divisionali per l'alimentazione dei circuiti terminali destinati alle varie utenze.

5. QUALITÀ DEI MATERIALI

Gli impianti in oggetto sono stati progettati con riferimento a materiali/componenti di Fornitori primari, dotati di Marchio di Qualità, di marchiatura o di autocertificazione del Costruttore attestanti la costruzione a regola d'arte secondo la Normativa tecnica e la Legislazione vigente.

Tutti i materiali/componenti rientranti nel campo di applicazione delle Direttive 73/23/CEE ("Bassa Tensione") e 89/336/CEE ("Compatibilità Elettromagnetica") e successive modifiche/aggiornamenti saranno conformi ai requisiti essenziali in esse contenute e saranno contrassegnati dalla marcatura CE.

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 19 di 45

Tutti i materiali/componenti presenteranno caratteristiche idonee alle condizioni ambientali e lavorative dei luoghi in cui risulteranno installati.

6. DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO

Il generatore fotovoltaico sarà composto da n. **22.260** moduli fotovoltaici al silicio cristallino per una potenza di picco complessiva di **18.030,60 kW**.

L'intera produzione netta di energia elettrica sarà riversata in rete con allaccio in AT a 132 kV sulla rete di **Terna**.

Il generatore fotovoltaico sarà formato da n. **3.180** stringhe ognuna costituita da 7,14,28 moduli collegati in serie, per una potenza di picco complessiva totale del generatore fotovoltaico di **18.030,60 kWp**.

Al sottocampo farà riferimento una cabina utente ed una singola cabina di consegna (Delivery Cabin) destinata ad ospitare i dispositivi di Sezionamento e Protezione.

A valle di Cabina di Parallelo saranno installate le Power Stations.

Ogni Power Station sarà comprensiva di:

- n. 1 Cabina Prefabbricata in CLS comprensiva dei Quadri MT (QMT);
- n. 1 Cabina Prefabbricata in CLS comprensiva dei Quadri BT di Parallelo Inverter (QBT);
- n°1 Trasformatore/i con rapporto di Trasformazione 36/0,80 kV, n.1 Quadro Elettrico Generale BT, n.1 autotrasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari.

Le stringhe di moduli fotovoltaici saranno cablate in parallelo direttamente sugli Inverter Posti in Campo (Inverter di Stringa) dove la Corrente continua sarà trasformata in corrente in corrente alternata trifase CA con Tensione a 800 V.

Le linee in corrente alternata trifase in CA (a 800 V), in uscita da ogni Inverter, saranno convogliate al rispettivo Quadro Generale BT dislocato sulla Power Station di Competenza.

La linea trifase a 800 V in AC in uscita dai rispettivi Quadri Generali di Parallelo sarà trasformata in AC a 36.000 Volt da apposito trasformatore elevatore di potenza pari. All'uscita del trasformatore è posto il quadro QMT (partenza linea MT).

La linea elettrica in MT in uscita dal Quadro MT posta all'interno della Cabina Prefabbricata di competenza è convogliata alla cabina di Parallelo dotata delle opportune apparecchiature di Sezionamento e Protezioni.

Le Linee MT in Uscita dalle Cabina di Parallelo, saranno convogliate alla Stazione di Elevazione Utente (SEU).

Nella Tabella 6.1 sono evidenziate le principali caratteristiche dell'Impianto agrivoltaico e dei relativi sottocampi.

A servizio dell'impianto agrivoltaico è prevista la realizzazione delle seguenti opere:

- impianto di produzione di energia elettrica solare fotovoltaica (le cui caratteristiche sono dettagliatamente descritte nell'elaborato tecnico dedicato);

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 20 di 45

- trasformazione dell'energia elettrica BT/MT (Attraverso Power Station appositamente Dedicato);
- impianto di connessione alla rete elettrica MT;
- distribuzione elettrica BT;
- impianto di alimentazione utenze in continuità assoluta;
- impianti di servizio: illuminazione ordinaria locali tecnici ed illuminazione esterna;
- impianti di servizio: impianto di allarme (antintrusione ed antincendio) e videosorveglianza;
- impianto di terra.

Più specificatamente la realizzazione dell'impianto comprenderà la realizzazione delle seguenti opere:

- a. posa in opera degli Inseguitori Solari su adeguate strutture di fondazione (Pali ad Infissione);
- b. posa in opera dei Moduli Fotovoltaici;
- c. posa in opera di n.3 Cabine di Parallelo;
- d. posa in opera di n.3 Control Room prefabbricata;
- e. posa in opera di n.3 Vano Tecnico
- f. posa in opera di n.7 Power Station poste in campo, ognuna comprensiva di:
 - n. 1 Cabina Prefabbricata in CLS comprensiva dei Quadri MT (QMT);
 - n. 1 Cabina Prefabbricata in CLS comprensiva dei Quadri BT di Parallelo Inverter (QBT);
 - n°1 Trasformatore/i con rapporto di Trasformazione 36/0,80 kV, n.1 Quadro Elettrico Generale BT, n.1 autotrasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari.
- f. realizzazione di tutte le condutture principali di distribuzione elettrica per l'alimentazione dei sistemi ausiliari B.T.;
- g. scavi, rinterri e ripristini per la posa della conduttura di alimentazione principale BT e MT interne al campo agrivoltaico, dei cavidotti energia, segnali e per il dispersore di terra, comprensivi della fornitura e posa in opera di pozzetti in c.a. con chiusino carrabile (ove previsto);
- h. realizzazione dell'impianto di terra ed equipotenziale costituito da una corda di rame interrata lungo il perimetro dell'edificio ed integrata con picchetti, dai collettori di terra, dai conduttori di terra, di protezione ed equipotenziali e da tutti i collegamenti PE ed equipotenziali;
- i. realizzazione antintrusione comprensivo della centrale allarmi, delle barriere e delle condutture ad essi relativi;
- j. Realizzazione dell'impianto di videosorveglianza comprensivo della centrale, delle videocamere, dei pali di sostegno e delle condutture ad essi relativi;
- a. Realizzazione della Linea MT (Cavidotto Interrato) dal Generatore Fotovoltaico fino alle Stazione di Elevazione di Utenza (SEU).

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 21 di 45

7. DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO ELETTRICO

L'impianto in oggetto sarà connesso alla Rete Nazionale di Trasmissione.

L'impianto agrivoltaico comprenderà anche:

- una cabina elettrica di consegna (Delivery Cabin) per ogni sottocampo agrivoltaico, dotata delle rispettive apparecchiature di Sezionamento e Protezione;
- una cabina utente;
- Una serie di Power Station ognuna comprensiva di:
 - n. 1 Cabina Prefabbricata in CLS comprensiva dei Quadri MT (QMT);
 - n. 1 Cabina Prefabbricata in CLS comprensiva dei Quadri BT di Parallelo Inverter (QBT);
 - n°1 Trasformatore/i con rapporto di Trasformazione 36/0,80 kV, n.1 Quadro Elettrico Generale BT, n.1 autotrasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari;

Per la distribuzione in B.T. (800/400/220 V) saranno impiegati i seguenti tipi di conduttori:

- cavi uni/multipolari in rame a doppio isolamento, posati tubazioni corrugate in PVC serie pesante, provvisti di IMQ, con caratteristiche di non propagazione dell'incendio secondo le Norme CEI 20-22, tipo FG7(O)R 0,6/1 kV (isolante in EPR).
- cavi uni/multipolari in rame a doppio isolamento, schermati, posati tubazioni corrugate in PVC serie pesante, provvisti di IMQ, con caratteristiche di non propagazione dell'incendio secondo le Norme CEI 20-22, tipo FG7(O)R 0,6/1 kV (isolante in EPR).
- cavi unipolari in rame a semplice isolamento, posati entro tubazioni in PVC incassate o in vista, provvisti di IMQ, con caratteristiche di non propagazione dell'incendio secondo le Norme CEI 20-22, tipo NO7V-K (isolante in PVC).

Nei locali tecnologici saranno installate cassette di derivazione in silumin e/o in materiale plastico autoestinguente (in accordo alla tipologia delle canalizzazioni installate) aventi sempre grado di protezione non inferiore a IP55.

Negli altri ambienti le cassette di derivazione saranno tutte in materiale plastico autoestinguente con grado di protezione non inferiore a IP55 (se esterne) o a IP40 (se incassate).

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 22 di 45

8. COMPONENTI PRINCIPALI DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO

8.1 MODULI FOTOVOLTAICI

Per la realizzazione dell'impianto agrivoltaico oggetto della presente relazione saranno utilizzati moduli al silicio Monocristallino marca **NUVISION** modello **144HC-G12-GG HJT** ognuno della Potenza di Picco di **810 W**.

Ogni Modulo sarà dotato di una scatola di Giunzione con caratteristiche IP68 con relativi Diodi di By-Pass. I moduli presentano dimensioni pari **2.596 x 1.303 x 33 mm** e risultano dotati di una cornice in alluminio anodizzato e sono dotati di certificazione di rispondenza alle normative IEC 61215, IEC 61730, UL1703.

Le Caratteristiche Elettriche e Meccaniche del Modulo fotovoltaico sono riportate nella Figura 8.1.

144HC-G12-GG HJT
American Made
810W

Heterojunction X3 (HJT) Bifacial Half Cut Cells by Hybrid Cell

Developing Technology for America's Future.

Designed with Power, Performance, Reliability and Affordability in Mind.

A module designed and manufactured to meet the demands of the US Markets. We have optimized our products to support our customers' path to success by lowering the LCOE and maximizing your returns.

- HJT X3 Bifacial Half Cut Cells**
25.5% efficient in-type HJT Cells featuring zero-busbar (0BB) VHF-PECVD deposited a-SiOx:H and microcrystalline nc-Si(Ox)2/n(p) layers.
- US Domestic Content Certified**
Our sister company (Hybrid Cell Technology) manufactures the HJT cells in the same facility as our modules qualifying them for the US ITC (investment tax credit).
- Zero Busbar (0BB) Interconnection Technology**
Improved reliability with up to 15% more connection points versus traditional busbar modules, by reducing microcracking and hotspot effects.
- 35 yr Performance & 20 yr Product Warranties**
We stand behind our product with our module reliability and a company warranty. The result is a system that can yield you up to 45% more power under our warranty vs. our competitors 25yrs.
- 0.27%/C Pmax Temp. Coefficient**
The lower temperature coefficient of HJT cells produces a module that operates more efficiently, producing more power in high temperature environments.
- Higher Reliability and Maximum Power**
Designed for maximum power output over time, with fewer performance losses. LID and PID free results in an increase in power of up to 9% more than p-type PERC modules after 25 yrs.

NUVISION solar

IV MODULE DATASHEET
144HC-G12-GG HJT Solar Module

810W Maximum Power Output
24.0% Module Efficiency

20 years Product Warranty
35 years Performance Warranty

NUVISION solar

Model Type: 144HC-G12 HJT	
STC Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Pmax ± within ±1%, AM1.5	
Nominal Power (P_{MPP} @ STC)	770 780 790 800 810
Efficiency (%)	23.6 23.1 23.4 23.7 24.0
Maximum Power Voltage (V_{MPP})	48.04 48.16 48.27 48.3 48.37
Maximum Power Current (I_{MPP})	16.78 16.94 17.05 17.18 17.28
Maximum Power Current (I_{MPP} @ 25°C)	16.8 16.96 17.07 17.2 17.3
Open Circuit Voltage (V_{OC})	57.71 57.91 58.02 58.13 58.23
Short Circuit Current (I_{SC})	15.71 15.81 15.92 16.03 16.13
Maximum System Voltage (V_{MSV} @ STC)	1500 1500 1500 1500 1500

Electrical Data	
IMC373 40°C (800W/m², 20°C air temperature, AM 1.5, 1m/s wind speed)	
Nominal Power (W)	548 550 551 552 553
Maximum Power Voltage (V)	40.21 40.31 40.42 40.71 40.82
Maximum Power Current (A)	13.89 13.76 13.83 13.92 14.01
Open Circuit Voltage (V)	47.97 48.07 48.18 48.23 48.28
Short Circuit Current (A)	14.64 14.61 14.73 14.84 14.91

BIFAC	
Back side reflection irradiation 150W/m² AM1.5, 20°C ambient air temperature	
Nominal Power (W)	1487 1498 1499 1500 1501
Maximum Power Voltage (V)	45.4 45.27 45.36 45.45 45.54
Maximum Power Current (A)	20.09 20.05 20.21 20.27 20.33
Open Circuit Voltage (V)	56.2 56.2 56.2 56.2 56.2
Short Circuit Current (A)	18.05 18.02 18.19 18.28 18.33


Temperature Characteristics	
Module Operating Temperature Range (°C)	-40 to +85
Nominal Module Operating Temperature (IMC373) (°C)	45 ±1
Temperature Coefficient of Power (%/°C)	-0.27
Temperature Coefficient of Voltage (%/°C)	-0.25
Temperature Coefficient of Current (%/°C)	0.05

Mechanical Description	
Module Dimensions (mm)	2596 x 1303 x 33
Area (m²)	3.39
Module Weight (kg)	32.4 (8.8)
Output Cables (can be customized to length)	4mm² (12 AWG), 0.9m length
Connectors	MCC4
Compatible with	without Micro Inverter
Cell Type made by Hybrid Cell Technology	Bifacial HJT
Cell Configuration	144 Half Cut
Frame Material (Aluminum or Steel)	Clear or Black anodized
Front Glass	1.6mm AR Coated
Back Glass	1.6mm AR Coated
File Type	Type 1
Load Rating	5400Pa (Front) 2400Pa (Rear)

Packaging Information	
Modules per Tray	38
Tray Quantity	18
Total Module Quantity	684

Module and Cell Made in the USA

Figura 8.1: Caratteristiche Dimensionali ed Elettriche del Modulo

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 23 di 45

8.2 POWER STATION

L'impianto agrivoltaico sarà dotato di n. 7 Power Stations adatte per la costruzione di parchi fotovoltaici di grandi dimensioni. Le Power Stations sono utilizzate per la conversione dell'Energia Elettrica in BT in corrente continua proveniente dall'Impianto in Energia Elettrica in MT (36 kV) e sono formate da:

- n. 1 Cabina Prefabbricata in CLS comprensiva dei Quadri MT (QMT) di tipo protetto;
- n. 1 Cabina Prefabbricata in CLS comprensiva dei Quadri BT di Parallelo Inverter (QBT);
- n° 1 Trasformatore/i con rapporto di Trasformazione 36/0,80 kV, n.1 Quadro Elettrico Generale BT di parallelo inverter, n.1 autotrasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari

Nella Figura 8.2 sono visibili gli ingombri della Power Station.

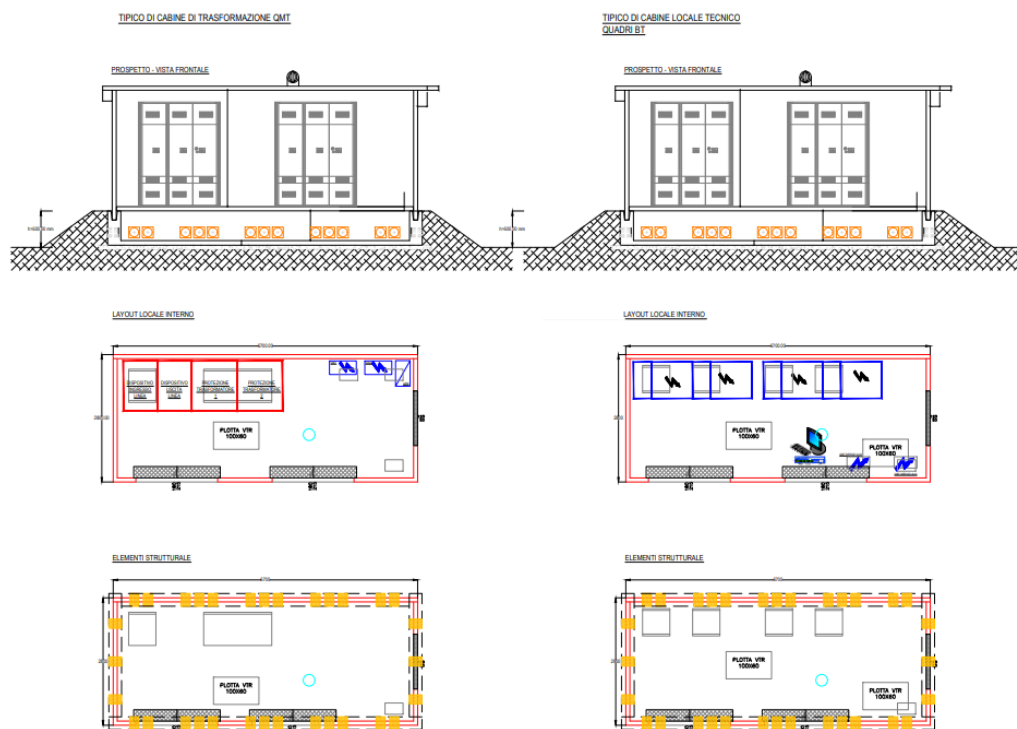


Figura 8.2: Power Station

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 24 di 45

8.3 INVERTER

Per la conversione dell'Energia Elettrica in Corrente Continua prodotta dai Moduli Fotovoltaici in Corrente Alternata idonea all'immissione nella Rete Elettrica Italiana saranno utilizzati Inverter di Stringa Marca **HUAWEI** modello **SUN2000-185KTL-H1** del tipo senza trasformatore interno (Si veda Figure 8.3 e 8.4).


Questa tipologia di Inverter presenta il vantaggio di avere una Tensione Massima di sistema pari a 1.500 Vdc ed una Tensione di Uscita in corrente alternata a 800 Vca ed è in grado di gestire una potenza in ingresso fino a **185 kVA**.

Queste caratteristiche consentono di minimizzare le perdite di caduta di tensione con un conseguente significativo vantaggio economico.

Un'altra caratteristica importante di questo inverter è la possibilità di Gestire ben 9 MPPT separati con una drastica riduzione delle perdite per ombreggiamento.

Questo Inverter è inoltre dotato di un modulo di alimentazione e di un vano cavi separato in modo da agevolare la sostituzione in fase di guasto, di un sistema di comunicazione con protocollo Mod Bus per una perfetta integrazione con tutti i sistemi esistenti in commercio.

L'efficienza massima dell'Inverte raggiunge il **99,03 %** mentre l'Efficienza Europea è del **98,69%**

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 25 di 45

SUN2000-185KTL-H1
Smart String Inverter




9
MPP Trackers


>99.0%
Max. Efficiency


String-level
Management

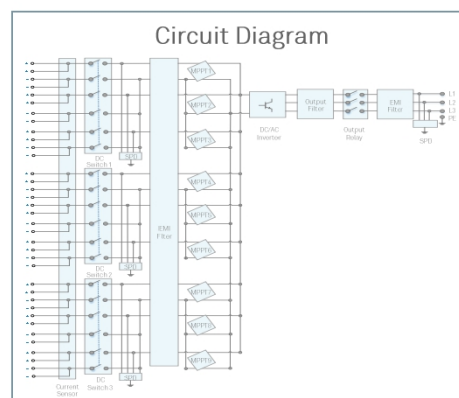
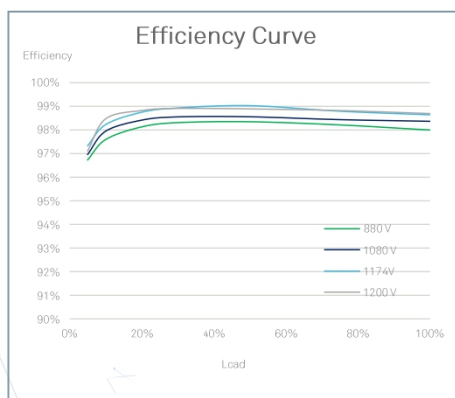

Smart I-V Curve
Diagnosis Supported


MBUS
Supported


Fuse Free
Design



Surge Arresters for
DC & AC


IP66
Protection



SOLAR.HUAWEI.COM

Figura 8.3: Inverter

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 26 di 45

SUN2000-185KTL-H1

Technical Specifications

Efficiency	
Max. Efficiency	99.03%
European Efficiency	98.69%
Input	
Max. Input Voltage	1,500 V
Max. Current per MPPT	26 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	40 A
Start Voltage	550 V
MPPT Operating Voltage Range	500 V ~ 1,500 V
Nominal Input Voltage	1,080 V
Number of Inputs	18
Number of MPP Trackers	9
Output	
Nominal AC Active Power	175,000 W @40°C, 168,000 W @45°C, 150,000 W @50°C
Max. AC Apparent Power	185,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	185,000W
Nominal Output Voltage	800 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Nominal Output Current	126.3 A @40°C, 121.3 A @45°C, 108.3 A @50°C
Max. Output Current	134.9 A
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED Indicators, Bluetooth/WLAN + APP
USB	Yes
MBUS	Yes
RS485	Yes
General	
Dimensions (W x H x D)	1,035 x 700 x 365 mm (40.7 x 27.6 x 14.4 inch)
Weight (with mounting plate)	84 kg (185.2 lb.)
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude without Derating	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Staubli MC4 EV02
AC Connector	Waterproof Connector + OT/DT Terminal
Protection Degree	IP66
Topology	Transformerless
Standard Compliance (more available upon request)	
Certificate	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683
Grid Code	IEC 61727, P.O. 12.3, RD 1699, RD 661, RD 413, RD 1565, RD 1663, UNE 206307-1, UNE 206006

SOLAR.HUAWEI.COM

Figura 8.4: Inverter – Caratteristiche Elettrica

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 27 di 45

8.4 INSEGUITORI SOLARI MONOASSIALI

Per il sostegno dei Moduli Fotovoltaici sarà utilizzato un inseguitore solare monoassiale (Tracker) disposto lungo l'asse Nord-Sud dell'impianto agrivoltaico, realizzato in Acciaio Zincato a Caldo ed Alluminio. L'inseguitore solare sarà in grado di ruotare secondo la Diretrice Est – Ovest in funzione della posizione del Sole. La variazione dell'Angolo avviene in modo automatico grazie ad un apposito algoritmo di controllo di tipo astronomico.



Figura 8.5: Esempio di Tracker mono-assiale

L'inseguitore Monoassiale sarà in grado di ospitare da un minimo di n.26 ad un massimo di n.78 Moduli Fotovoltaici e sarà installato su pali di fondazione in acciaio zincato infissi nel terreno, senza necessità di opere in calcestruzzo.

L'inseguitore sarà dotato di un sistema di controllo e comunicazione con le seguenti caratteristiche:

- Alimentato da Modulo fotovoltaico dotato di Batteria di Back up;
- Sistema di comunicazione Wireless;
- Sistema di protezione automatico in caso di vento di estremo;

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
GRUPPO GEO	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 28 di 45

- Backtracking personalizzato: modifica della posizione di ciascun tracker per evitare l'ombreggiamento reciproco e ottimizzando la produzione di energia;
- Possibilità di installazione per pendenze del terreno fino a 20%;

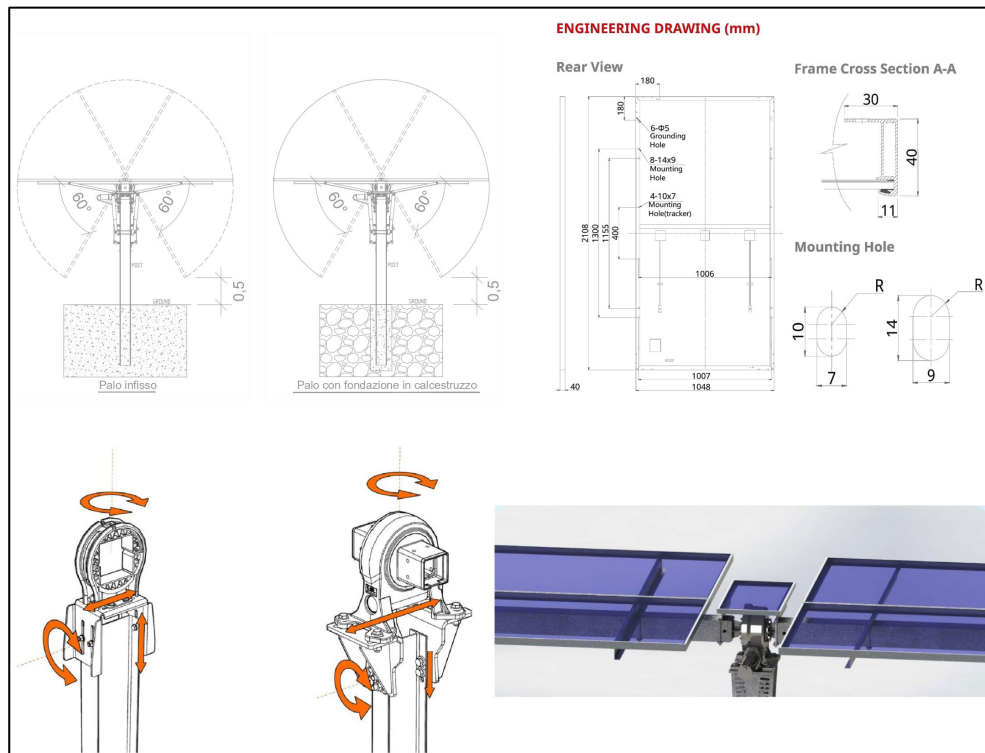


Figura 8.6: Tracker Monoassiale

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 29 di 45

Tracking type:	Independent single axis horizontal tracker; Any tracker alignment possible (ideally along North-South direction); Individual 3D backtracking
Tracking algorithm :	Accurate astronomical formulas; tracking precision = 0.5°
Rotation range:	±55°
Ground cover ratio:	Freely configurable by customer (between 34% and 50%)
PV Module compatibility:	Framed modules; All major brands
Module mount:	1 module portrait; 2 modules landscape
Drive system:	1 Independent linear actuator per tracker
Peak power per tracker:	Up to 32.64 kWp per tracker (with 340Wp modules)
N° of Module per tracker:	Up to 100 72-cell modules (1000 V) or 90 72-cell modules (1500 V)
PV array voltage:	1000 V or 1500 V
Power supply:	400 V AC (50/60 Hz) / Self powered
Communication:	Private wired network / wireless with star topology
Monitoring:	Local control via SCADA; Remote control available
Power consumption:	≈ 600 kWh/MWp/year (@ reference temperature of 20°C)
Foundation type:	standard: driven pile; compatible also with: cement block; ground screw
Wind resistance (Eurocodes):	In operation: up to 80 km/h in any position, depending on tracker version; Stow position: up to 200+ km/h in stow position, depending on tracker version.
Snow resistance:	Up to 1'500 N/m2; depending on tracker version
Tracker stowing time:	≤ 3 min
Installation tolerances:	North-South: ±45 mm; East-West: ±25 mm; Height tolerance: ±40 mm; Tilt: 8°; Twist: 15°
Ground slope:	Max 15% slope in longitudinal direction (North-South); Any slope in transversal direction (East-West) [max 70% local slope for rotation clearance]
Installation method:	Engineered for fast and easy assembly; no welding nor drilling required on site
Materials:	HDG construction steel; Maintenance free drive components (actuator and bearings)
Certifications/Compliance:	CE 2006/42/UE; Eurocodes EN1991-1-1/3/4; LV 2014/35/UE; EMC 2014/30/UE; ISO 9001-2015
Warranty :	Structure: 10 years; Drive and electronics: 5 years; Warranty extension available

Figura 8.7: Tracker Monoassiale - Caratteristiche Tecniche

9. CAVIDOTTI

La posa dei cavi elettrici costituenti gli impianti in oggetto è stata prevista in canalizzazioni distinte o comunque dotate di setti separatori interni per quanto riguarda le seguenti tipologie di circuiti:

- energia elettrica;
- segnalazione e speciali;

Le caratteristiche dimensionali ed i percorsi delle canalizzazioni sono riportati negli schemi planimetrici di progetto.

9.1 TUBAZIONI

Le tubazioni impiegate per realizzare gli impianti saranno dei seguenti tipi:

- tubo flessibile in PVC autoestinguente, serie pesante, con Marchio di Qualità, conforme alle Norme EN 50086, con colorazione differenziata in base all'impiego, posato entro cavedio/parete prefabbricata o incassato a parete/pavimento
- tubo flessibile corrugato a doppia parete in polietilene alta densità, o tubo rigido in PVC serie pesante, conforme alle norme EN50086 per posa interrata 450N; caratteristiche dello scavo e la profondità di interramento sono dettagliatamente riportate negli elaborati grafici di progetto

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 30 di 45

Il diametro interno dei tubi sarà maggiore o al limite uguale a 1,4 volte il diametro del cerchio circoscritto al fascio di cavi in esso contenuti, in ogni caso non inferiore a 16 mm.

I cavi avranno la possibilità di essere infilati e sfilati dalle tubazioni con facilità; nei punti di derivazione dove risulti problematico l'infilaggio, saranno installate scatole di derivazione, in metallo o in PVC a seconda del tipo di tubazioni, complete di coperchio fissato mediante viti filettate.

10. CAVI ELETTRICI

Negli impianti saranno impiegate le seguenti tipologie di cavi in funzione delle condizioni di posa:

- cavo multipolare/unipolare in rame isolato in gomma etilenpropilenica qualità G7 sotto guaina di PVC, tipo FG7(O)R 0,6/1 kV, avente caratteristiche di non propagazione dell'incendio, conforme alle Norme CEI 20-22 II e 20-13, da posare prevalentemente in tubazioni interrate;
- cavo multipolare/unipolare in rame isolato e schermato in gomma etilenpropilenica qualità G7 sotto guaina di PVC, tipo FG7(O)H2R 0,6/1 kV, avente caratteristiche di non propagazione dell'incendio, conforme alle Norme CEI 20-22 II e 20-13, da posare prevalentemente in tubazioni interrate per il cablaggio degli inverter e per la posa delle linee di produzione.
- cavo unipolare in rame isolato in PVC, tipo NO7V-K, avente caratteristiche di non propagazione dell'incendio, conforme alle Norme CEI 20-22 II e 20-20, da posare in tubazioni isolanti interrate.
- Cavo Solare: Cavo unipolare flessibile stagnato per il cablaggio delle stringhe di moduli fotovoltaici del tipo FG21M21, Tensione Massima 1.800 V in corrente continua, Temperatura Massima di Esercizio 90°C;
- Cavo MT: ARG7 H1R, Cavi isolati in gomma HEPR di qualità G7 sotto guaina di PVC, conduttore in Alluminio, Tensione Nominale di Esercizio 18/30 kV;
- Cavo di segnale tipo FTP;

La scelta delle sezioni dei cavi è stata effettuata in base alla loro portata nominale (calcolata in base ai criteri di unificazione e di dimensionamento riportati nelle Tabelle CEI-UNEL), alle condizioni di posa e di temperatura, al limite ammesso dalle Norme per quanto riguarda le cadute di tensione massime ammissibili (inferiori al 4%) ed alle caratteristiche di intervento delle protezioni secondo quanto previsto dalle vigenti Norme CEI 64-8.

La portata delle condutture sarà commisurata alla potenza totale che si prevede di installare.

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 31 di 45

Le sezioni minime previste per i conduttori saranno:

- 2,5 mm² per le linee di distribuzione F.M.
- 1,5 mm² per le linee di distribuzione luce
- 0,5 mm² per i circuiti di comando e segnalazione

Nei circuiti trifase i conduttori di neutro potranno avere sezione inferiore a quella dei corrispondenti conduttori di fase, con il minimo di 16mm², purché il carico sia sostanzialmente equilibrato ed il conduttore di neutro sia protetto per un cortocircuito in fondo alla linea; in tutti gli altri casi al conduttore di neutro verrà data la stessa sezione dei conduttori di fase.

La sezione del conduttore di protezione non sarà inferiore al valore determinato con la seguente formula:

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

dove:

S _p	= sezione del conduttore di protezione (mm ²)
I	= valore efficace della corrente di guasto che percorre il conduttore di protezione per un guasto franco a massa (A)
t	= tempo di interruzione del dispositivo di protezione (s)
K	= fattore il cui valore per i casi più comuni è dato nelle tabelle VI, VII, VIII e IX delle norme C.E.I. 64-8 e che per gli altri casi può essere calcolato come indicato nell'Appendice H delle stesse norme

La sezione dei conduttori di protezione può essere anche determinata facendo riferimento alla seguente tabella, in questo caso non è in generale necessaria la verifica attraverso l'applicazione della formula precedente.

Se dall'applicazione della tabella risultasse una sezione non unificata, sarà adottata la sezione unificata immediatamente superiore al valore calcolato.

Quando un unico conduttore di protezione deve servire più circuiti utilizzatori, la tabella si applica con riferimento al conduttore di fase di sezione più elevata:

S ≤ 16	S _p = S
16 < S ≤ 35	S _p = 16
S > 35	S _p = S/2

Dove:

S	= sezione dei conduttori di fase dell'impianto (mm ²)
S _p	= sezione minima del corrispondente conduttore di protezione (mm ²)

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 32 di 45

I valori della tabella sono validi soltanto se il conduttore di protezione è costituito dello stesso materiale del conduttore di fase. In caso contrario, la sezione del conduttore di protezione sarà determinata in modo da avere conduttanza equivalente.

Se i conduttori di protezione non fanno parte della stessa condotta dei conduttori di fase la loro sezione non sarà inferiore a 6 mm²:

Quando un unico conduttore di protezione deve servire più circuiti utilizzatori sarà dimensionato in relazione alla sezione del conduttore di fase di sezione più elevata.

I cavi unipolari e le anime dei cavi multipolari saranno contraddistinti mediante le seguenti colorazioni:

- nero, grigio e marrone (conduttori di fase)
- blu chiaro (conduttore di neutro)
- bicolore giallo-verde (conduttori di terra, di protezione o equipotenziali)

La rilevazione delle sovracorrenti è stata prevista per tutti i conduttori di fase.

In ogni caso il conduttore di neutro non verrà mai interrotto prima del conduttore di fase o richiuso dopo la chiusura dello stesso.


Nella scelta e nella installazione dei cavi si è tenuto presente quanto segue:

- per i circuiti a tensione nominale non superiore a 230/400 V i cavi avranno tensione nominale non inferiore a 450/750 V;
- per i circuiti di segnalazione e di comando è ammesso l'impiego di cavi con tensione nominale non inferiore a 300/500 V, qualora posti in canalizzazioni distinte dai circuiti con tensioni superiori.

Le condutture non saranno causa di innesco o di propagazione d'incendio: saranno usati cavi, tubi protettivi e canali aventi caratteristiche di non propagazione della fiamma nelle condizioni di posa.

Tutti i cavi appartenenti ad uno stesso circuito seguiranno lo stesso percorso e saranno quindi infilati nella stessa canalizzazione, cavi di circuiti a tensioni diverse saranno inseriti in tubazioni separate e faranno capo a scatole di derivazione distinte; qualora facessero capo alle stesse scatole, queste avranno diaframmi divisorii.

I cavi che seguono lo stesso percorso ed in special modo quelli posati nelle stesse tubazioni, verranno chiaramente contraddistinti mediante opportuni contrassegni applicati alle estremità.

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 33 di 45

11. CONNESSIONI E DERIVAZIONI

Tutte le derivazioni e le giunzioni dei cavi saranno effettuate entro apposite cassette di derivazione di caratteristiche congruenti al tipo di canalizzazione impiegata.

Negli impianti saranno pertanto utilizzate:

- cassette da incasso in materiale isolante autoestinguento (resistente fino 650° alla prova al filo incandescente CEI 23-19), con Marchio di Qualità, in esecuzione IP40, posate ad incasso nelle pareti
- cassette da esterno in pressofusione di alluminio, con Marchio di Qualità, in esecuzione IP55, posate in vista a parete/soffitto

Tutte le cassette disporranno di coperchio rimovibile soltanto mediante l'uso di attrezzo.

Per tutte le connessioni verranno impiegati morsetti da trafilato o morsetti volanti a cappuccio con vite isolati a 500 V.

Per quanto riguarda lo smistamento e l'ispezionabilità delle tubazioni interrate verranno impiegate prolunghe per pozzetti prefabbricati in cemento I chiusini saranno carrabili (ove previsto) costituiti dai seguenti materiali:

- cemento, per aree verdi o comunque non soggette a traffico veicolare;
- ghisa classe D400, per carreggiate stradali;

I pozzetti saranno installati in corrispondenza di ogni punto di deviazione delle tubazioni rispetto all'andamento rettilineo, in ogni punto di incrocio o di derivazione di altra tubazione e comunque ad una interdistanza non superiore a 25 m.

12. IMPIANTO DI TERRA

Il dispersore di terra sarà unico e costituito da una corda in rame nudo da 35 mm² e 50 mm² interrata a circa 0,5 m di profondità lungo il perimetro esterno della cabina di trasformazione e lungo il campo agrivoltaico, integrata da picchetti infissi nel terreno entro pozzetti ispezionabili.

Fanno parte integrante del sistema di dispersione le reti in acciaio annegate nel pavimento del locale trasformazione elettrica per rendere detto locale equipotenziale.

I locali tecnici saranno dotati di un proprio collettore di terra principale, costituito da una barratura in rame fissata a parete, a cui faranno capo i seguenti conduttori:

- il conduttore di terra proveniente dal dispersore;
- il conduttore di terra proveniente dei ferri di armatura (se presenti);
- il centro-stella (neutro) del trasformatore;
- il P.E. destinato al collegamento della carcassa del trasformatore;
- i conduttori destinati al collegamento dei chiusini dei cunicoli portacavi (se presenti);
- il nodo di terra dei Quadri Elettrici;

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 34 di 45

Dal nodo di terra principale saranno poi derivati tutti i conduttori di protezione ed equipotenziali destinati al collegamento dei quadri di distribuzione e quindi di tutte le masse estranee dell'impianto.

Ad ogni quadro elettrico sarà associato un nodo di terra costituito da una barra in rame.

L'impianto di terra risulterà realizzato in conformità al Cap. 54 delle Norme CEI 64-8/5 e ad esso saranno collegate:


- le masse metalliche di tutte le apparecchiature elettriche;
- le masse metalliche estranee accessibili;
- i poli di terra delle prese a spina;

Tutti i conduttori di protezione ed equipotenziali presenti nell'impianto saranno identificati con guaina isolante di colore giallo-verde e saranno in parte contenuti all'interno dei cavi multipolari impiegati per l'alimentazione delle varie utenze, in parte costituiranno delle dorsali comuni a più circuiti.

PARTE II: RELAZIONE DEI CALCOLI ELETTRICI

13. RIFERIMENTI NORMATIVI

CEI 11-25 2001 II Ed. (IEC 909)	Correnti di corto circuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte =: calcolo delle correnti.
CEI 11-28 1993 I Ed. (IEC 781)	Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
CEI 17-5 VIa Ed. 1998	Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
CEI 23-3 1991 IV Ed.	Interruttori automatici per la protezione delle sovracorrenti per impieghi domestici e similari.
CEI 33-5 Ia Ed. 1984	Condensatori statici di rifasamento di tipo autorigenerabile per impianti di energia a corrente alternata con tensione nominale inferiore o uguale a 600V.
CEI 64-8 VIa Ed. 1998	Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua.
IEC 364-5-523	Wiring System. Current-carrying capacities.
CEI UNEL 35023 – 1970	Cavi per energia isolati con gomma o con materiale termoplastico avente grado di isolamento non superiore a 4 – cadute di tensione.
CEI UNEL 34024/1 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 34024/2 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.

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 35 di 45

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 continua in regime permanente per posa interrata.
CEI 11-1 IXa Ed. 1999	Impianto di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica.
CEI 11-17 IIa Ed. 1997	Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.
CEI 11-35 Ia Ed. 1996	Guida all'esecuzione delle cabine elettriche d'utente.
CEI 17-1 Va Ed. 1998	Interruttori a corrente alternata a tensione superiore a 1000 V.
CEI 17-4	Sezionatori e sezionatori di terra a corrente alternata e a tensione superiore a 1000 V
17-9/1	Interruttori di manovra e interruttori di manovra sezionatori per tensioni nominali superiori a 1 kV e inferiore a 52 kV.
17-46	Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori combinati con fusibili ad alta tensione per corrente alternata.
CEI 17-41	Contattori elettromeccanici per usi domestici e similari

14. PRESCRIZIONI TECNICHE GENERALI


Tutti i materiali ed i componenti di cui è previsto l'impiego, dovranno essere scelti tra le primarie imprese costruttrici e fornitori, con l'obbligo di essere contraddistinti dal MARCHIO ITALIANO DI QUALITA' (IMQ) e marchio (CE).

Gli impianti dovranno essere conformi alle prescrizioni dei seguenti Soggetti:

- GESTORE LOCALE DI TELEFONIA e TELECOM;
- GESTORE LOCALE DI RETE ed ENEL;
- V.V.F.;

di competenza sul territorio, ai quali ci si dovrà obbligatoriamente rivolgere per assumere eventuali dati tecnici necessari per una corretta organizzazione e conduzione dei lavori.

Tutti gli impianti dovranno inoltre essere eseguiti a perfetta regola d'arte, conformemente alle normative vigenti, nonché alle leggi, alle quali si farà riferimento per ogni eventuale contestazione tecnica e in sede di collaudo tecnico.

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 36 di 45

15. DETERMINAZIONE DELLE CORRENTI DI IMPIEGO

Il calcolo delle correnti di impiego è stato eseguito in base alla seguente relazione:

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

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 in fattore di potenza φ 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:

$$P_1 = I_b \cdot e^{-j\varphi} = I_b \cdot (\cos \varphi - j \sin \varphi)$$

$$P_2 = I_b \cdot e^{-j(\varphi - 2\pi/3)} = I_b \cdot \left(\cos \left(\varphi - \frac{2\pi}{3} \right) - j \sin \left(\varphi - \frac{2\pi}{3} \right) \right)$$

$$P_3 = I_b \cdot e^{-j(\varphi - 4\pi/3)} = I_b \cdot \left(\cos \left(\varphi - \frac{4\pi}{3} \right) - j \sin \left(\varphi - \frac{4\pi}{3} \right) \right)$$

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

$$V_n = V_n + j0$$

La potenza di dimensionamento P_d è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot coeff$$

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

La potenza P_n , invece, è la potenza nominale del carico per utenze terminali, ovvero, la somma delle P_d delle utenze a valle (ΣP_d a valle) per utenze di distribuzione (somma vettoriale).

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 (ΣQ_d a valle).

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

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 37 di 45

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

16. 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 (paragrafo 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.

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 essi 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 124 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 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, quindi, protette contro le sovratensioni.

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 38 di 45

17. 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 seguente relazione:

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

La costante K viene data dalla norma 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 delle note che permettono, in attesa di disposizioni diverse, la loro determinazione:

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:	$K = 87$

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 G:	$K = 110$
- Cavo in alluminio e isolato in G5 – G7:	$K = 116$

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

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 39 di 45

- 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 G:	K = 89
- Cavo in alluminio e isolato in G5 – G7:	K = 94

18. CADUTE DI TENSIONE

Il calcolo delle cadute di tensione avviene settorialmente. 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 riportato in percentuale rispetto alla tensione nominale.

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

$$c_{dt}(I_b) = K_{c_{dt}} \cdot I_b \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot (R_{cavo} \cdot \cos \varphi + X_{cavo} \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{V_n}$$

Con:

- $k_{c_{dt}} = 2$ per sistemi monofase;
- $k_{c_{dt}} = 1,73$ per sistemi trifase;

I parametri R_{cavo} e X_{cavo} sono automaticamente ricavati dalla tabella UNEL in funzione al tipo di cavo (unipolare(multipolare) ed alla sezione dei conduttori; di tali parametri il primo è riferito a 80°C, mentre il secondo è riferito a 50 Hz, ferme restando le unità di misura in Ω/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 vettoriali, riferite ad un solo conduttore, dei rami a monte dell'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.

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 40 di 45

19. 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, può 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 si almeno uguale a 16 mm² se il conduttore 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.

20. 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;

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

$$16 < S_f < 35\text{mm}^2 : \quad S_{PE} = 16\text{mm}^2$$

$$S_f < 35\text{mm}^2 : \quad S_{PE} = S_f / 2$$

Il secondo criterio determina tale valore con l'integrale di Joule.

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 41 di 45

21. CALCOLO DEI GUASTI

Nel calcolo dei guasti vengono determinate le correnti di corto circuito minime e massimo immediatamente a valle della protezione dell'utenza (inizio linea) e a valle dell'utenza (fine linea).

Le condizioni in cui vengono determinate sono:

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

Le correnti a valle della protezione sono individuate dalle correnti di guasto a fondo linea della utenza a monte.

22. CALCOLO DELLE CORRENTI MASSIME DI CORTO CIRCUITO

Il calcolo viene condotto nelle seguenti condizioni:

- a) tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione 1;
- b) impedenza di guasto minima, 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 a 80°C, data dalla tabella UNEL 35023-70, per cui esprimendola in mΩ risulta:

$$R_{dcavo} = \frac{R_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \left(\frac{1}{1 + (60 \cdot 0,004)} \right)$$

Nota poi dalla stessa tabella la reattanza a 50 Hz, se f è la frequenza d'esercizio, risulta:

$$X_{dcavo} = \frac{X_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

Possiamo sommare queste ai parametri diretti della utenza a monte ottenendo così l'impedenza di guasto minima a fine utenza.

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


$$R_{dsbarra} = \frac{R_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{L_{sbarra}}{1000}$$

La reattanza è invece:

$$X_{dsbarra} = \frac{X_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{L_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

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

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

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 42 di 45

$$R_{0cavoNeutro} = R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoneutro}$$

$$X_{0cavoNeutro} = 3 \cdot X_{dcavo}$$

Per il conduttore di protezione, invece si ottiene:

$$R_{0cavoPE} = R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoPE}$$

$$X_{0cavoPE} = 3 \cdot X_{dcavo}$$

Dove le resistenze $R_{dcavoNeutro}$ e $R_{dcavoPE}$ vengono calcolate come la R_{dcavo} .

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

Per il conduttore di neutro di ha:

$$R_{0sbarraNeutro} = R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraNeutro}$$

$$X_{0sbarraNeutro} = 3 \cdot X_{dsbarra}$$

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

$$R_{0sbarraPE} = R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraPE}$$

$$X_{0sbarraPE} = 3 \cdot X_{anello_guasto}$$

I parametri di ogni utenza vengono sommati con i parametri, alla stessa sequenza, dell'utenza a monte, espressi in mΩ:

$$R_d = R_{dcavo} + R_{dmonte}$$

$$X_d = X_{dcavo} + X_{dmonte}$$

$$R_{0Neutro} = R_{0cavoneutro} + R_{0monteNeutro}$$

$$X_{0Neutro} = X_{0cavoneutro} + X_{0monteNeutro}$$

$$R_{0PE} = R_{0cavoPE} + R_{0montePE}$$

$$X_{0PE} = X_{0cavoPE} + X_{0montePE}$$

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


Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze (in mΩ) di guasto trifase:

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

$$Z_{k1Neutro \min} = \frac{1}{3} \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0Neutro})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0Neutro})^2}$$

Fase terra:

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 43 di 45

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

Da queste si ricavano le correnti di corto circuito trifase $I_{k\max}$, fase neutro $I_{k1Neutro\max}$, fase terra $I_{k1PE\max}$ e bifase $I_{k2\max}$ espresse in kA:

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

$$I_{k1Neutro\max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} Z_{k1Neutro\min}}$$

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

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

Infine dai valori delle correnti massime di guasto si ricavano i valori di cresta delle correnti (CEI 11-25 par. 9.1.1.):

$$I_p = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k\max}$$

$$I_{p1Neutro} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1Neutro\max}$$

$$I_{p1PE} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1PE\max}$$

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

Dove:

$$K \approx 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R_d}{X_d}}$$

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 44 di 45

23. SCELTA DELLE PROTEZIONI

La scelta delle protezioni viene effettuata verificando le caratteristiche elettriche nominali del conduttore e di guasto; in particolare le grandezze che vengono verificate sono:

- corrente nominale, secondo la quale si dimensiona la conduttura;
- numero poli;
- tipo di protezione;
- tensione di impiego, pari alla tensione nominale dell'utenza;
- potere di interruzione, il cui valore dovrà essere superiore alla massima corrente di guasto a monte dell'utenze
 I_{kmax} ;
- taratura di intervento della corrente di intervento magnetico, il cui valore massimo per garantire la protezione con i contatti indiretti (in assenza di differenziale) deve essere minore della minima corrente di guasto alla fine della linea (I_{magmax});

ELABORATO 021100	COMUNE di PORTOMAGGIORE PROVINCIA di FERRARA	Rev.: 01
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 18.030,60 KW	Data: 18/08/2025
	RELAZIONE IMPIANTI E CALCOLI ELETTRICI	Pagina 45 di 45

24. VERIFICA DELLA PROTEZIONE A CORTOCIRCUITO DELLE CONDUTTURE

Secondo la norma 64-8 par. 434.3 “caratteristiche dei dispositivi di protezione contro i cortocircuiti”, le caratteristiche delle apparecchiature di protezione contro i cortocircuiti devono soddisfare due condizioni:

- il potere di interruzione non deve essere inferiore alla corrente di corto circuito presunta nel punto di installazione (a meno di protezioni adeguate a monte);
- la caratteristica di intervento deve essere tale da impedire che la temperatura del cavo non oltrepassi, in condizioni di guasto in un punto qualsiasi, la massima consentita.

La prima condizione viene considerata in fase di scelta delle protezioni. La seconda invece può essere tradotta nella relazione:

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

Ossia in caso di guasto l'energia specifica sopportabile dal cavo deve essere maggiore o uguale a quella lasciata passare dalla protezione.

La norma CEI par. 533.3 “Scelta dei dispositivi di protezione contro i cortocircuiti” prevede pertanto un confronto tra le correnti di guasto minima (a fondo linea) e massima (inizio linea) con i punti di intersezione fra le curve.

Porto San Giorgio, li 18/08/2025

