

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

PROVINCIA DI FERRARA
COMUNE DI FERRARA

PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO AVANZATO DA 56,07 MW DENOMINATO "CUNIOLA" LOCALIZZATO NEL COMUNE DI FERRARA (FE)

ELABORATO

PR_04

RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE

PROPONENTE:

FERRARA SOLAR S.R.L.

SEDE LEGALE IN LARGO ARTURO TOSCANINI,1
20122- MILANO (MI) P.IVA 05821240651
sicilysuntwosrl@arubapec.it



PROGETTAZIONE:

SAVESYSTEMS S.R.L.

PIAZZA DI PIETRA 26
00186-ROMA (RM)-P.IVA 04981400650
savesystemsrl@pec.it

Dott. Ing. Attilio De Palma
Ordine ingegneri di Bari n. 9832



Dott. Ing. Cataldo Colamartino
Ordine ingegneri di Bari n. 12480

Rev	Data	Descrizione	Eseguito	Verificato	Approvato
00	GIU 2026	PROGETTO DEFINITIVO	C.C. A.D.	S.A.	S.A.

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO AVANZATO DA 56,07 MW DENOMINATO "CUNIOLA" LOCALIZZATO NEL COMUNE DI FERRARA (FE) - EMILIA-ROMAGNA

PROPONENTE: FERRARA SOLAR S.R.L. <i>Largo Arturo Toscanini 1, 20122 Milano(MI) P.IVA 05821240651 sicilysuntwosrl@arubapec.it</i>	PROGETTAZIONE: SAVESYSTEMS S.R.L. <i>Piazza di Pietra 26, 00186 Roma (RM) P.IVA 04981400650 savesystemsrl@pec.it</i>
---	--

DOCUMENTO: RELAZIONE PRELIMINARE STRUTTURE

REVISIONE: 00

REDATTO: C.C. A.A.

VERIFICATO: S.A.

APPROVATO: S.A.

GRUPPO DI LAVORO:

Ing. Attilio De Palma

Ing. Cataldo Colamartino Ing. Monica Procacci

Ing. Claudio Amorese

**Ing. Luigi Berardino Verzillo Ing. Maria Caputo Dott.Agro. Michele Liodice Dott. Arch. Danilo Nati
 Dott.Geol. Dino C. Balducci**

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

1. PREMESSA	3
2. DESCRIZIONE DELLE OPERE E DELLE SCELTE PROGETTUALI	5
3. NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	16
4. NORMATIVA E ZONIZZAZIONE SISMICA	17
5. CALCOLI PRELIMINARI - ANALISI DEI CARICHI - AZIONI SULLE STRUTTURE	20
5.1. AZIONE SISMICA	20
5.2. AZIONE DEL VENTO	20
5.3. AZIONE DELLA NEVE	22
5.4. CARICHI VARIABILI	23
5.5. CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI (PESI PROPRI) E NON STRUTTURALI	24
5.6. CARATTERISTICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE	24
5.7. QUALITÀ DEI MATERIALI	27
<i>5.7.1. STRUTTURE METALLICHE PORTAMODULI.....</i>	<i>27</i>
<i>5.7.2. STRUTTURE DI ELEVAZIONE IN C.A.....</i>	<i>29</i>
<i>5.7.3. STRUTTURE DI FONDAZIONE</i>	<i>29</i>

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

1. PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione tecnica delle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici avente in oggetto la realizzazione di un impianto di generazione energetica alimentato da Fonti Rinnovabili e nello specifico da fonte solare.

La società proponente è la **FERRARA SOLAR S.R.L.** Largo Arturo Toscanini 1, 20122 Milano (MI) P.IVA 05821240651 - sicilysuntwosrl@arubapec.it

Il progetto prevede la realizzazione **di un impianto agrivoltaico avanzato dalla potenza nominale di 56,07 MW e relative opere di connessione alla rete elettrica nazionale.** Il Preventivo di connessione rilasciato da TERNA SpA a favore del Proponente (**codice 202501282**), prevede che l'impianto sia venga collegato in antenna a 36 kV su un ampliamento/adequamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132 kV denominata "Ferrara Focomorto" previo incremento della capacità di trasformazione e previa realizzazione dell'intervento 318-P del Piano di Sviluppo Terna.

Il sito interessato alla realizzazione dell'impianto si sviluppa nel territorio del Comune di Ferrara (FR), in località Poggetto e ricade nel Catasto Terreni ai seguenti fogli e particelle:

FOGLIO	PARTICELLA
303	6
303	9
303	331
303	332
303	333
303	14
303	17
319	11
319	31
319	32
319	152
319	163
319	178
320	1
320	2
320	6
320	304
320	305
305	12
305	20

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

305	72
305	73
305	74
305	81
305	84

L'area in oggetto si trova ad un'altitudine media di m 7 s.l.m. e le coordinate geografiche sono le seguenti:

44°45'16.13"N

16°48'47.12" E

L'area di intervento è raggiungibile la strada comunale di **Via Sgarbata**, proseguendo poi lungo la strada locale **Via dell'Idrovo** per circa **1,2 km**.

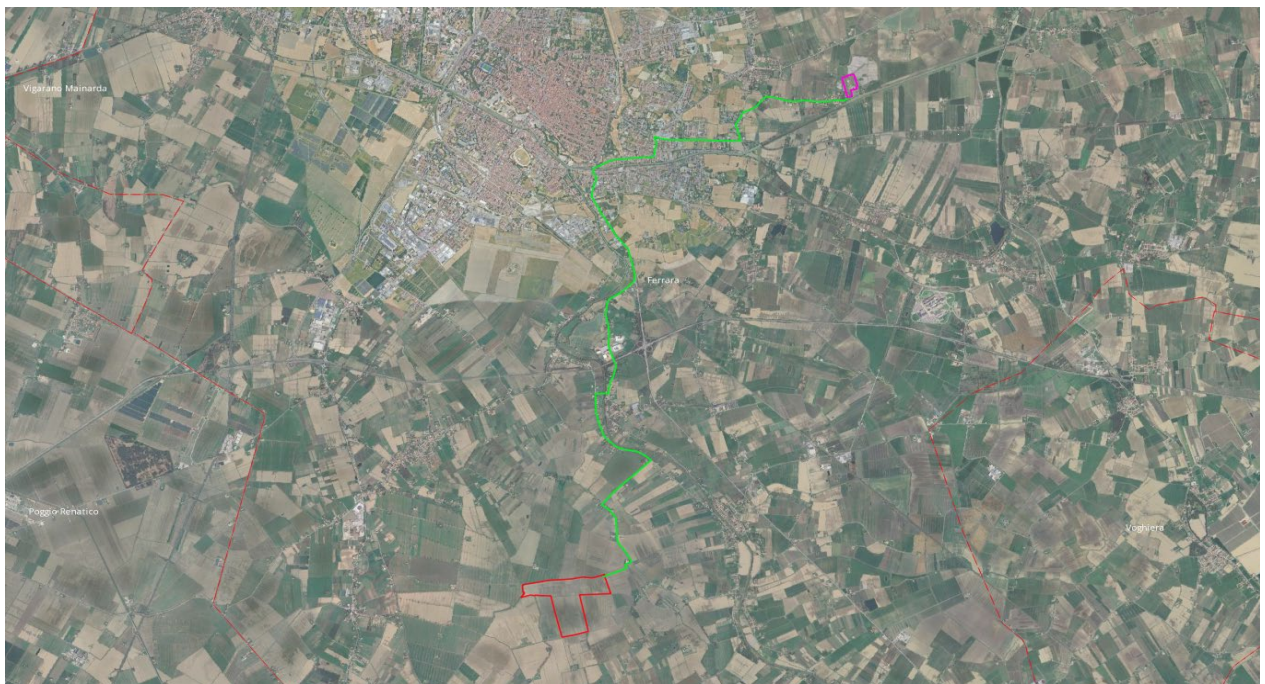


Fig. 1-1: Inquadramento territoriale

La superficie lorda dell'area di intervento è di circa 67,3 ha destinata complessivamente ad un progetto agrivoltaico.

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

2. DESCRIZIONE DELLE OPERE E DELLE SCELTE PROGETTUALI

Nel seguito si riportano le informazioni tecniche relative all'impianto agrivoltaico

Impianto Agrivoltaico	
Comune	FERRARA
Coordinate geografiche impianto	44°45'16.13" Nord 11°37'24.96" Est
Potenza Modulo PV	750 W
n° moduli PV mono o bifacciali	74760
Potenza in AC	56,07 MW
Potenza in DC	56,07 MW
Tipologia strutture	Tracker monoassiali
Lunghezza cavidotto di connessione	14,27 km
Punto di connessione	SE denominata "Ferrara Focomorto"
Comune	FERRARA

Al fine di ottimizzare e razionalizzare le superfici a disposizione, oltre a massimizzare la produzione di energia annuale, compatibilmente con le aree a disposizione, si è adottato come criterio di scelta prioritario quello suddividere l'impianto in 3 sottocampi e di concentrare la trasformazione dell'energia elettrica da bassa tensione ad alta tensione in un singolo trasformatore per ciascuna unità;

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

La conversione da corrente continua in corrente alternata è effettuata, mediante 164 inverter trifase collegati direttamente al proprio trasformatore per ciascun campo.

Gli inverter di ciascuna unità sono collegati direttamente al quadro di parallelo inverter in cabina e da questo al rispettivo avvolgimento secondario del trasformatore AT/BT 0.8/36kV.

Ciascun inverter è dotato di un sistema di comunicazione tramite linea seriale RS-485, che è collegato ad un sistema di acquisizione dati e monitoraggio, in modo da tenere sempre sorvegliato l'impianto e controllare l'efficienza di produzione.

La linea AT proseguirà con cavo interrato in alluminio 1(3x1x630) lungo un tracciato che si estende per circa 14,27 km sino a giungere alla SE Terna.

Sempre al fine di ottimizzare la produzione annuale, compatibilmente con le aree a disposizione si è scelto di utilizzare una struttura mobile configurato con un sistema ad inseguitore solare monoassiale est-ovest.

Pannelli fotovoltaici

Il modulo proposto, è il SUN Hi -Max, modello 66HLM4M-BDV, che utilizza 156 celle fotovoltaiche in silicio monocristallino, bifacciali.

I moduli SUN Hi -Max offrono una garanzia di prodotto di 12 anni e garantiscono l'87,4 % della potenza nominale dopo 30 anni con un decadimento annuo delle prestazioni inferiore a 0,4%, sono costruiti secondo la norma CEI EN 61215 e sono forniti di tutte le certificazioni di qualità. Sono inoltre dotati di certificazione secondo IEC 61701 che ne garantisce l'installazione in zone costiere in ambienti ad elevata concentrazione salina.

I moduli hanno inoltre le seguenti certificazioni:

- IEC 61215: 2005 e IEC 61730: 2007
- ISO 9001
- ISO 140001
- OHSAS 18001
- IEC 62716 – Resistenza alla corrosione
- UNI 9177 – Classe I di Resistenza al fuoco

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04



BIFACIAL HJT MONO CRYSTALLINE HALF CUT MODULE - DOUBLE GLASS
725 / 730 / 735 / 740 / 745 / 750 Watts

Hetero Junction (HJT) photovoltaic module is a Ground breaking Technology. HJT technology guarantees high performance and low degradation of the PV module substantially improving the results and the yield in the time "Hi-Max" Series module is the ideal solution for end users who want a Quality PV & reliable product over time and a fast turnaround on their investments



HJT 2.0 Technology

Combining gettering process and single-side $\mu\text{-Si}$ technology to ensure higher cell efficiency and higher module power.



-0.24%/C Pmax temperature coefficient

More stable power generation performance and even better in hot climate.



SMBB design with Half-Cut Technology

Shorter current transmission distance, less resistive loss and higher cell efficiency.



Up to 90% Bifaciality

Natural symmetrical bifacial structure bringing more energy yield from the backside.



Sealing with PIB based sealant

Stronger water resistance, greater air impermeability to extent module lifespan.



Higher reliability

Industrial leading product and performance warranty, ensuring modules consistent outstanding performance.



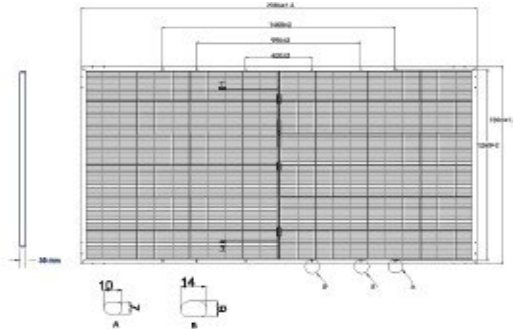
CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.

© 2021 SUNPLUS OPTIMUM LTD All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.	Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	Revisione: 00
Data: Giugno 2026	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture Cod. elab: PR04

■ Mechanical Specification

Format	2384mm × 1303mm × 35 mm (including frame) (93.8 in × 51.3 in × 1.38 in)
Weight	39.0 kg (lbs)
Front Cover	2.0 mm (0.08 in) thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	2.0 mm (0.08 in) semi-tempered glass
Frame	Anodised aluminium
Cell	6 × 26 monocrystalline HJT NEO solar half cells
Junction box	Protection class IP68, with bypass diodes
Cable	4 mm ² Solar cable; (+) ±350mm (13.78in), (-) ±350mm (13.78in)
Connector	Stäubli MC4-Evo2/MC4 or MC4 Compatible



■ Electrical Characteristics

POWER CLASS			725		730		735		740		745		750		
MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC POWER TOLERANCE +5 W / -0 W															
			NMOT ²		NMOT ²		NMOT ²		NMOT ²		NMOT ²		NMOT ²		
Minimum	Power at MPP ¹	P _{MPP}	[W]	725	555	730	559	735	563	740	566	745	570	750	574
	Short Circuit Current ¹	I _{sc}	[A]	17.64	14.23	17.66	14.25	17.68	14.26	17.70	14.28	17.72	14.30	17.74	14.31
	Open Circuit Voltage ¹	V _{oc}	[V]	50.98	48.96	50.99	48.97	51.00	48.98	51.01	48.99	51.02	49.00	51.03	49.01
	Current at MPP	I _{MPP}	[A]	16.61	13.27	16.67	13.31	16.72	13.35	16.78	13.40	16.84	13.45	16.89	13.49
	Voltage at MPP	V _{MPP}	[V]	43.66	41.83	43.81	42.00	43.96	42.18	44.11	42.24	44.26	42.38	44.41	42.56
	Efficiency ¹	η	[%]	23.3		23.5		23.7		23.8		24.0		24.1	
Bifaciality of P _{MPP} and I _{sc} 80 % ± 5 % • Bifaciality given for rear side irradiation on top of STC (front side) • According to IEC 60904-1-2															
¹ Measurement tolerances P _{MPP} ±3 %; I _{sc} , V _{oc} ±3% at STC: 1000 W/m ² , ² 800 W/m, NMOT, spectrum AM 1.5															
Bi Facial Output ³			725		730		735		740		745		750		
			+5	[%]	761.3	766.5	771.8	777.0	782.3	787.5					
			+10	[%]	797.5	803.0	808.5	814.0	819.5	825.0					
			+15	[%]	833.8	839.5	845.3	851.0	856.8	862.5					
			+20	[%]	870.0	876.0	882.0	888.0	894.0	900.0					
			+25	[%]	906.3	912.5	918.8	925.0	931.3	937.5					
			+30	[%]	942.5	949.0	955.5	962.0	968.5	975.0					
Power with Backside Gain															

³ Bifaciality Factor > 90% - Back-side power gain depends upon the specific project albedo - Efficiency is according to the surface of the module



*Standard terms of guarantee for the 5 PV companies with the highest production capacity in 2021 (February 2021)

Typical module performance under low irradiance conditions in comparison to STC conditions (25°C, 1000 W/m²)

TEMPERATURE COEFFICIENTS				PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE			
Temperature Coefficient of I _{sc}	α	[%/K]	+0.04	Temperature Coefficient of V _{oc}	β	[%/K]	-0.24
Temperature Coefficient of P _{MPP}	γ	[%/K]	-0.30	Nominal Module Operating Temperature	NMOT	[°F]	43±3 °C (109 ± 5.4)

■ Properties for System Design

Maximum System Voltage	V _{max}	[V]	1500	PV module classification	Class II
Maximum Series Fuse Rating	[A DC]	35	Fire Rating based on ANSI / UL 61730	TYPE 29 ⁴	
Max. Push Load ⁴ , Test / Design	[lbs / ft ²]	113 (5400 Pa) / 75 (3600 Pa)	Permitted Module Temperature on Continuous Duty	-40 °C up to +85 °C (-40 °F up to +185 °F)	
Max. Pull Load ⁴ , Test / Design	[lbs / ft ²]	78 (3750 Pa) / 52 (2500 Pa)			

⁴ See Installation Manual for instructions

⁵ New Type is similar to Type 3 but with metallic frame



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
© 2021 SUNPLUS OPTIMUM LTD All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

817-0000000-10 Max. 725, 730, 735, 740, 745, 750, 2024-07_Rev03

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

Caratteristiche dei pannelli

Dimensioni: 2384 X 1303 X 35 mm

Peso: 39.0 kg

Tipo celle: monocristallino Numero di celle: 156

Strutture di sostegno pannelli fotovoltaici

Il generatore agrivoltaico è installato su una struttura mobile configurato con un sistema ad inseguitore solare monoassiale est-ovest bifacciali. La tecnologia presa come riferimento è il sistema di tracker Convert Italia modello TRJ Bifacial.

Mentre i pannelli bifacciali possono catturare fino al 10% in più di luce rispetto ai pannelli monofacciali, i tracker monoasse tipicamente aggiungono il 25% a quel guadagno bifacciale, risultando in un guadagno approssimativamente stimato del 35% dalle due tecnologie combinate, rispetto alle installazioni fisse che utilizzano pannelli monofacciali.

Il sistema è di semplice installazione e manutenzione. L'inseguitore monoassiale utilizza dispositivi elettromeccanici per seguire il movimento del sole per tutto il giorno da est a ovest sull'asse di rotazione orizzontale Nord – Sud.

La struttura del tracker è completamente adattabile alla dimensione dei pannelli fotovoltaici, alla condizione geotecnica del sito specifico e alla quantità di spazio di installazione disponibile.

L'ancoraggio al terreno avviene attraverso profilati in acciaio infissi nel terreno a profondità variabile in funzione della natura geotecnica dello stesso e delle caratteristiche anemometriche del sito di installazione.

Il sistema ad infissione per il fissaggio dei moduli fotovoltaici elimina la necessità di fare scavi e gettate di cemento. Il sistema non altera il terreno e dopo la dismissione dell'impianto si ripristinerà il sito alle condizioni precedenti.

I sistemi di ancoraggio possono essere assemblati e disassemblati agevolmente senza alcun problema e consentono l'abbattimento dei costi per le attività di cantiere soprattutto per la rapidità di posa in opera dei pali e l'assenza dei tempi di attesa per la maturazione del calcestruzzo. I vantaggi di tale sistema di ancoraggio sono: – rapidità di installazione – assenza di manutenzione – assenza di scavi e di gettate di

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.	Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.	
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

cemento – stabilità per compressione del terreno – stabilità ad azioni di vento e pioggia – fissaggio di tipo telescopico – possibilità di sottoporre subito a sollecitazioni. Si elencano inoltre i fattori di compatibilità ambientale: – assenza di impregnazione del terreno – rinaturalizzazione del terreno rapida ed economica – disassemblaggio rapido dell'impianto.

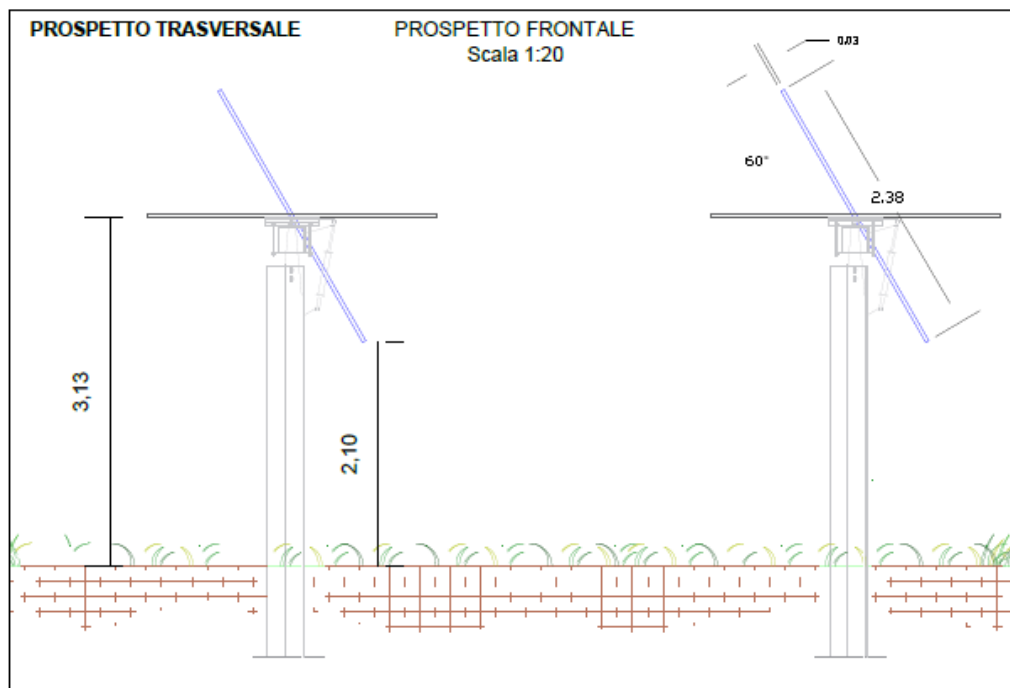


Figura 2-1: Strutture tipo



Figura 2-2: Tipo di struttura

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

Inverter

SUN2000-150K-MG0 Smart PV Controller



Protezione da archi elettrici



Protezione da guasti
DC verso terra



Ripristino PID



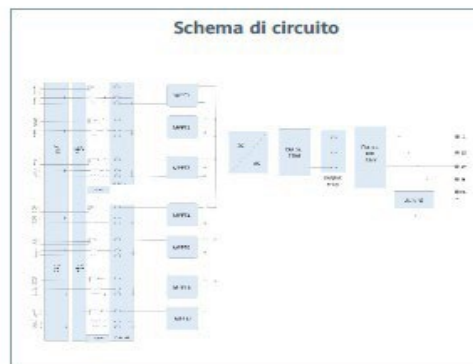
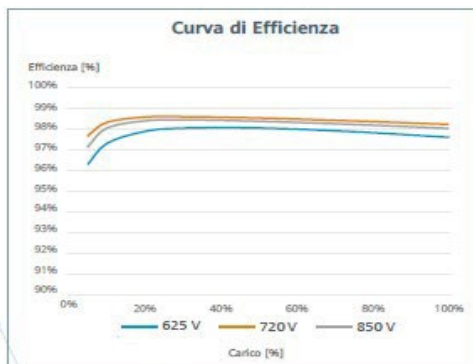
Smart String Level
Disconnect (SSLD)



Smart Connector
Temperature Detector (SCTD)



Comunicazione in PLC



SOLAR.HUAWEI.COM/

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

SUN2000-150K-MG0 Specifiche Tecniche

Specifiche Tecniche		SUN2000-150K-MG0
Efficienza		
Efficienza massima	98.6% @400V, 98.8% @480V	
Efficienza ponderata	98.4%	
Input		
Tensione massima ¹	1100 V	
Massima corrente per MPPT	48 A	
Massima corrente per singolo ingresso stringa	23 A	
Massima corrente di corto circuito per MPPT	66 A	
Tensione minima di avvio	200 V	
Intervallo di tensione di lavoro dell'MPPT ²	200 V - 1,000 V	
Numero di MPPT	7	
Ingressi stringa per MPPT	3	
Output		
Potenza attiva nominale	150000 W	
Potenza apparente massima	165000 VA	
Potenza attiva massima (cosφ=1)	165000 W	
Tensione nominale	380 V/400 V/480Vac	
Frequenza di rete nominale	50 Hz / 60 Hz	
Corrente nominale	227.9 A @380 V, 216.5 A @400 V, 180.4A @480Vac	
Corrente massima	253.2 A @380 V, 240.5 A @400 V, 200.5A @480Vac	
Fattore di potenza	0.8 in anticipo... 0.8 in ritardo	
Distorsione armonica totale (THD)	<1%	
Protezioni		
Protezione anti-isola	SI	
Protezione da sovracorrente AC	SI	
Protezione da polarità inversa DC	SI	
Monitoraggio guasti a livello di stringa	SI	
DC Surge	Tipo II	
AC Surge	Tipo II	
Controllo resistenza di isolamento DC	SI	
Controllo corrente residua	SI	
Smart String Level Disconnecter (SSLD)	SI	
AFCI	SI	
Smart Connector Temperature Detection (SCTD)	SI	
Ripristino PID	SI	
Protezione da guasti FV-terra	SI	
Comunicazione		
Display	Indicatori LED; adattatore WLAN + App FusionSolar	
RS485	SI	
USB	SI	
Smart Dongle	Smart Dongle - 4G / WLAN (Opzionale)	
Monitoring BUS (MBUS)	SI (Trasformatore di isolamento richiesto)	
Generali		
Dimensioni (W x H x D)	1,000 x 710 x 395 mm	
Peso	≤ 99 kg	
Intervallo di temperatura operativa	-25°C - 60°C	
Raffreddamento	Smart Air Cooling	
Altitudine operativa massima	4000 m	
Umidità relativa	0 - 100%	
Connettori DC	Amphenol HH4	
Connettore AC	Connettore waterproof + terminale OT/D	
Grado di protezione	IP66	
Topologia	Senza trasformatore	
Standard (ulteriori disponibili su richiesta)		
Certificazioni	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683	
Codici di rete	CEI 0-16, CEI 0-21, VDE-AR-N4105, EN 50549-1, EN 50549-2, RD 661, RD 1699, C10/11	

* 1 Un valore di tensione in ingresso maggiore può danneggiare irreparabilmente l'inverter.

* 2 Qualsiasi valore di tensione fuori da questo intervallo può risultare in un funzionamento non corretto dell'inverter.

SOLAR.HUAWEI.COM/

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

Power station

Le Power Station SMA SUNNY CENTRAL 4000 sono dispositivi concepiti esclusivamente per la conversione di energia fotovoltaica in energia elettrica compatibile con la rete MT del paese in cui è commercializzato. Sono inoltre provvisti di adeguate protezioni elettriche e meccaniche.



Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

Technical Data	Sunny Central 4000 UP	Sunny Central 4200 UP
DC side		
MPP voltage range V _{DC} [at 25 °C / at 50 °C]	880 to 1325 V / 1050 V	921 to 1325 V / 1050 V
Min. DC voltage V _{DC, min} / Start voltage V _{DC, Start}	849 V / 1030 V	891 V / 1071 V
Max. DC voltage V _{DC, max}	1500 V	1500 V
Max. DC current I _{DC, max}	4750 A	4750 A
Max. short-circuit current I _{DC, SC}	8400 A	8400 A
Number of DC inputs	24 double pole fused / 32 single pole fused	
Number of DC inputs with optional DC coupled storage	18 double pole fused (36 single pole fused) for PV and 6 double pole fused for batteries	
Max. number of DC cables per DC input (for each polarity)	2 x 800 kcmil, 2 x 400 mm²	
Integrated zone monitoring	○	
Available PV fuse sizes (per input)	200 A, 250 A, 315 A, 350 A, 400 A, 450 A, 500 A, 630 A	
Available battery fuse size (per input)	750 A	
AC side		
Nominal AC power at cos φ = 1 [at 35 °C / at 50 °C]	4000 kVA ¹²⁾ / 3600 kVA	4200 kVA ¹²⁾ / 3780 kVA
Nominal AC active power at cos φ =0.8 [at 35 °C / at 50 °C]	3200 kW ¹²⁾ / 2880 kW	3360 kW ¹²⁾ / 3024 kW
Nominal AC current I _{AC, nom} [at 35 °C / at 50 °C]	3850 A / 3465 A	3850 A / 3465 A
Max. total harmonic distortion	< 3% at nominal power	
Nominal AC voltage / AC voltage range ¹¹⁾	600 V / 480 V to 720 V	630 V / 504 V to 756 V
AC power frequency / range	50 Hz / 47 Hz to 53 Hz 60 Hz / 57 Hz to 63 Hz	
Min. short-circuit ratio at the AC terminals ⁹⁾	> 2	
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable ^{8) 10)}	1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited	
Efficiency		
Max. efficiency ²⁾ / European efficiency ²⁾ / CEC efficiency ³⁾	98.8% / 98.6% / 98.5%	98.8% / 98.7% / 98.5%
Protective Devices		
Input-side disconnection point	DC load break switch	
Output-side disconnection point	AC circuit breaker	
DC overvoltage protection	Surge arrester, type I	
AC overvoltage protection (optional)	Surge arrester, class I	
Lightning protection (according to IEC 62305-1)	Lightning Protection Level III	
Remote ground-fault monitoring	○	
Insulation monitoring / Float Controller preparation	● / ○	
Degree of protection: electronics / air duct / connection area (as per IEC 60529)	IP54 / IP34 / IP34	
General Data		
Dimensions [W / H / D]	2815 / 2318 / 1588 mm [110.8 / 91.3 / 62.5 inch]	
Weight	< 3700 kg / < 8158 lb	
Self-consumption (max. ⁴⁾ / partial load ⁵⁾ / average ⁴⁾)	< 8100 W / < 1800 W / < 2000 W	
Self-consumption (standby)	< 370 W	
Internal auxiliary power supply	Integrated 8.4 kVA transformer	
Operating temperature range (optional) ⁶⁾	[-40 °C] -25 °C to 60 °C / [-40 °F] -13 °F to 140 °F	
Sound power LWA with rated power inverter / Inverter + Silencer Kit Noise emission ⁷⁾	93 dB(A) / 87 dB(A)	
Temperature range (standby)	-40 °C to 60 °C / -40 °F to 140 °F	
Temperature range (storage)	-40 °C to 70 °C / -40 °F to 158 °F	
Max. permissible value for relative humidity (condensing / non-condensing)	95% to 100% (2 month/year) / 0% to 95%	
Maximum operating altitude above MSL ⁸⁾ 1000 m / 2000 m ¹¹⁾ / 3000 m ¹¹⁾	● / ○ / ○	● / ○ / -
Fresh air consumption	6500 m³/h	
Features		
DC connection	Terminal lug on each input (without fuse)	
AC connection	With busbar system (three busbars, one per line conductor)	
Communication	Ethernet, Modbus Master, Modbus Slave	
Enclosure / roof color	RAL 9016 / RAL 7004	
Supply for external loads	○ (2.5 kVA)	
Standards and directives complied with	AR-N 4110/20/30, Arrêté du 23/04/08, CE, IEC / EN 62109-1 / -2, IEEE 1547, UL 840 Cat. IV	
EMC standards	IEC / EN 55011, IEC 61000-6-2/-4, FCC Part 15 Class IEC 62920	
Quality standards and directives complied with	VDI/VDE 2862 page 2, DIN EN ISO 9001	
Type designation	SC 4000 UP	SC 4200 UP

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

3. NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Il progetto delle strutture costituenti la centrale in esame è stato elaborato con le prescrizioni della normativa tecnica vigente nel nostro Paese, e con le indicazioni contenute in pubblicazioni specializzate. Si richiamano, in particolare, i seguenti testi normativi:

- D.M. 17/01/2018 – Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2018);
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;
- O.P.C.M. n. 3431 del 03/05/2005 - Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*;
- D.G.R. n. 260 del 07/03/2005 – *“L.R. 20/00 – O.P.C.M. 3274/03 – Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e relativi adempimenti – Recepimento O.P.C.M. n. 3379/04 – Prolungamento del periodo temporale stabilito con il 7° disposto della deliberazione G.R. n. 153/04”*;
- D.G.R. n. 597 del 27/04/2004 – *“L.R. 20/00 - O.P.C.M. 3274/03 - Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e relativi adempimenti - Recepimento O.P.C.M. n. 3333/04 e conseguente rettifica della deliberazione G.R. n. 153/04”*;
- D.G.R. n. 153 del 02/03/2004 - *L.R. 20/00. O.P.C.M. 3274/03. Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e delle tipologie di edifici ed opere strategici e rilevanti. Approvazione del programma temporale e delle indicazioni per le verifiche tecniche da effettuarsi sugli stessi*;
- D.M. 16/01/1996 - *Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi, e relativa Circolare Ministeriale n. 156 del 04/07/1996*;
- Lg. n. 64 del 02/02/1974 - *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*;
- Lg. n. 1086 del 05/11/1971 - *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica*;
- Allegato alla Lg. n. 1684 del 25/11/1962 - *Elenco dei Comuni e frazioni e parti di Comune nei quali è obbligatoria l'osservanza delle norme tecniche di edilizia per le località sismiche della 1ª e della 2ª categoria*;

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

4. NORMATIVA E ZONIZZAZIONE SISMICA

Sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 (suppl.) del 08.05.2003 è stata pubblicata l'O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica". Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

Zona 1 - E' la zona più pericolosa. La probabilità che capiti un forte terremoto è alta
Zona 2 - In questa zona forti terremoti sono possibili
Zona 3 - In questa zona i forti terremoti sono meno probabili rispetto alla zona 1 e 2
Zona 4 - E' la zona meno pericolosa: la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa

La citata O.P.C.M ha, fra l'altro, sancito che la potestà regionale di individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche ricadenti nel territorio regionale doveva essere esercitata sulla base dei criteri approvati e contenuti nell'Allegato 1 all'O.P.C.M..

La regione Emilia-Romagna, con delibera della Giunta n. 146 del 6 febbraio 2023, ha aggiornato la classificazione sismica per integrare i cinque nuovi comuni acquisiti dopo il 2018.

La Delibera 146/2023, in particolare, ha approvato l'aggiornamento della classificazione sismica dell'Emilia-Romagna, che include sia l'elenco dei Comuni con la relativa classificazione sia la mappa di sintesi.

L'aggiornamento si è reso necessario in quanto, dopo la riclassificazione del 2018, la Regione ha acquisto cinque nuovi Comuni, di cui 3 nati da fusioni nelle province di Ferrara e Parma e 2 Comuni (Montecopiolo e Sassofeltrio) passati dalle Marche (Provincia di Pesaro Urbino) all'Emilia-Romagna (Provincia di Rimini). La classificazione sismica costituisce un riferimento tecnico-amministrativo per graduare l'attività di controllo dei progetti e la priorità delle azioni e misure di prevenzione e mitigazione del rischio sismico. Inoltre, come riportato nella new, non interferisce con la determinazione dell'azione sismica, necessaria per la progettazione e la realizzazione degli interventi di prevenzione del rischio sismico. L'azione sismica è definita per ogni sito dai parametri di pericolosità sismica previsti dalle norme tecniche per le costruzioni NTC 2018.

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

- provvedere alla prima, ancorché temporanea, riclassificazione sismica del territorio regionale pugliese, così come individuata nell'Allegato 1 alla presente deliberazione per farne parte integrante, riservandosi di provvedere definitivamente alla predetta riclassificazione sismica, successivamente all'intervenuta elaborazione della nuova mappa nazionale del rischio sismico a cura della competente Amministrazione statale;
- stabilire che, sino ad eventuale diversa determinazione, non sussiste l'obbligo della progettazione antisismica per gli edifici e le opere da realizzare sul territorio regionale pugliese, classificato in zona sismica 4;
- di introdurre l'obbligo della progettazione antisismica, in conformità alle norme tecniche previste per la zona sismica 3, per i nuovi edifici ed opere infrastrutturali, individuati quali strategici e rilevanti ai fini della protezione civile e dell'eventuale collasso degli stessi, da realizzare nel territorio regionale pugliese classificato in zona sismica 4.

Le novità introdotte con l'ordinanza sono state pienamente recepite e ulteriormente affinate, grazie anche agli studi svolti dai centri di competenza (Ingv, Reluis, Eucentre). Un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale (Gruppo di Lavoro, 2004), previsto dall'O.P.C.M. n. 3274/03, è stato adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006.

Il nuovo studio di pericolosità, allegato all'OPCM n. 3519/2006, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	$a_g > 0,25$
2	$0,15 < a_g \leq 0,25$
3	$0,05 < a_g \leq 0,15$
4	$a_g \leq 0,05$

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

norme alle caratteristiche di sismicità.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento “propria” individuata sulla base delle coordinate geografiche dell’area di progetto e in funzione della vita nominale dell’opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

L'entrata in vigore della revisione della norma NTC2008 nel 2018 con il Decreto 17 gennaio 2018, segna inoltre il definitivo abbandono della metodologia delle Tensioni Ammissibili a favore del metodo semiprobabilistico agli Stati Limite, eliminando definitivamente i riferimenti alle zone sismiche.

Si riportano di seguito le mappe di pericolosità sismica ufficiali.

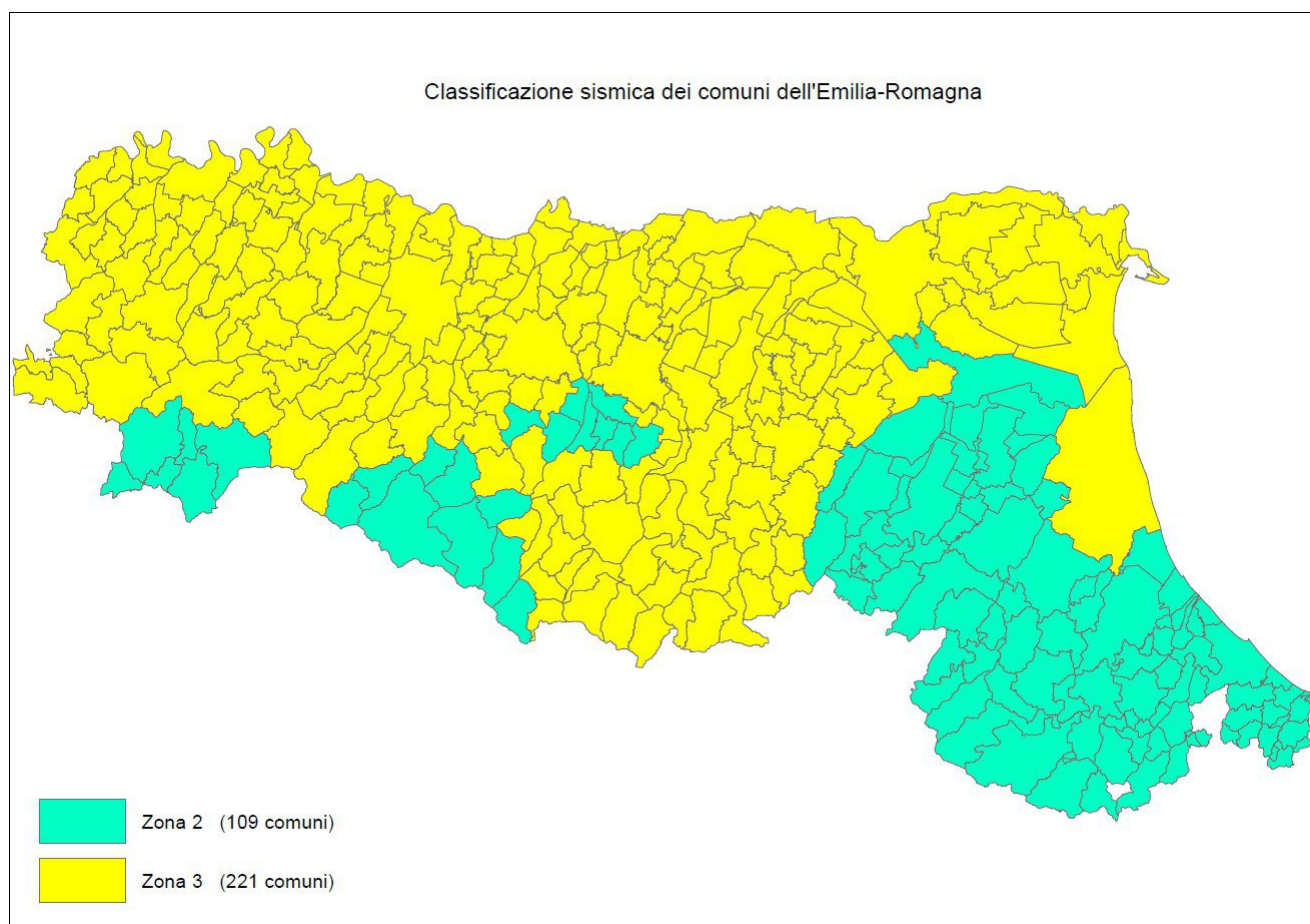


Figura 7: Mappa di pericolosità sismica

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

5. CALCOLI PRELIMINARI - ANALISI DEI CARICHI - AZIONI SULLE STRUTTURE

5.1. Azione sismica

Per l'azione sismica si veda il precedente capitolo 4.

5.2. Azione del vento

L'azione del vento è calcolata in conformità a quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni [cap. 3.3]. In particolare è stata valutata l'entità dell'azione del vento gravante sulle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici, nella ipotesi di struttura isolata: **Zona 2** [Emilia Romagna]



Classe di rugosità del terreno D [Aree prive di ostacoli]

Nelle fasce entro i 40km dalla costa delle zone 1,2,3,4,5 e 6 la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

a_s (altitudine sul livello del mare della costruzione):

Distanza dalla costa

T_R (Tempo di ritorno):

Categoria di esposizione

40	[m]
9	[km]
50	[anni]
II	

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.	Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	Revisione: 00
Data: Giugno 2026	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture Cod. elab: PR04

Calcolo della velocità di riferimento del vento

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s	C_a
3	27	500	0,37	1,000

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

$c_a = 1$ per $a_s \leq a_0$
 $c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m

v_b (velocità base di riferimento) 27,00 m/s

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

Cr coefficiente di ritorno 1,00
 v_r (velocità di riferimento) 27,02 m/s

Pressione cinetica di riferimento

q_r (pressione cinetica di riferimento [N/mq])

$$q_r = 1/2 \cdot \rho \cdot v_r^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3)$$

Pressione cinetica di riferimento q_r 456,29 [N/m²]

Calcolo dei coefficienti Coefficiente dinamico $c_d=1,00$

Coefficiente topografico $c_t=1,00$ Coefficiente di esposizione

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

k_r	z_0 [m]	$z_{\min}$ [m]
0,19	0,05	4,00

Coefficiente di esposizione minimo	$c_{e,\min}$	1,80	$z < 4,00$
Coefficiente di esposizione alla gronda	$c_{e,\text{gronda}}$	1,80	$z = 3,00$
Coefficiente di esposizione al colmo	$c_{e,\text{colmo}}$	1,80	$z = 3,00$

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

Coefficiente di forma

(1) parete sopravento	c_p
	0,00
(2) copertura sopravento	c_p
	2,18
(3) copertura sottovento	c_p
	0,00
(4) parete sottovento	c_p
	0,00

Calcolo della pressione del vento

Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

Valori massimi della pressione per ogni elemento

p (pressione del vento) = $q_r \cdot c_d \cdot c_t \cdot c_e \cdot c_p$

c_d (coefficiente dinamico) c_t (coefficiente topografico) c_e (coefficiente di esposizione)

c_p (coefficiente di forma)

	p [kN/m ²]	c_d	c_t	c_e	c_p	P [kN/m ²]
(1) par. sopravent.	0,456	1,00	1,00	1,801	0,00	0,00
(2) cop. sopravent.	0,456	1,00	1,00	1,801	2,18	1,79
(3) cop. Sottovent.	0,456	1,00	1,00	1,801	0,00	0,00
(4) par. sottovent.	0,456	1,00	1,00	1,801	0,00	0,00

Pressione del vento in direzione tangenziale q_{tan} 8,22 [N/m²] **Pressione del vento in direzione ortogonale q_{ort} $\pm 1,79$ [kN/m²]**

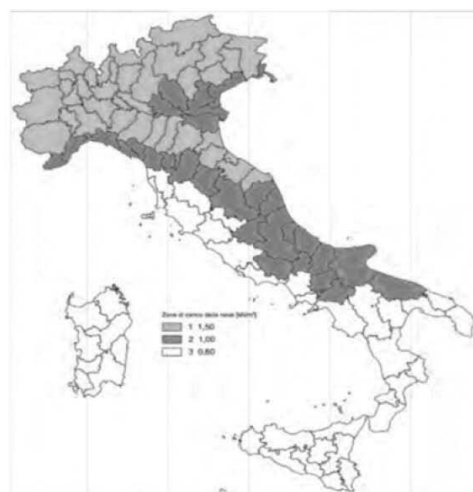
5.3. Azione della neve

L'azione della neve è calcolata in conformità a quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni [cap. 3.4].

Definizione dei dati: Comune di Ferrara, zona II, 7 m s.l.m..

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.	Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	Revisione: 00
Data: Giugno 2026	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture Cod. elab: PR04

Zona II Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona	$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2$ $a_s > 200 \text{ m}$
---	---

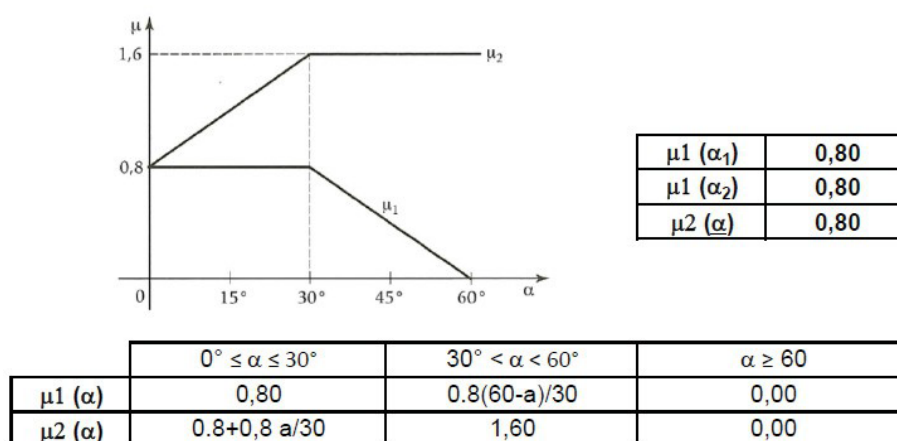


Calcolo del carico neve al suolo: $q_{sk} = 1,00 \text{ [KN/m}^2\text{]}$

Calcolo dei coefficienti

Calcolo dei coefficienti Classe di topografia [normale] $c_e=1,00$ Coefficiente termico $c_t=1,00$

Coefficiente di forma



Calcolo del carico neve sulle strutture fotovoltaiche: $q_s = P_1 q_{sk} c_e c_t = 0,48 \text{ [KN/m}^2\text{]}$

5.4. Carichi variabili

Gli orizzontamenti delle cabine potranno presentare, in funzione delle tipologie di destinazioni

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

d'uso, i seguenti carichi variabili:

$$\left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

B1. Uffici non aperti al pubblico: $q_k = 2,00$

$$\left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

H1. Coperture e sottotetti accessibili per la sola manutenzione: $q_k = 0,50$

5.5. Carichi permanenti strutturali (pesi propri) e non strutturali

I sovraccarichi permanenti adottati sono i seguenti:

- solai di copertura piani non praticabili: $g = 1,5kN/m^2$;
- solai intermedi praticabili: $g = 2,5 kN/m^2$

Le murature e i parapetti portati genereranno i seguenti sovraccarichi sulle strutture portanti: muratura esterna di tamponamento in laterizio forato ($s=30$ cm): $460 daN/m^2$

5.6. Caratteristiche del terreno di fondazione

Il terreno di fondazione è caratterizzato da uno strato superficiale di terreno vegetale, al di sotto del quale affiorano sabbie da poco a molto addensate con intercalazioni conglomeratiche (cfr. *PR03 Relazione geologica e geotecnica* allegata), caratterizzato da una V_{seq} media superiore a 360 m/s rientrante nella classificazione delle NTC 2018 nella **CATEGORIA "B"**, che, in base alla nuova definizione fornita dal D.M. del 17 gennaio 2018, rientra nella classificazione di "Rocce tenere o depositi di terreni a grana grossa fortemente addensati o a grana fina fortemente consistenti", caratterizzati da valori di V_{s30} compreso tra 360 m/s e 800 m/s..".

Pertanto, è stata ipotizzata, in via del tutto cautelativa, la seguente tipologia di terreno di fondazione, i cui parametri elasto-meccanici sono stati desunti dall'elaborato *PR03 Relazione geologica e geotecnica*.

I parametri elasto-dinamici sono stati ottenuti dall'elaborazione dei dati sismici per lo stendimento eseguito; tali parametri sono da intendersi come valori medi del sismo-strato di riferimento ed è opportuno precisare che in presenza di un intervallo di variazione dei valori delle V_p e delle V_s si sono scelti quei valori che permettono di operare in sicurezza, ossia, si è scelto di riportare quei valori del terreno che siano cautelativi per gli obiettivi prefissati.

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

	Profondità [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Angolo di attrito (φ)	Mod. di Poisson	Mod. di Bulk [MPa]	Mod. di Young [MPa]	Mod. di shear [MPa]
R1	≈ 0,5/1	330-500	100-140	---	0,42	130	80	β0
R2	≈ 1/3	800-900	150-400	28	0,39	1100	700	270
R3	≈ 2/4	1000-1100	400-450	30	0,37	1200	900	340
R4	---	1300-1400	500-550	32	0,36	2100	1700	600

Vista la caratterizzazione geologica del sito e vista la successione stratigrafica determinata attraverso le indagini geognostiche ed i risultati della modellazione strutturale, per l'intervento di progetto di realizzazione di strutture fotovoltaiche infisse, della tipologia a tracker, si prevedono fondazioni profonde costituite da pali metallici direttamente infissi nel terreno.

Alla base di ciascuno dei telai tridimensionali in acciaio, tracker fotovoltaici, è prevista la realizzazione di 2 pali infissi, in estremità, per lo scarico degli sforzi al suolo. Dallo studio del modello strutturale si sono ricavate le massime sollecitazioni sulle fondazioni per il loro dimensionamento.

Per la determinazione delle azioni agenti sul palo, e la determinazione della resistenza Rd viene utilizzato l'Approccio 2 (A1 + M1 + R3).

Per le platee di fondazione, riguardanti le cabine elettriche e i fabbricati, si prevede una tipologia di fondazione superficiale estesa, a platea. Per il calcolo della portanza di tali fondazioni, è stata utilizzata la seguente formula di Terzaghi:

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

dove:

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cdot \cos^2(45 + \phi/2)}$$

$$a = e^{(0,75 \cdot \pi - \phi/2) \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

Per le cabine elettriche, applicando la suddetta formula, si ottiene in media una resistenza ultima pari a

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

circa **225,0 kN/m²**.

Pertanto, imponendo un coefficiente di sicurezza pari a 3, in via del tutto cautelativa, è stata assunta una tensione ammissibile massima del terreno di fondazione pari a circa:

$q_{amm.} = 75,0 \text{ kN/m}^2$

Di seguito si riportano le azioni massime provenienti dalla modellazione strutturale, le verifiche di resistenza della portanza (GEO) dei pali in termini di compressione e trazione per carichi assiali verticali e le verifiche di resistenza (STRU) allo SLU delle sezioni.

Le azioni che producono le massime sollecitazioni sulle fondazioni sono quelle provenienti dalle combinazioni sismiche e vengono ricavate dalle reazioni vincolari del modello di calcolo.

In particolare visto il sistema fondale adottato, le azioni sismiche mandano alternativamente in compressione e trazione ciascuna delle coppie di pali che costituiscono la fondazione di ogni telaio.

Verifiche di portanza del palo in compressione $R_{d,c}$ ed in trazione $R_{d,t}$

Il calcolo della portanza R_d del sistema terreno più palo di fondazione avviene tramite le indicazioni di paragrafi §6.2.4.1.2 e §6.4.3.1 delle NTC 2018. Il calcolo avviene tramite l'Approccio 2.

Portata alla base P_b per terreni coesivi in condizioni non drenate $P_b = \sigma'_v + 9 \cdot C_u$

dove: σ'_v = tensione litostatica terreno alla base C_u = coesione non drenata

Ovviamente tale contributo è nullo in caso di palo in trazione.

Portata laterale P_l in terreni coesivi

è data da: $P_l = \alpha \cdot C_u \cdot S_l$

dove:

α = coefficiente adimensionale di portanza

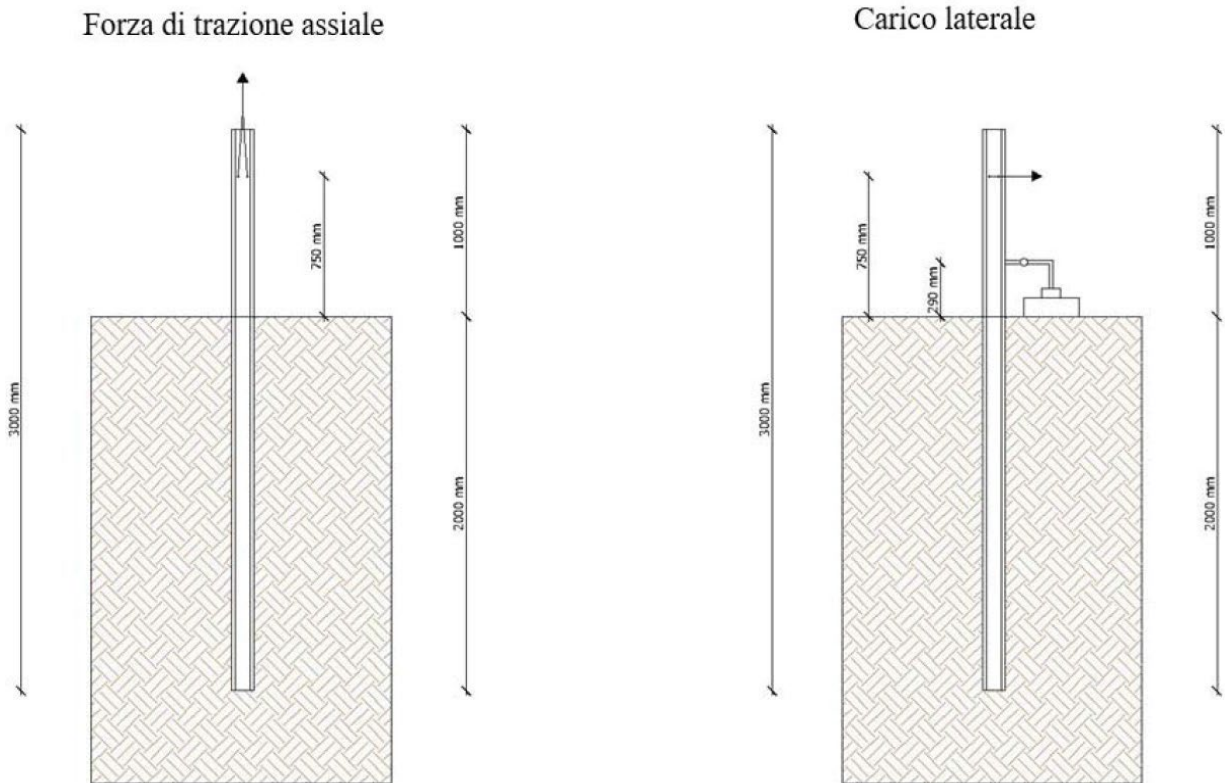
C_u = coesione non drenata

S_l = superficie laterale del palo

In fase esecutiva si confronteranno i valori teorici di progetto, con i risultati delle prove di pull-out, di estrazione dei pali infissi, per determinare la reale portanza laterale dei profili, valutati nelle varie zone

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

del campo in costruzione.



Le prove comprenderanno la trazione assiale e il carico laterale dei pali “prova” infissi direttamente nel terreno. I pali d’acciaio saranno dello stesso tipo di quelli che verranno utilizzati per la costruzione dell’impianto agrivoltaico. Attraverso la misurazione delle deformazioni assiali e laterali dei pali, soggetti a tensione assiale e carico laterale, si determinano i valori utili per la progettazione esecutiva della struttura di supporto dell’impianto agrivoltaico.

5.7. *Qualità dei materiali*

5.7.1. *Strutture metalliche portamoduli*

Le strutture portamoduli, saranno metalliche, monopalo, costituite da telai bidirezionali, del tipo tracker.

Acciaio per carpenteria pesante

Per le strutture metalliche si dovranno utilizzare acciai conformi alle norme armonizzate UNI EN 10025 (per i laminati), UNI EN 10210 (per i tubi senza saldatura) e UNI EN 10219-1 (per i tubi saldati), recanti la Marcatura CE, cui si applica il sistema di attestazione della conformità 2+, e per i quali si

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.	
Progetto: Definitivo		Revisione: 00	
Data: Giugno 2026	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture		Cod. elab: PR04

rimanda a quanto specificato al punto A del § 11.1.

A vantaggio di sicurezza, per i valori delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} da utilizzare nei calcoli, si assumono i valori nominali $f_y = R_{eH}$ e $f_t = R_m$ riportati nelle relative norme di prodotto.

In sede di progettazione si assumono convenzionalmente i seguenti valori nominali delle proprietà del materiale:

- modulo elastico $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$;
- modulo di elasticità trasversale $G = E / [2 (1 + \nu)] \text{ N/mm}^2$;
- coefficiente di Poisson $\nu = 0,3$;
- coefficiente di espansione termica lineare $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$ (fino a 100°C)
- densità $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Sempre in sede di progettazione, per gli acciai di cui alle norme EN10025, EN10210 ed EN10219-1, si possono assumere nei calcoli i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} riportati di seguito.

Norme e qualità degli acciai con $t \leq 40 \text{ mm}$ (UNI 10025-2)

$f_{yk} (\text{N/mm}^2)$		$f_{tk} (\text{N/mm}^2)$		
S275	275	S235	235	360
			430	

La saldatura degli acciai dovrà avvenire con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la norma UNI EN ISO 4063:2001. È ammesso l'uso di procedimenti diversi purché sostenuti da adeguata documentazione teorica e sperimentale.

I bulloni - conformi per le caratteristiche dimensionali alle norme UNI EN ISO 4016:2002 e UNI 5592:1968 devono appartenere alle sotto indicate classi della norma UNI EN ISO 898-1:2001, associate nel modo indicato nella tabella seguente:

Normali			ad alta resistenza		
Vite	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
Dado	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0

Le tensioni di snervamento f_{yb} e di rottura f_{tb} delle viti appartenuti alle classi indicate nella precedente tabella 11.3.XII.a sono riportate nella seguente tabella:

Classe	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$F_{yd} (\text{N/mm}^2)$	24	300	480	649	900
	0				
$F_{tb} (\text{N/mm}^2)$	40	500	600	800	1000
	0				

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

5.7.2. **Strutture di elevazione in c.a.**

Le strutture di elevazione in c.a. sono costituite dai pannelli prefabbricati delle cabine.

Calcestruzzi per strutture di elevazione

I calcestruzzi per le strutture di elevazione saranno confezionati con cemento Portland al calcare classe "32.5 R" al fine di ridurre gli effetti negativi del ritiro e di assicurare, come implicita conseguenza della classe di resistenza imposta da esigenze statiche, un rapporto acqua/cemento assai ridotto, con grande vantaggio per la qualità e durabilità delle opere.

Le prescrizioni relative alla "resistenza", nonché quelle necessarie per garantire la qualità e durabilità dei manufatti, sono le seguenti:

Classe di resistenza: C28/35 con $R_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$, su provini cubici Classe di esposizione: XC3

Max rapporto a/c: 0,55

Tipo e classe di cemento: CEM II/A-L 32,5 R (Portland al calcare / UNI-ENV 197/1) Dosaggio min. di cemento: 320 Kg/m^3

Dimensione max aggregati: 20 mm Classe di consistenza: S4 (UNI EN 206/1)

Inerti costituiti da ghiaia e sabbia pulita costituiti da elementi non gelivi e non friabili e privi di sostanze organiche, limose o argillose, del tipo calcareo-dolomitico nel rispetto dei fusi granulometrici.

Acqua: limpida, priva di sali (in particolare solfati e cloruri) e non aggressiva.

Acciaio per strutture di elevazione

Gli acciai prescritti per la realizzazione delle strutture in elevazione in c.a. hanno le seguenti caratteristiche prestazionali e qualitative:

- acciaio tipo Fe B 450 C controllato in stabilimento;
- nervato ad "alta aderenza" (EN 10080);
- saldabile ($C \leq 0,24\%$; $C_{eq} \leq 0,52\%$).

Per quanto concerne reti e tralicci di acciaio elettrosaldati, si fa espresso riferimento al punto 2.2.5. del D.M. 9 gennaio 96.

5.7.3. **Strutture di fondazione**

Le strutture di fondazione delle cabine elettriche saranno dirette, del tipo a platea.

Proponente: FERRARA SOLAR S.R.L.		Progettazione: SAVESYSTEMS S.R.L.
Progetto: Definitivo	PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR) Relazione preliminare delle strutture	Revisione: 00
Data: Giugno 2026		Cod. elab: PR04

Il piano di imposta delle strutture di fondazione sarà regolarizzato e bonificato preliminarmente mediante uno strato di calcestruzzo magro, spesso almeno 15 cm, di resistenza caratteristica non inferiore a $R_{ck} 15 \text{ N/mm}^2$.

Calcestruzzi ed armature per strutture di fondazione

È stato previsto l'uso di cemento Pozzolanico, tipo CEM IV/B 32,5, allo scopo prevenire i modesti rischi di aggressione da parte dei terreni e delle acque di infiltrazione; la classe 32,5 consente, inoltre, di ridurre gli effetti negativi del ritiro e di assicurare, come implicita conseguenza della classe di resistenza imposta da esigenze statiche, un rapporto acqua/cemento assai ridotto, con grande vantaggio per la qualità e durabilità delle opere.

Le caratteristiche prestazionali meccaniche e qualitative di composizione, prescritte per i calcestruzzi relativi alle fondazioni, sono le seguenti:

Calcestruzzo

Classe di resistenza: C25/30 con $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$, su provini cubici Classe di esposizione: XC2

Max rapporto a/c: 0,60

Tipo e classe di cemento: CEM IV/B 32,5 R (Pozzolanico/UNI-ENV 197/1) Dosaggio min. di cemento: 300 Kg/m³

Dimensione max aggregati: 30 mm

Classe di consistenza: S4 (UNI EN 206/1)

Inerti costituiti da ghiaia e sabbia pulita costituiti da elementi non gelivi e non friabili e privi di sostanze organiche, limose o argillose, del tipo calcareo-dolomitico nel rispetto dei fusi granulometrici.

Acqua: limpida, priva di sali (in particolare solfati e cloruri) e non aggressiva.

Acciaio

Gli acciai prescritti per la realizzazione delle strutture di fondazione in c.a. hanno le seguenti caratteristiche prestazionali e qualitative:

- acciaio tipo Fe B 44 K controllato in stabilimento;
- nervato ad "alta aderenza" (EN 10080);
- saldabile ($C \leq 0.24\%$; $C_{eq} \leq 0.52\%$).