



Ministero dell'Istruzione e del Merito
Unità di missione per il Piano nazionale di ripresa e resilienza



Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU

FUTURA
PNRR ISTRUZIONE

LA SCUOLA
PER L'ITALIA DI DOMANI

Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

ISTITUTO TECNICO AGRARIO STATALE "A. TOSI"
Viale Marconi, 60 - 26845 CODOGNO (LO)
Tel. 0377/32250 e-mail: lota01000l@istruzione.it PEC: lota01000l@pec.istruzione.it
Codice Ipa: istsc_lota01000l Codice Univoco per la Fatturazione Elettronica: UFM60Y C.F.: 82501880155
Sito internet: <https://agrariotosi.edu.it/>

Prot. informatico

Codogno, 29 giugno 2023

CAPITOLATO TECNICO

ALLEGATO ALLA DETERMINA DI AVVIO DEL PROCEDIMENTO PER L'ACQUISTO DI KIT FOTOVOLTAICI INTERNI ED ESTERNI

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)

MISSIONE 4: ISTRUZIONE E RICERCA

COMPONENTE 1 - POTENZIAMENTO DELL'OFFERTA DEI SERVIZI DI ISTRUZIONE: DAGLI ASILI NIDO ALLE UNIVERSITÀ
INVESTIMENTO 3.2 SCUOLA 4.0 "SCUOLE INNOVATIVE, CABLAGGIO, NUOVI AMBIENTI DI APPRENDIMENTO E LABORATORI"

AZIONE 2 – NEXT GENERATION LABS – LABORATORI PER LE PROFESSIONI DIGITALI

TITOLO DEL PROGETTO: "LABORATORIO ENERGETICO INDOOR E OUTDOOR AD ALTA DIGITALIZZAZIONE"

PROGETTO M4C1I3.2-2022-962-P-15319

CUP H74D23000250001 CIG 9933876DCB

Affidamento diretto su MEPA tramite Trattativa Diretta inferiore ai 139.000 euro ai sensi dell'art. 36 comma 2 lettera a) del Dlgs 50/2016 e successive mm.ii. in conformità con il D.I. 129/2018 anche in deroga ai sensi dell'art. 55 comma 1 lettera b)

1. Descrizione dei kit laboratoriali "Fotovoltaico del futuro" interni

- 6x scheda elettronica di acquisizione dati con display integrato basata su piattaforma Arduino con supporto wi-fi integrato e comunicazione RS485. La scheda deve essere predisposta per poter analizzare: corrente e tensione delle differenti celle fotovoltaiche e per effettuare la scansione delle curve IV. La scheda deve anche permettere di leggere la temperatura ambientale, l'irraggiamento solare e la temperatura operativa delle celle fotovoltaiche. Caratteristiche firmware del software della scheda elettronica: il software deve essere in grado di acquisire direttamente e da remoto con interfaccia Modbus su RS485 tutte le grandezze fisiche misurate dalla scheda. Il software deve inoltre essere in grado di effettuare autonomamente l'inseguimento del punto di massima potenza e la scansione della curva IV delle celle fotovoltaiche.

Il software a corredo della scheda deve infine includere la fornitura di librerie per la

comunicazione seriale RS485 in ambiente Labview.

- 6x Simulatore solare con sistema di sicurezza per evitare l'abbagliamento accidentale degli studenti con irraggiamento superiore o uguale a 800 W/m^2 e uniforme su un'area di almeno $200 * 200 \text{ mm}^2$
- 6x Filtri dicroici per selezione spettrale per la reiezione della radiazione infrarossa con cut-off a 750 nm
- 6x Set di celle fotovoltaiche in silicio monocristallino con sensore di temperatura integrato
- 6x Set di celle fotovoltaiche in silicio policristallino
- 6x Set di celle fotovoltaiche a film sottile
- 6x Set di celle fotovoltaiche multi-giunzione per applicazioni aerospaziali con sensore di temperatura integrato
- 6x Modulo fotovoltaico componibile per sperimentazione con collegamento in serie e parallelo
- 6x Tappetino riscaldante con controllo elettronico per sperimentare i coefficienti termici α , β e γ delle celle fotovoltaiche
- 6x Cella in silicio monocristallino con sensore di temperatura integrato
- 12x Multimetro digitale
- 6x Radiometro per misura dell'intensità luminosa con range di misura $0 - 1000 \text{ W/m}^2$
- 6x Valigetta in alluminio per alloggiare l'intera dotazione del kit sperimenta
- 1x manuale in formato cartaceo ed elettronico dei principali esperimenti che si possono condurre con i kit sperimentali proposti

2. Descrizione dei kit laboratoriali “Fotovoltaico del futuro” esterni

2.1 Kit fotovoltaico esterno con moduli fotovoltaici di prima generazione

Il progetto prevede la realizzazione di un laboratorio fotovoltaico outdoor con installazione fissa e moduli fotovoltaici di prima generazione in silicio cristallino. L'impianto sperimentale fotovoltaico con moduli in silicio che verrà fornito e messo in opera nell'ambito del progetto dovrà presentare le seguenti caratteristiche tecniche:

Caratteristiche tecniche	Dati
Numero di pannelli fotovoltaici	20
Potenza di picco (P _{MAX})	= 8.000 Wp
Efficienza di modulo	z 18 %
Tensione massima si sistema	1000 V (DC)
Portata fusibile in serie	16 A
Temperatura di esercizio (NOCT)	46 °C
Range temperature di esercizio	- 40°C +80°C

Le grandezze elettriche che dovranno essere misurabili dal sistema di monitoraggio sono:

- tensione a *circuito aperto* V_{oc} : è la tensione che si misura in STC ai morsetti del modulo fotovoltaico senza che esso sia connesso ad alcun carico.
- Tensione *al punto di massima potenza* V_{mp} : è la tensione misurata in STC quando il pannello è connesso ad un carico e si trova in condizioni di trasferire la sua massima potenza.
- Corrente *di corto circuito* I_{sc} : è la corrente elettrica che misureremmo in STC sul cavo se cortocircuitassimo i morsetti del pannello.
- **Corrente al punto eli massima potenza I_{mp}** : e la corrente misurata in STC quando un pannello è connesso ad un carico in condizione di trasferimento di massima potenza.
- **Potenza di picco o nominale P_{max} o P_{nom}** : è la potenza del pannello in STC e trasferimento di massima potenza.
- Efficienza *modulo*: semplicemente è il rapporto tra la potenza e la superficie del modulo espresso in percentuale.

2.2 Kit fotovoltaico esterno ad inseguimento mono-assiale

Fornitura e messa in opera di un kit fotovoltaico costituito da pannelli fotovoltaici al silicio e da un sistema di inseguimento mono-assiale per la movimentazione in ambiente esterno. È inoltre prevista la fornitura di tutti gli strumenti necessari per la raccolta, il trasferimento e l'analisi dei dati come indicato nel punto 2.1.

Le caratteristiche del sistema di inseguimento solare sono le seguenti:

Caratteristiche tecniche	Dati
Numero di pannelli fotovoltaici	24
Potenza di picco (P _{MAX})	= 9.000 Wp
Tipologia di inseguimento	Mono-assiale
Range di rotazione zenitale	Da — 45° a 45°

N. di MPPT indipendenti/ N. stringhe per MPPT	2/2 o più
Tensione massima di ingresso	>=1000V
Tensione di attivazione	<300V
Intervallo MPPT di tensione DC	180V-960V
Uscita AC (lato rete)	
Caratteristiche tecniche	Dati
Potenza nominale	20000W
Tipologia connessione/Tensione nominale	Trifase 3/N/PE, 220/380, 230/400
Efficienza	
Caratteristiche tecniche	Dati
Efficienza massima	>96%
Efficienza MPPT	>98%
Massima efficienza di carica/scarica delle batterie (se installate)	>96%
Consumo in stand-by	<30W
Comunicazione	
Caratteristiche tecniche	Dati
Interfacce di comunicazione	RS485, USB , CAN 2.0 (per collegamento con batterie), Bluetooth
Altri ingressi	input digitali (5V TTL) per parzializzazione carico, connessione per sonde di corrente (CT) per la modalità zero immissione in rete
Informazioni generali	
Caratteristiche tecniche	Dati
Grado di protezione ambientale	IP65 o migliore
Raffreddamento	Convezione naturale

2.3 Kit fotovoltaico esterno di terza generazione ad inseguimento biassiale

7

I moduli fotovoltaici a concentrazione (CPV) sono costituiti da tre componenti principali:

- 1) sistema di concentrazione solare (collettore + riflettore);
- 2) celle fotovoltaiche a multigiunzione (MJ);
- 3) sistema di inseguimento solare (tracker solare)

L'innovativo principio di funzionamento dei moduli CPV prevede i seguenti step:

- 1) la luce solare incide sul collettore principale il quale riflette e concentra la radiazione solare sull'elemento riflettore;

- 2) l'elemento riflettore raccoglie il flusso concentrato proveniente dal collettore e lo riflette, rendendo il fascio luminoso uniforme, sulle celle fotovoltaiche a multi giunzione (MJ);
- 3) le celle fotovoltaiche MJ infine convertono la radiazione solare in energia elettrica.

I tre principali vantaggi nei confronti dei sistemi fotovoltaici convenzionali sono:

1) Inseguimento solare: I moduli CPV utilizzano un sistema di inseguimento solare (solar tracking) atto a mantenere l'asse del concentratore ottico sempre (sia nel corso del giorno che nel corso dell'anno) parallelo alla direzione dei raggi del sole in maniera da ridurre le perdite dovute al "fattore coseno" ed ottimizzare lo sfruttamento della radiazione solare in qualsiasi condizione (latitudine, declinazione solare, angolo orario del sole).

Il sistema di puntamento solare garantisce che la superficie del pannello si mantenga sempre perpendicolare ai raggi solari consentendo di ottenere rendimenti energetici dal 25% al 40% superiori rispetto ai sistemi fissi: in particolare nel corso della giornata il guadagno energetico si concentra nelle ore mattutine e serali (vedi Figura 1).

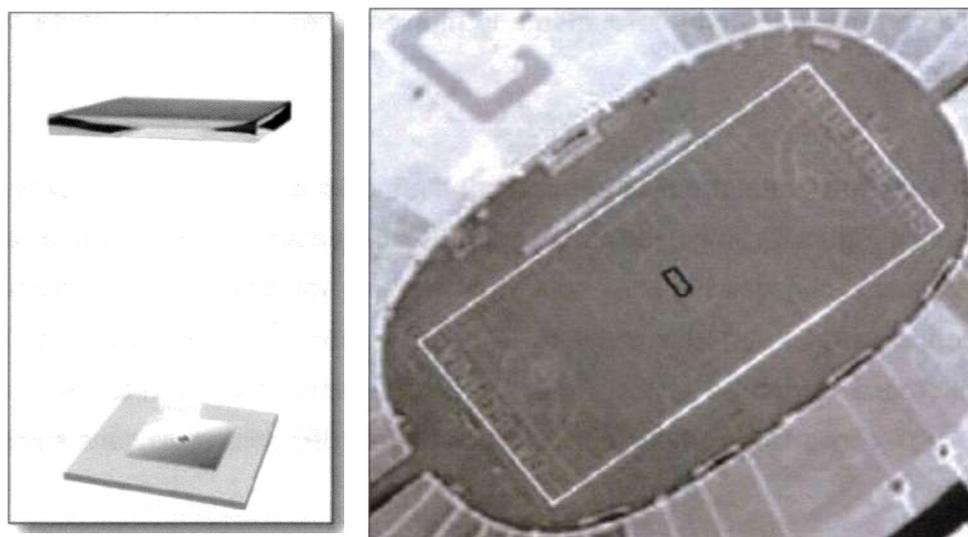


Figura 1. Principio di funzionamento degli innovativi sistemi fotovoltaici a concentrazione (sx) e vantaggi in termini di riduzione della quantità di materiale semiconduttore (dx): un impianto di pannelli piani al silicio con area pari a quella di un campo di calcio (rettangolo bianco) produce la stessa energia di un impianto a concentrazione che utilizzi celle solari ad alta efficienza di area 500 volte inferiore (rettangolo rosso).

2) Concentrazione solare: i moduli CPV utilizzano un sistema di concentrazione ottico che focalizza la radiazione solare su celle solari di area notevolmente ridotta rispetto ai sistemi fotovoltaici tradizionali: questo non implica svantaggi sulla quantità di energia prodotta (la quale non dipende dall'area del materiale semiconduttore, ma dalla quantità di energia solare da cui esso viene investito) e permette di ridurre notevolmente i costi di produzione (il materiale semiconduttore rappresenta infatti la voce di costo più ingente nei sistemi fotovoltaici convenzionali). In Figura è riportato un esempio visivo molto chiaro: un impianto fotovoltaico costituito da pannelli piani al silicio con area pari a quella di un campo di calcio (rettangolo bianco) produce la stessa energia di un sistema fotovoltaico a concentrazione che utilizzi celle solari ad alta efficienza di area 500 volte

inferiore (rettangolo rosso).

Inoltre l'efficienza di conversione delle celle solari aumenta all'aumentare del livello di concentrazione della radiazione incidente poiché la tensione delle celle solari aumenta con il logaritmo della corrente e la corrente aumenta in maniera linearmente dipendente con l'intensità della luce incidente.

3) **Innovative** celle **fotovoltaiche multigiunzione**: Il principio di funzionamento delle celle MJ è il seguente (vedi Figura 2): la giunzione superiore (GaInP) assorbe e converte la radiazione più energetica (parte blu) dello spettro solare; la restante radiazione viene trasmessa alla giunzione intermedia (InGaAs) che converte la parte visibile dello spettro solare; infine, la radiazione infrarossa raggiunge la terza giunzione (Germanio) che, in virtù del suo ridotto bandgap (0.67eV), converte la componente a bassa energia (IR) della radiazione solare.

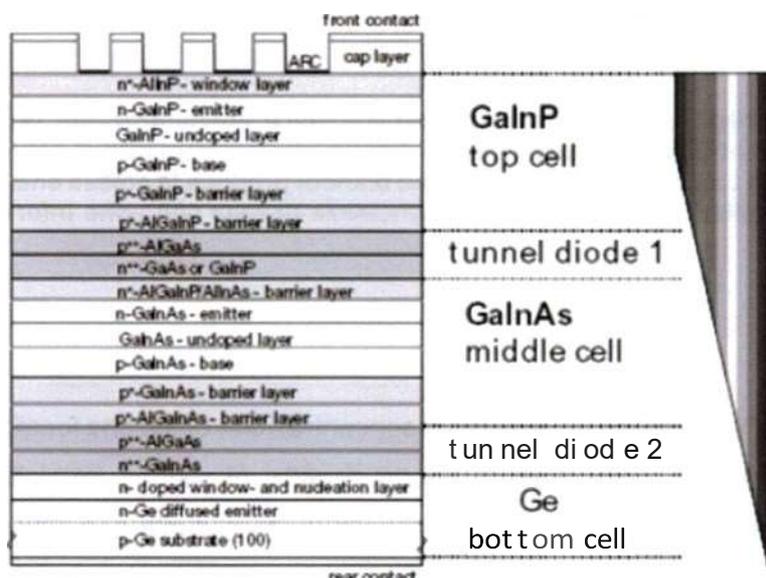


Figura 2: Struttura di una cella solare multi-giunzione. Nella parte destra si evidenzia la raccolta selettiva dello spettro solare da parte di ogni giunzione componente la cella.

In questo modo è possibile ottimizzare la raccolta della luce solare ed ottenere valori di efficienza di conversione molto elevati: le celle MJ presentano infatti i rendimenti di conversione più elevati presenti sul mercato (vedi Figura 4).

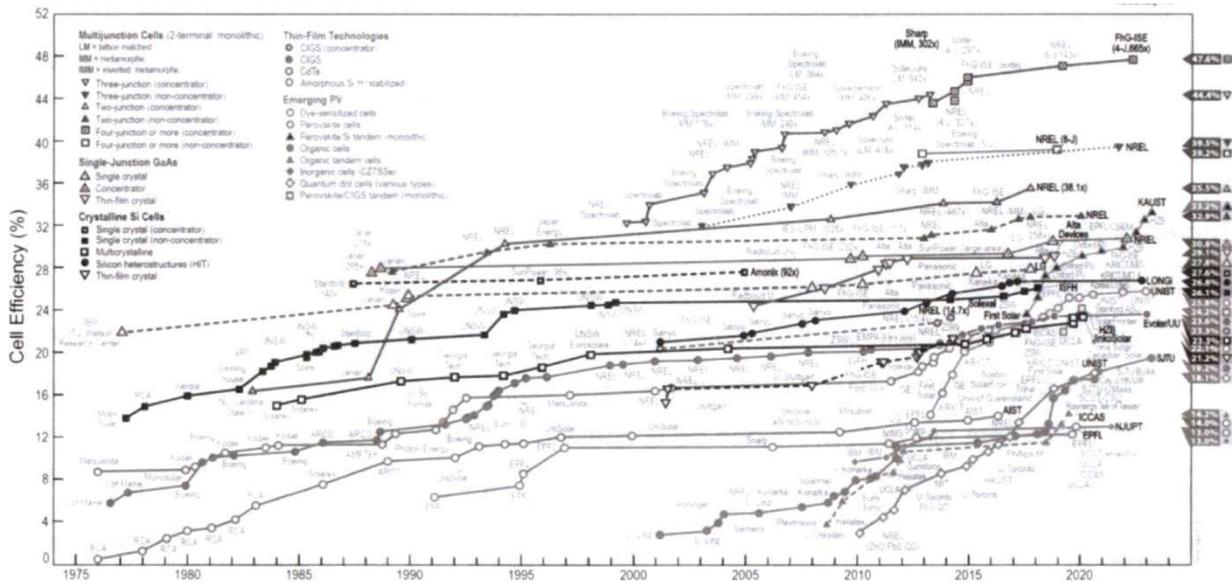


Figura 3: Evoluzione dell'efficienza di conversione fotovoltaica nel corso degli ultimi 40 anni per le varie tipologie di celle solari (viola: celle multi giunzione; blu: celle al silicio; verde: tecnologie a film sottile; rosso: tecnologie emergenti).

Grazie alla loro elevatissima efficienza di conversione le celle MJ sono state ampiamente sfruttate in ambito spaziale. Tuttavia, a causa degli elevati costi che le caratterizzano, esse debbono essere inserite in sistemi ad alta concentrazione (CPV) per essere utilizzate in ambito terrestre.

I vantaggi dei sistemi fotovoltaici CPV

I sistemi fotovoltaici a concentrazione (CPV) sono prodotti di nuova concezione che presenta molteplici punti di forza nei confronti dei sistemi fotovoltaici tradizionali.

	Tecnologia convenzionale	Tecnologia CPV
Efficienza (°/«)	18 - 20	30 - 35
L'elevata efficienza dei sistemi CPV è dovuta allo sfruttamento efficiente dell'intero spettro solare effettuato mediante l'utilizzo innovative celle fotovoltaiche a multigiunzione in grado di convertire le diverse componenti spettrali della radiazione solare con celle solari costituite da semiconduttori differenti ed ottimizzate per la conversione delle specifiche bande ottiche.		
Energy pay back time (EPBT) (anni)	4 - 5	< 1
I moduli CPV sono caratterizzati da un <i>energy pay back time</i> (EPBT), quantità di tempo che il sistema deve lavorare per produrre l'energia spesa per la sua realizzazione, ridotto poiché sono compost prevalentemente da materiale plastico la cui produzione richiede un dispendio energetico ridotto.		
Area pannelli (m ² / kWp)	7 - 8	3.5 - 4
L'area di pannello di un modulo CPV è, a parità di energia prodotta, circa la metà di quella dei sistemi convenzionali a causa della maggior efficienza di conversione.		
Peso (Kg / kWp)	80	12

I moduli CPV sono composti per lo più da materiali plastici (peso specifico $< 1 \text{ g/cm}^3$): questo fa sì che il loro peso sia sensibilmente inferiore rispetto ai sistemi tradizionali. Il minor peso permette una maggior integrabilità architettonica e la riduzione dei costi di installazione (che attualmente incidono per circa il 20% sul costo finale dell'impianto).

Riciclabilità del sistema	Ridotta	Elevata
I moduli CPV, costituiti da una quantità estremamente ridotta di materiale semiconduttore garantiscono un grado di riciclabilità ($> 95\%$) nettamente superiore rispetto ai sistemi tradizionali quali, a causa della massiccia presenza del silicio.		

Tabella 1: Caratteristiche dei sistemi fotovoltaici CPV e dei sistemi fotovoltaici convenzionali al silicio.

L'impianto fotovoltaico di terza generazione che verrà fornito e installato presso l'Istituto Agrario Tosi di Codogno è costituito da un modulo fotovoltaico a concentrazione di terza generazione in grado di concentrare la radiazione solare di circa 600 volte. Il sistema fotovoltaico è movimentato da un sistema di inseguimento solare (tracker solare) bi-assiale guidato da un innovativo sistema di puntamento solare atto a mantenere il modulo fotovoltaico perpendicolare ai raggi solari.

L'impianto sarà fornito completo di smart inverter dedicato alla raccolta dei dati energetici in uscita del sistema e di una completa stazione di monitoraggio atta alla misurazione delle condizioni al contorno quali le misurazioni della componente diretta e della componente globale della radiazione solare. E' inoltre prevista la fornitura di tutti gli strumenti necessari per la raccolta, il trasferimento e l'analisi dei dati.

Elementi del sistema	
Modulo a concentrazione	Modulo fotovoltaico ad altissima concentrazione con ottica Fresnel e celle fotovoltaiche HCPV 3 rd GEN - potenza 440 W
Sistema di inseguimento	Innovativo sistema elettro-meccanico per l'inseguimento bi-assiale del Sole
Sistema di puntamento	Sensore attivo accoppiato al tracker ed indispensabile per un corretto puntamento

Vengono di seguito riportate le principali specifiche tecniche dell'impianto fotovoltaico e dei principali elementi che lo costituiscono (modulo fotovoltaico e sistema di inseguimento solare).

Descrizione delle caratteristiche di sistema	
Dati elettrici	
Potenza nominale di picco	440 Wp
Efficienza nominale delle celle fotovoltaiche	z 40 %

Voltaggio nel punto di massima potenza	145 V
Corrente nel punto di massima potenza	4,0 A
Voltaggio a circuito aperto	180 V
Corrente di corto circuito	4,45 A
Valore NOCT	65 °C
Variatione del voltaggio con la temperatura	0,015
Variatione della corrente con la temperatura	- 0,54
Dati meccanici	
Area totale di sistema	2,25 m ²
Area captante	1,86 m ²
Tipologia Tracking Solare	2-axis
Alimentazione Solar Tracker	24 VDC (alimentatore AC integrato)
Peso	221 Kg
Fattore di concentrazione	600

Modulo fotovoltaico

Il modulo fotovoltaico a concentrazione multispettrale oggetto della presente proposta è stato sviluppato per garantire le più elevate efficienze di conversione operando con fattori di concentrazione di circa 500x. Tale sistema fotovoltaico è certificato secondo la normativa di riferimento IEC 62108. Vengono di seguito riportate le specifiche tecniche dei moduli.

Item	Descrizione
Caratteristiche fisiche	
Tipo di cella	Celle a tripla giunzione III-V
Celle per modulo	144
Concentrazione geometrica	476x
Dimensioni modulo	1680 x 1640 x 247 mm
Peso modulo	60 kg
AHA	+ 0.5 deg

Caratteristiche elettriche	
Efficienza della cella	> 37.5%
Efficienza modulo CC	26 %
Potenza CC nominale @ 850 W/m2 DNI	400 W
Voc	420 V
Isc	1.28 A
Tensione massima in esercizio	360 V
Corrente massima in esercizio	1.11 A

Tracker solare

Il tracker solare che movimentata il sistema fotovoltaico CPV è stato appositamente sviluppato per movimentare sistemi fotovoltaici a concentrazione ed è frutto di una pluriennale ricerca condotta presso il Laboratorio Fotovoltaico e Semiconduttori del Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Ferrara tesa all'ottimizzazione della producibilità e della durabilità dei sistemi fotovoltaici a concentrazione (CPV). Le principali caratteristiche del tracker vengono riportate nella tabella sottostante.

Item	Descrizione
Tecnologia di tracking	2 axis
Azimuth mobility	0 - 280 gradi
Azimuth rotation DC motor	DC Motor: 24V/30W/2000RPM Motor Gear Ratio: 1:60 Current: 3A (without Loading) Reed Switch Output Signal
Elevation mobility	0 - 80 gradi
Elevation drive type	Linear Actuator
Linear synchronization transmission actuator	DC Motor: 24V/100W/2500RPM Loading Current: 3A
	Gear Ratio: 1:61 Reed Switch Output Signal Actuator Type: Ball Screw (With Brake) Max. Static Load: 1800 kg up Max. Dynamic Load: 1200 kg up Speed of Max. Load: 1.5-3 mm/s Max Stroke: 36" (915mm) Optimal stroke: 32" 34" Reed Switch Output Signal
Accuratezza tracking	MAX + 0.3 gradi
Soglia attivazione sicurezza per vento forte	14 mls (50 km/h)

Resistenza al carico del vento	39 mls (140 km/h)
Comunicazione	RS-485
Peso supportato	1200 kg max.

Vengono di seguito riportate, a titolo esemplificativo, una immagine ed alcuni dettagli tecnici relativi all'innovativo impianto fotovoltaico a concentrazione multi-spettrale che verrà realizzato nell'ambito della presente proposta.

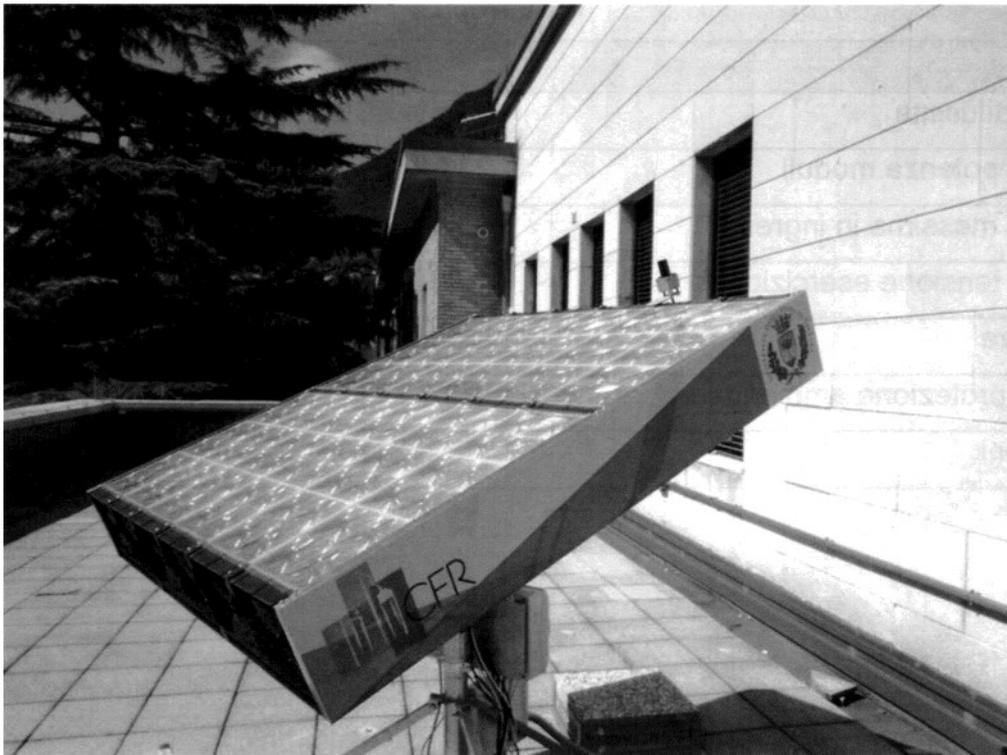


Figura 4. Esempio di impianto fotovoltaico a concentrazione multipsettrale.

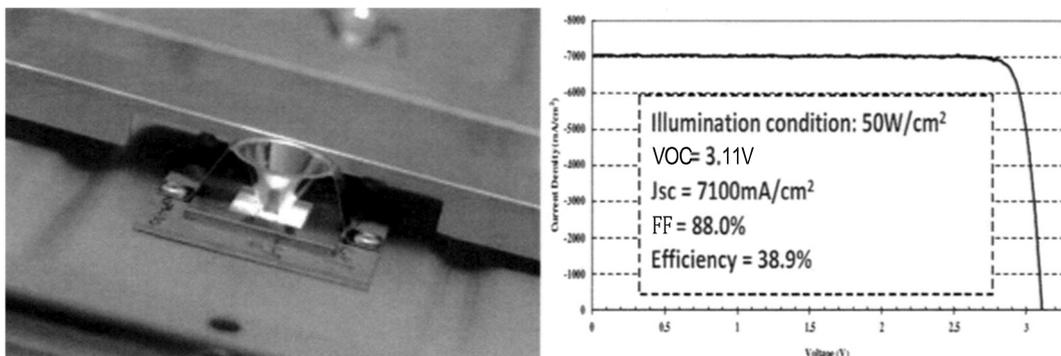


Figura 5. Immagine (a sx) e curva di caratterizzazione I-V (a dx) delle celle fotovoltaiche a concentrazione multispettrali utilizzate nell'ambito degli innovativi sistemi fotovoltaici.

Il kit fotovoltaico di terza generazione sarà dotato di Micro Inverter compatibile con pannelli 60-72 celle/120-144 semicelle caratterizzato dalle seguenti caratteristiche tecniche:

Item	Descrizione
Potenza di uscita	96,5% @ 230 V
Intervallo potenza moduli	235-440 Wp
Tensione massima in ingresso	60 V
Range di tensione esercizio	16-60 V
Connettore	DC MC4
Grado di protezione ambientale	IP67
Dimensioni	212175 x 30,2 mm

3. Laboratorio di monitoraggio delle condizioni solari ed ambientali

I diversi kit fotovoltaici sperimentali esterni saranno inoltre forniti completi di inverter dedicati alla raccolta dei dati energetici in uscita dei sistemi e di una completa stazione di monitoraggio atta alla precisa misurazione delle condizioni al contorno quali le misurazioni della radiazione diretta, della radiazione globale, della misura della temperatura esterna, della misura della velocità e della direzione del vento e della misura della quantità di pioggia. Nell'ambito della presente proposta è infine prevista la fornitura di tutti gli strumenti necessari per la raccolta, il trasferimento e l'analisi dei dati. Questa innovativa stazione fotovoltaica sperimentale potrà essere adattata alle esigenze didattiche e formative dell'istituto oltre a fungere da vera e propria stazione dati rispetto alla radiazione solare sia diretta che globale. Gli elementi costituenti la stazione fotovoltaica sperimentale sono di seguito riportati.

Elementi costituenti il laboratorio di monitoraggio	
Pireliometro	Strumento che misura l'intensità della luce solare diretta
Piranometro	Strumento che misura la radiazione solare diffusa
Anemometro	Strumento di misura frequentemente utilizzato in meteorologia per la misurazione della velocità o pressione del vento.
Pluviometro	Strumento per la misura della quantità di pioggia caduta.
Sensore di temperatura	Strumento per la misura della temperatura esterna
Carico attivo DC	Strumento per la caratterizzazione dei sistemi
Switching unit	Dispositivo in grado di disconnettere i singoli pannelli e permettere la caratterizzazione individuale di ciascuna tipologia di pannello

4. Possibile ubicazione dei laboratori esterni

Sulla base di quanto discusso nel corso del nostro sopralluogo di data 05 Aprile 2023 con il Dirigente ed i docenti dell'Istituto Tecnico Agrario Statale "A. Tosi", i laboratori fotovoltaici esterni ed il laboratorio di monitoraggio ambientale e solare potrebbero essere alloggiati nell'area dell'Istituto indicata in Figura 6.



Figura 6. Area dell'istituto (evidenziata dal rettangolo tratteggiato in rosso) in cui potrebbero essere alloggiati i laboratori energetici esterni sulla base delle indicazioni ricevute dai docenti e dal Dirigente in fase di sopralluogo.

REDATTO DA ing. PAGLIAI SANDRO, NOMINATO PROGETTISTA TECNICO COLLAUDATORE
CON DECRETO DI ASSEGNAZIONE INCARICO Prot. 5042 del 05 giugno 2023