

**MISSION
INNOVATION**

accelerating the clean energy revolution

POA MATERIALI AVANZATI PER L'ENERGIA**PROGETTO IEMAP - Piattaforma Italiana Accelerata per i Materiali per
l'Energia**

D4.46 - Dati sperimentali relativi alle proprietà
dei materiali utilizzati per le interfacce fra le
componenti fotovoltaiche e di accumulo,
prima, durante e dopo i test dei dispositivi

Stefano Rampino, Edmondo Gilioli, Francesco Pattini



Consiglio Nazionale
delle Ricerche

Report MI21-24/178

D4.46 - Dati sperimentali relativi alle proprietà dei materiali utilizzati per le interfacce fra le componenti foto-voltaiche e di accumulo, prima, durante e dopo i test dei dispositivi

Stefano Rampino (CNR), Edmondo Gilioli (CNR), Francesco Pattini (CNR)

Dicembre 2024

Report MISSION INNOVATION

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA
Mission Innovation 2021-2024 - III annualità

Progetto: Piattaforma accelerata per i Materiali per l'Energia
Work package: 4

Linea di attività 4.18: Progettazione top-down dei dispositivi integrati e simulazioni elettro-ottiche: analisi multiscala dei risultati ottenuti nelle linee LA4.10 e LA4.15 e benchmarking

Responsabile del Progetto: Massimo Celino (ENEA)

Responsabile della LA: Stefano Rampino (CNR)

Indice

1	Risultati attesi	5
2	Risultati ottenuti	5
2.1	Avanzamento della ricerca rispetto allo stato dell'arte internazionale con riferimento ai risultati ottenuti.....	5
3	Prodotti attesi.....	5
4	Prodotti ottenuti	5
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati	5
6	Sintesi delle attività svolte.....	6
7	Dettaglio delle attività svolte.....	6
8	Pubblicazioni scientifiche.....	11
9	Eventi di disseminazione	11

Indice delle figure

Figura 1 - Modulo solare utilizzato nei dispositivi di benchmark

Figura 2 - Batteria al Litio stilo utilizzata nei dispositivi di benchmark.

Figura 3 - Batteria al Litio piana utilizzata nei dispositivi di benchmark.

Figura 4 - Supercapacitore ibrido utilizzato nei dispositivi di benchmark.

Figura 5 - Supercapacitore EDLC ad alta capacità utilizzato nei dispositivi di benchmark.

Figura 6 - Supercapacitore EDLC a bassa capacità utilizzato nei dispositivi di benchmark.

Indice delle tabelle

Tabella I - Parametri del mini-modulo fotovoltaico utilizzato nei sistemi benchmark

Tabella II - Parametri della batteria stilo al Li utilizzata nei sistemi benchmark

Tabella III - Parametri della batteria piana al Li utilizzata nei sistemi benchmark

Tabella IV - Parametri del supercapacitore ibrido utilizzato nei sistemi benchmark

Tabella V - Parametri del supercapacitore EDLC ad alta capacità utilizzato nei sistemi benchmark

Tabella VI - Parametri del supercapacitore EDLC ad alta capacità utilizzato nei sistemi benchmark

1 Risultati attesi

Ottimizzazione dei dispositivi di benchmark che, per come sono concepiti, costituiranno la soluzione a maggiore efficienza fra quelle studiate in questo progetto, anche a discapito di altre proprietà fondamentali come la trasparenza, il costo e la flessibilità strutturale.

2 Risultati ottenuti

Sono state ottenute tre diverse tipologie di dispositivi discreti di Fotovoltaico+Accumulo a tre terminali. Questi dispositivi sono stati testati per comprendere il funzionamento, i vantaggi ed i limiti dei dispositivi integrati sperimentali realizzati nel corso di questo progetto.

2.1 Avanzamento della ricerca rispetto allo stato dell'arte internazionale con riferimento ai risultati ottenuti

Attraverso uno studio approfondito di alcuni prototipi, siamo riusciti per la prima volta a capire a fondo come funzionano questi dispositivi integrati. Questa analisi ha messo in luce i loro limiti, in particolare per quanto riguarda l'efficienza nel trasformare l'energia e la flessibilità nel gestire l'elettricità prodotta e immagazzinata.

In altre parole, la ricerca ha permesso di svelare i punti deboli di questi dispositivi, aprendo la strada a possibili miglioramenti nel futuro.

3 Prodotti attesi

Dispositivi ibridi di benchmark (a base di celle solari di Silicio cristallino) di alta efficienza

4 Prodotti ottenuti

Sono stati prodotti 3 tipologie di sistemi nei quali, al modulo di Si cristallino ad alta efficienza, è stato accoppiato un dispositivo di accumulo differente: batteria agli ioni di Litio, supercapacitore e supercapacitore ibrido. In questo report sono riportati i parametri di ciascun componente.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non si segnalano scostamenti tecnici o economici

6 Sintesi delle attività svolte

Abbiamo condotto test sperimentali sui prototipi di riferimento, variando le condizioni di funzionamento per analizzare le prestazioni dei sistemi fotovoltaici integrati con accumulo di energia. I parametri dei dispositivi utilizzati nei sistemi di benchmark sono stati riprodotti per essere messi a confronto con i dispositivi prodotti nelle LA4.12 e LA4.15, al fine di identificare sia i miglioramenti raggiunti che le aree in cui permangono delle limitazioni.

7 Dettaglio delle attività svolte

Per la realizzazione dei dispositivi di benchmark, sono stati selezionati e testati una serie di dispositivi fotovoltaici e di accumulo.

I migliori dispositivi, selezionati con i criteri ricavati dallo studio teorico portato avanti nella LA4.17, sono stati testati sia indipendentemente che in sinergia. Sono stati congelati una serie di parametri elettrici utili come termini di paragone con i dispositivi integrati realizzati sperimentalmente.

Modulo Solare



Figura 1 - Modulo solare utilizzato nei dispositivi di benchmark

Tabella I - Parametri del mini-modulo fotovoltaico utilizzato nei sistemi benchmark

<i>Dimensione</i>	12.5cm x 12.5cm x 0.15mm
<i>Tipo di tecnologia PV</i>	c-Si – PERC – Contatti IBC
<i>Composizione chimica ribbon</i>	Cu 99.90%

Rivestimento esterno ribbon	62 % Sn - 36 % Pb - 2 % Ag
Spessore dello strato superficiale	10-15 micron
Incapsulante	Ethylene-Vinyl Acetate (EVA)
Rivestimento	Polyethylene terephthalate (PET)
Numero celle in serie	7
Voc (V)	5.01
Isc (A)	0.95
FF (%)	76.12
Vmpp (V)	4.20
Impp (A)	0.86
Potenza STC (Wp)	3.63
Efficienza cella (%)	19.79
Efficienza modulo (%)	18.93



Figura 2 – Batteria al Litio tipo Stilo utilizzata nei dispositivi di benchmark.

Tabella II - Parametri della batteria al Li tipo Stilo utilizzata nei sistemi benchmark

Diametro (mm)	18.3
Altezza (mm)	64.5
Tipo di tecnologia	INR
Composizione chimica catodo	Ossidi di Ni, Mn, Co
Peso (g)	48
Resistenza interna (Ohm)	0.015
Corrente di perdita DC (mA)	<0.1 μ A
Capacità reale (nominale) (mAh)	2800 (3000)
Energia reale (nominale) (Wh)	10.3
Corrente di carica massima (A)	1.5 (0.5C)
Corrente di scarica massima (A)	20
Voltaggio minimo (V)	2.5
Voltaggio massimo (V)	4.2
Voltaggio di plateau (V)	3.65



Figura 3 – Batteria piana al Litio utilizzata nei dispositivi di benchmark.

Tabella III - Parametri della batteria piana al Li utilizzata nei sistemi benchmark

<i>Dimensioni (mm)</i>	80x52
<i>Altezza (mm)</i>	5
<i>Tipo di tecnologia</i>	Li-ion
<i>Composizione chimica catodo</i>	LiCoO ₂
<i>Peso (g)</i>	54
<i>Resistenza interna (Ohm)</i>	0.015
<i>Corrente di perdita DC (mA)</i>	<0.1 μ A
<i>Capacità reale (nominale) (mAh)</i>	2900 (3200)
<i>Energia reale (nominale) (Wh)</i>	12.2
<i>Corrente di carica massima (A)</i>	1.48 (0.5C)
<i>Corrente di scarica massima (A)</i>	1.50
<i>Voltaggio minimo (V)</i>	2.5
<i>Voltaggio massimo (V)</i>	4.2
<i>Voltaggio di plateau (V)</i>	4.0



Figura 4 - Figura 2 – Supercapacitore ibrido utilizzato nei dispositivi di benchmark.

Tabella IV - Parametri del supercapacitore ibrido utilizzato nei sistemi benchmark

<i>Diametro (mm)</i>	16.5
<i>Altezza (mm)</i>	27
<i>Tipo di tecnologia</i>	Ibrida
<i>Composizione chimica anodo</i>	Li-doped Graphite
<i>Composizione chimica catodo</i>	Activated carbon
<i>Peso (g)</i>	5
<i>Resistenza interna (Ohm)</i>	0.1
<i>Corrente di perdita DC (mA)</i>	15 μ A
<i>Capacità reale (nominale) (F)</i>	216 (220)
<i>Energia reale (nominale) (mWh)</i>	285 (293)
<i>Corrente di carica massima (A)</i>	15
<i>Corrente di scarica massima (A)</i>	0.5
<i>Voltaggio minimo (V)</i>	2.2
<i>Voltaggio massimo (V)</i>	4.2



Figura 5 - Supercapacitore EDLC ad alta capacità utilizzato nei dispositivi di benchmark.

Tabella V - Parametri del supercapacitore EDLC ad alta capacità utilizzato nei sistemi benchmark

<i>Diametro (mm)</i>	36
<i>Altezza (mm)</i>	65
<i>Tipo di tecnologia</i>	Double Layer
<i>Composizione chimica anodo</i>	Activated carbon
<i>Composizione chimica catodo</i>	Activated carbon
<i>Peso (g)</i>	79
<i>Resistenza interna (Ohm)</i>	0.032
<i>Corrente di perdita DC (mA)</i>	1300 μ A
<i>Capacità reale (nominale) (F)</i>	485 (500)
<i>Energia reale (nominale) (mWh)</i>	491 (506)
<i>Corrente di carica massima (A)</i>	30
<i>Corrente di scarica massima (A)</i>	30
<i>Voltaggio minimo (V)</i>	0
<i>Voltaggio massimo (V)</i>	2.70
<i>Voltaggio di carica (V)</i>	2.85



Figura 6 - Supercapacitore EDLC a bassa capacità utilizzato nei dispositivi di benchmark.

Tabella VI - Parametri del supercapacitore EDLC ad alta capacità utilizzato nei sistemi benchmark

Diametro (mm)	21
Altezza (mm)	9
Tipo di tecnologia	Double Layer
Composizione chimica anodo	Activated carbon
Composizione chimica catodo	Activated carbon
Peso (g)	10
Resistenza interna (Ohm)	30
Corrente di perdita DC (mA)	1000 μ A
Capacità reale (nominale) (F)	0.95 (1.0)
Energia reale (nominale) (mWh)	4.0 (4.2)
Corrente di carica massima (A)	10
Corrente di scarica massima (A)	10
Voltaggio minimo (V)	0
Voltaggio massimo (V)	5.5
Voltaggio di carica (V)	6.3

8 Pubblicazioni scientifiche

«*Dynamic Analysis of a Supercapacitor DC-Link in Photovoltaic Conversion Applications*», Energies 2023, 16(16), 5864

9 Eventi di disseminazione

- IEMAP Training Course: *Technologies for the Accelerated Design of Materials for Energy*
- Seminario: «*Numerical Modeling of PV-based Energy Systems from Devices to Renewable Energy Communities*» c/o IMEM, 23/09/24
- «Laboratorio di Sostenibilità» c/o IMEM – CNR, Edizioni 2023 e 2024
- Contributo Orale 3^a Conferenza ICECCME: «*Simulation of Supercapacitor Charge and Discharge in Photovoltaic Applications*»